Эталонная оценка качества изображений композиционных материалов, подверженных воздействию положительных и отрицательных температур*

В.В. Афонин¹, И.В. Ерофеева², М.М. Зоткина¹,
Д.В. Емельянов¹, Н.Ю. Подживотов³

¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева (МГУ им. Н.П. Огарева), 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68;

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21;

³ Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), 105055, г. Москва, ул. Радио, д. 17

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрен вопрос сравнительной оценки качества изображений, полученных в результате сканирования тестовых композиционных материалов, экспонированных в условиях циклического воздействия положительных и отрицательных температур. Осуществлена сортировка образцов относительно эталонной числовой метрики, выраженной в процентах.

Материалы и методы. Сравнимые композиты отличаются по составу относительно контрольного образца. Периодическое сканирование испытуемых композитов проводится в течение нескольких контрольных точек времени. Сравнительный анализ качества изображений тестовых композитов выполняется как в течение всего времени экспонирования, так и в контрольных точках времени. На основе существующего алгоритма Structural Similarity Index for measuring image quality (SSIM — индекс структурного сходства для измерения качества изображения) выявлены процентные показатели качества образцов в зависимости от состава и времени экспонирования. Полученные результаты позволяют осуществлять отбор композиционных материалов в соответствии с уровнем структурного сходства по структурным цветовым характеристикам. Согласно алгоритму SSIM получающиеся значения метрик лежат в диапазоне [–1; +1]. Полное структурное сходство соответствует величине, равной единице. Предлагается метрику SSIM выражать в процентах с преобразованием того, что изменение цветового структурного различия относительно контрольного образца может изменяться от нуля до 100 %.

Результаты. Для предлагаемого способа сравнения изображений отсканированных образцов композиционных материалов использовалось десять образцов различного состава. Числовые результаты эксперимента с их графической визуализацией дают наглядное представление о характере изменения цветовых характеристик относительно контрольного образца. Последовательная оценка в точках экспонирования показывает характер изменения свойств материалов от длительности экспонирования в условиях циклического изменения положительных и отрицательных температур.

Выводы. Предложенная эталонная оценка качества изображений на основе существующего алгоритма SSIM позволяет оперативно исследовать группы материалов, изменение свойств которых вызвано их экспонированием в неблагоприятных эксплуатационных условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композиционные материалы, эталонная оценка качества изображений, положительные и отрицательные температуры

Благодарности. Авторы выражают благодарность академику РААСН В.Т. Ерофееву за постановку задачи исследования цветовых характеристик цементных композитов.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Афонин В.В., Ерофеева И.В., Зоткина М.М., Емельянов Д.В., Подживотов Н.Ю. Эталонная оценка качества изображений композиционных материалов, подверженных воздействию положительных и отрицательных температур // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 1. С. 83–93. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.83-93

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: Грант РФФИ и Правительства РМ №18-48-130014 «Пенобетоны на основе электрохимически и электромагнитно-активированной воды затворения».

Reference image quality assessment of composite materials exposed to positive and negative temperatures

Victor V. Afonin¹, Irina V. Erofeeva², Marina M. Zotkina¹, Denis V. Emelyanov¹,
Nikolay Yu. Podzhivotov³

¹ National Research Ogarev Mordovia State University (MRSU),
68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005, Russian Federation;

² Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences
(NIISF RAASN), 21 Locomotive travel, Moscow, 127238, Russian Federation;

³ All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM),
17 Radio st., Moscow, 105055, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The question of a comparative assessment of the quality of images obtained as a result of scanning test composite materials exposed under the cyclic effects of positive and negative temperatures is considered. The samples are sorted relative to the reference numerical metric expressed as a percentage.

Materials and methods. The compared composites differ in composition relative to the control sample. Periodic scanning of the tested composites is carried out during several control points of time. A comparative analysis of the image quality of test composites was carried out both during the entire exposure time and at the control points of time. On the basis of the existing algorithm Structural Similarity Index for measuring image quality (SSIM), percentage indicators of sample quality were determined depending on the composition and exposure time. The results obtained allow the selection of composite materials in accordance with the level of structural similarity in structural color characteristics. According to the SSIM algorithm, the resulting metric values are in the range $[-1; +1]$. Full structural similarity corresponds to a value equal to one. It is proposed to express the SSIM metric as a percentage with the transformation that the change in the color structural difference of the relative control sample can vary from zero to 100 %.

Results. For the proposed method of comparing images of scanned samples of composite materials, ten samples of composite materials of different composition were used. Numerical results of the experiment with their graphical visualization give a clear idea of the nature of the change in color characteristics relative to the control sample. Consistent evaluation at the exposure points shows the nature of changes in the properties of materials from the duration of exposure to cyclic changes in positive and negative temperatures.

Conclusions. The proposed benchmark image quality assessment based on the existing SSIM algorithm allows you to quickly investigate groups of materials, the change in properties of which is caused by their exposure in adverse operating conditions.

KEYWORDS: composite materials, reference image quality assessment, positive and negative temperatures

Acknowledgments. The author express their gratitude to academician RAASN V.T. Erofeev for the formulation of the problem of studying the color characteristics of cement composites.

FOR CITATION: Afonin V.V., Erofeeva I.V., Zotkina M.M., Emelyanov D.V., Podzhivotov N.Yu. Reference image quality assessment of composite materials exposed to positive and negative temperatures. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:1:83-93. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.83-93 (rus.).

АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследованию композиционных материалов цементных и других вяжущих уделяется повышенное внимание [1–15]. В многочисленных работах по созданию эффективных материалов изучается оценка их долговечности в условиях воздействия негативных факторов [16–32]. Проводится анализ изменения прочностных и других показателей физико-механических свойств композитов. При этом, как правило, композиты помещаются в агрессивную эксплуатационную среду с последующим контролем заданных показателей свойств.

Для отделочных и других материалов важным является сохранение во время эксплуатации цветовых характеристик. Имеются различные подходы к оценке качества композитов по их цветовым ха-

рактеристикам [33–38]. Накоплен также значительный опыт по цифровой обработке изображений. Немалое место отводится оценке качества изображений, в первую очередь растровых изображений [35, 39–42]. Алгоритмы оценки качества изображений разделяются на субъективные и объективные критерии качества изображений. Субъективные критерии качества вырабатываются группой экспертов в количестве от 15 человек и более [35]. Объективные критерии осуществляются автоматически программным путем без участия специальной группы экспертов. Алгоритмы объективной оценки качества изображений разделяются на две большие группы: эталонные алгоритмы и не эталонные (без-эталонные, no-reference) методы и алгоритмы. Для эталонных алгоритмов характерно сравнение группы изображений относительно эталонного образца.

Вторая группа алгоритмов и методов осуществляет оценку качества изображений без сравнения с заданным оригиналом [35].

В строительном материаловедении разрабатываемые новые материалы сопоставляются с имеющимися аналогами, которые прошли практическую проверку. Однако в русле ресурсосберегающих технологий бывает необходимо изменить состав оригинала по различным причинам. Естественно, возникают вопросы исследования характера таких изменений в плане изменения характеристик и свойств с течением эксплуатационного времени. Для этого проводят различные испытания группы образцов различного состава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Среди эталонных методов и алгоритмов можно выделить следующие [35]:

1. MSE (Mean Squared Error) определяет среднеквадратичное отклонение оригинального и оцениваемого изображений.

2. PSNR (Pick Signal to Noise Ratio). Эта метрика называется мерой отношения сигнала к шуму.

3. SSIM (Structural Similarity Index for measuring image quality — индекс структурного сходства для измерения качества изображения) считается наиболее полной метрикой оценки качества изображений [35, 40–42].

Значения метрики от SSIM лежат в отрезке $[-1; +1]$. Для идентичных изображений величина метрики SSIM равна 1. Метрика SSIM дает достаточно адекватную для человеческого восприятия оценку качества изображений.

В классическом варианте алгоритм SSIM определяет степень сходства двух изображений по трем составляющим — яркости $L(x, y)$, контрастности $C(x, y)$, структуре $S(x, y)$:

$$L(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + K}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + K}; \quad (1)$$

$$C(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + K}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + K}; \quad (2)$$

$$S(x, y) = \frac{\sigma_{x,y} + K}{\sigma_x\sigma_y + K}, \quad (3)$$

где x — матрица значений пикселей оригинального (эталонного) изображения; y — матрица значений пикселей оцениваемого изображения;

$$\mu_x = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i, \quad (4)$$

где μ_x — среднее арифметическое значение для участка оригинального изображения (μ_y — для оцениваемого) размером M пикселей (окна);

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \mu_x)^2, \quad (5)$$

где σ_x^2 — дисперсия участка для оригинального изображения (σ_y^2 — для оцениваемого) размером M пикселей (окна); σ_x, σ_y — стандартные отклонения (плюс корень квадратный из дисперсии);

$$\sigma_{x,y} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y), \quad (6)$$

где $\sigma_{x,y}$ — корреляционный момент участков сравниваемых изображений; $K = 0,01$ — выравнивающий коэффициент, предотвращающий деление на число, близкое к нулю [35].

Возможные варианты определения выравнивающего коэффициента приведены в работе [42].

Введенные формулы показывают всесторонний аспект оценки качества сравниваемых изображений: учитывается яркость, контрастность, структура изображений, соответственно, вычисляются средние значения пикселей, дисперсии и стандартные отклонения, корреляционные моменты. В связи с этим алгоритм SSIM был применен для сравнительной оценки качества цементных композитов различного состава по их отсканированным изображениям в течение заданного времени экспонирования при циклическом воздействии положительных и отрицательных температур.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения численного эксперимента были взяты несколько составов композитов: цементный камень на основе теста нормальной густоты (состав № 1); цементный камень с повышенным водосодержанием (состав № 2); цементный камень на основе теста нормальной густоты с поликарбонатным суперпластификатором (состав № 3); цементный композит с суперпластификатором, наполненный песком фракций 0–0,63 и 0,63–2,5 мм (состав № 6); цементный композит с суперпластификатором, наполненный песком фракций 0–0,63 и 0,63–2,5 мм с добавкой микрокварца (состав № 4); цементный композит с суперпластификатором, наполненный песком фракций 0–0,63 и 0,63–2,5 мм с добавкой микрокварца микрокремнезема (состав № 5); цементный камень, изготовленный на активированной воде затворения (состав М3); цементный камень с двумя видами пигментов (составы П1 и П3); цементный камень с биоцидной добавкой (состав Т3).

Испытания образцов проводились по следующему режиму [43].

1. Охлаждение образцов от комнатной температуры (+23 °C) до –50 °C около часа (50–55 мин).

2. Выдержка образцов при температуре –50 °C — 9 ч.

3. При выключенной камере естественное нагревание образцов до комнатной температуры (+23 °C) — не менее 5 ч.

Табл. 1. Отсканированные тестовые изображения композитов, выдержанных в условиях циклического изменения положительных и отрицательных температур

Table 1. Scanned test images of composites, sustained in cyclical conditions positive and negative temperatures

Номер состава / No. composition	Время выдержки, сут / Holding time, day		
	0	15	45
1			
2			
3			
4			
5			
6			
M3			
П1 / P1			
П3 / P3			
T3			

4. Выдержка образцов при комнатной температуре (+23 °C) — 9 ч.

Отсканированные изображения исследуемых композитов приведены в табл. 1, в которой контрольный состав дан под номером 1.

Размеры изображений, приведенные в табл. 1, равны 500 × 300 пикселей (px).

Модельные эксперименты проводились как по столбцам табл. 1, так и по всей совокупности данных, которые включены в табл. 1. При этом метрики от алгоритма SSIM определялись относительно контрольного образца № 1, для которого метрика принимается равной нулю в результате преобразования метрики алгоритма SSIM в виде 100 — S1, где S1 — метрика для контрольного образца, выраженная в процентах. Поскольку сравнение изображения с самим собой дает метрику, равную 1, то, переходя к процентам, получим метрику для контрольного образца, равную нулю.

В табл. 2 сведены результаты расчетов по степени различия метрик оценки качества изображений — отсканированных изображений композитов с различными составами.

Данные в табл. 2 отражают тот факт, что чем больший процент для метрики, тем большее цветовое различие между контрольным образцом и сравниваемым композитом.

В табл. 3 приведены отсортированные значения данных из табл. 2.

Как видно из табл. 3, степень отличия образцов относительно контрольного композита (№ 1) изменяются в течение времени выдержки в условиях положительных и отрицательных температур. Композит ПЗ во всех случаях наиболее заметно отличается от контрольного образца. Цветовое различие с вычислением метрик можно выполнить для всех образцов, сгруппированных в один массив данных. В целях наглядности это показано на двух диаграммах (рис. 1, 2), где композиты отсортированы по величине метрик сравнения относительно контрольного образца первого и второго уровней различия. Этот образец обозначен как 1-0. Остальные маркируются как 1-15, 1-45, МЗ-0, МЗ-15, МЗ-45 и т.д. в соответствии с табл. 1.

Отсортированные композиты по величине числовой метрики сведены в табл. 4.

Приведенные в табл. 4 значения числовых метрик цветового различия относительно контрольного образца 1-0, позволяют оценить свойства композитов, выдержанных в условиях циклического воздействия положительных и отрицательных температур. Расчеты выполнены в предположении, что контрольный образец является наилучшим композиционным материалом по сравнению с остальными данной группы.

Табл. 2. Значения метрик для композитов, выдержанных в условиях циклического изменения положительных и отрицательных температур

Table 2. Values of metrics for composites that are maintained in conditions of cyclical changes of positive and negative temperatures

Номер состава / No. composition	Метрики, % / Metrics, %		
	Начальная метрика / Initial metric	Метрика после 15 сут выдержки / Metric after 15 days of exposure	Метрика после 45 сут выдержки / Metric after 45 days of exposure
1	0,0000	0,0000	0,0000
2	35,1078	41,5795	47,1206
3	43,4075	40,7898	49,6991
4	32,8382	51,6802	64,1244
5	49,3210	46,9825	47,0999
6	51,0296	49,6153	61,0115
МЗ	44,6877	38,1953	44,3495
П1 / Р1	58,2363	59,3705	60,6028
ПЗ / РЗ	78,5650	78,0796	81,0331
ТЗ	58,9799	58,7409	60,9803

Табл. 3. Значения метрик композитов, отсортированные относительно контрольного образца

Table 3. The metric values of the composites are sorted with respect to the reference sample

Время выдержки, сут / Holding time, day	Обозначения композитов / Designation of composites									
	1	4	2	3	МЗ	5	6	П1 / Р1	ТЗ	ПЗ / РЗ
0	1	4	2	3	МЗ	5	6	П1 / Р1	ТЗ	ПЗ / РЗ
15	1	МЗ	3	2	5	6	4	ТЗ	П1 / Р1	ПЗ / РЗ
45	1	МЗ	5	2	3	П1 / Р1	ТЗ	6	4	ПЗ / РЗ

Рис. 1. Распределение метрик первого уровня различия композитов

Fig. 1. Distribution of metrics of the first level of difference of composites

Рис. 2. Распределение метрик второго уровня различия композитов

Fig. 2. The distribution of metrics of the second difference level composites

Табл. 4. Значения отсортированных композитов по возрастанию цветовых различий

Table 4. Values of sorted composites by increasing color differences

Обозначения композитов / Designation of composites	Значения цветовых различий, % / Values of color differences, %	Обозначения композитов / Designation of composites	Значения цветовых различий, % / Values of color differences, %
1-0	0,0000	4-15	48,8458
4-0	32,8382	5-0	49,3210
2-0	35,1078	6-15	49,4278
1-15	37,9223	6-0	51,0296
M3-15	38,1698	6-45	56,3808
M3-45	40,0445	4-45	57,3513
2-45	40,5918	П1-45 / P1-45	57,7652
3-15	40,6117	П1-0 / P1-0	58,2363
2-15	41,8500	T3-15	58,4271
5-45	42,7293	П1-15 / P1-15	58,8457
3-0	43,4075	T3-0	58,9799
1-45	44,0661	T3-45	59,4515
M3-0	44,6877	П3-15 / P3-15	73,9773
5-15	46,1321	П3-45 / P3-45	76,0758
3-45	47,2346	П3-0 / P3-0	78,5650

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование существующего алгоритма SSIM эталонной оценки качества изображений позволило выполнить традиционную сравнительную оценку качества композитов относительно контрольного образца. Возникающие искажения на

изображениях тестовых материалов связаны с выдерживанием их в неблагоприятных условиях при циклическом изменении положительных и отрицательных температур. Поскольку алгоритм SSIM реализован во многих системах программирования, то его оперативно можно применять для первичной оценки качества материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нефедов Н.И., Семенова Л.В., Кузнецова В.А., Веренинова Н.П. Лакокрасочные покрытия для защиты металлических и полимерных композиционных материалов от старения, коррозии и биоповреждений // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 8. С. 393–404. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-393-404
2. Ильина Л.В. Повышение прочностных характеристик цементных композитов на основе цемента длительного хранения // Фундаментальные исследования. 2011. № 12–1. С. 112–116.
3. Баженов Ю.М., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 6–14.
4. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козоматов В.Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем. СПб. : Наука, 2012. 476 с.
5. Гусев Б.В. Наноструктурирование бетонных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 1. С. 7–10.
6. Калашиников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н., Троянов И.Ю., Володин В.М., Суздальцев О.В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 88–91.
7. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Калгин Ю.И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность). Саранск : Изд-во Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева, 2009. 276 с.
8. Ерофеев В.Т., Твердохлебов Д.А., Тармошин К.В. и др. Фурфуrolацетонные композиты каркасной структуры / под общ. ред. В.Т. Ерофеева. Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2008. 220 с.
9. Королев Е.В., Прошин А.П., Ерофеев В.Т. и др. Строительные материалы на основе серы / под общ. ред. А.П. Прошина. Пенза ; Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2003. 371 с.
10. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Завалишин Е.В., Богатов А.Д., Астахов А.М., Коротав С.А. и др. Силикатные и полимерсиликатные ком-

позиты каркасной структуры роликового формования / под общ. ред. Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. М. : Изд-во АСВ, 2009. 160 с.

11. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козоматов В.Н. Полимерные композиционные материалы. М. : Изд-во АСВ, 2013. 480 с.

12. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Богатов А.Д. и др. Строительные материалы на основе отходов стекла. Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2005. 120 с.

13. Ерофеев В.Т., Меркулов И.И., Меркулов А.И., Ерофеев П.С. Оптимизация составов бетонов с применением численного моделирования. Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2006. 100 с.

14. Калашиников В.И., Ерофеев В.Т., Тараханов О.В. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 4 (688). С. 30–37.

15. Ерофеев В.Т., Черкасов В.Д., Лептев Г.А., Ерофеев П.С., Меркулов А.И. Моделирование свойств металлобетонов // Фундаментальные исследования. 2015. № 2 (17). С. 3699–3708.

16. Ерофеев В.Т., Черкасов В.Д., Емельянов Д.В., Ерофеева И.В. Ударная прочность цементных композитов // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 4. С. 89–94.

17. Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Скачков Ю.П. Структура и конструкционная прочность цементных композитов. М. : Изд-во АСВ, 2017. 400 с.

18. Ерофеева И.В., Афонин В.В., Федорцов В.А., Емельянов Д.В., Подживотов Н.Ю., Зоткина М.М. Исследование поведения цементных композитов в условиях повышенной влажности и переменных положительных температур // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. Т. 13. № 4. С. 66–81. DOI: 10.22337/2587-9618-2017-13-4-66-81

19. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. и др. Биологическое сопротивление материалов. Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2001. 193 с.

20. Добищ Л.М. Физико-математическая модель разрушения бетона при попеременном замораживании и оттаивании // Жилищное строительство. 2017. № 12. С. 30–36.

21. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Луцык Е.В., Федоров П.А. Долговечность бетона и железобетона в природных агрессивных средах. Уфа : Изд-во Уфимского государственного нефтяного технического университета, 2014. 288 с.

22. Загоруйко Т.В. Структурные изменения композиционных материалов в условиях термических воздействий // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 10. С. 8–10.

23. Кряжев Д.В., Смирнов В.Ф. Роль факторов климатического старения в оценке устойчивости

полимерных материалов к действию микроскопических грибов // Пластические массы. 2010. № 6. С. 46–48.

24. Старцев С.А. Биоповреждение строительных конструкций как фактор, снижающий долговечность зданий и сооружений // Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве : сб. тр. Междунар. конф. по проблемам долговечности зданий и сооружений в современном строительстве, 10–12 октября 2007, Санкт-Петербург. СПб. : РИФ «Роза мира», 2007. С. 20–24.

25. Степанова В.Ф., Фаликман В.Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Бетон и железобетон — взгляд в будущее : науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. М. : НИУ МГСУ, 2014. С. 430–444.

26. Федорцов А.П. Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения. Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2015. 464 с.

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

28. Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Морозов Е.А., Атыкян Н.А., Смирнова О.Н., Губанов Д.А. и др. Микробиологическое разрушение материалов / под общ. ред. В.Т. Ерофеева, В.Ф. Смирнова. М. : Изд-во АСВ, 2008. 128 с.

29. Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Смирнов В.Ф., Захарова Е.А. Исследование биостойкости строительных материалов с учетом их старения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. : Строительство и архитектура. 2011. № 22 (41). С. 73–78.

30. Бажанова М.Е., Ерофеев В.Т. Стойкость трубопроводных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 1. С. 31–33.

31. Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 7 (33). С. 23–31. DOI: 10.5862/МСЕ.33.3

32. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Основы математического моделирования биокоррозии полимербетонов // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–4. С. 701–707.

33. Ерофеев В.Т., Афонин В.В., Черушова Н.В., Зоткина М.М., Митина Е.А., Зоткин В.Б. и др. Методы и алгоритмы оценки качества поверхности строительных изделий и конструкций // Фундаментальные исследования. 2016. № 4–1. С. 33–40.

34. Ефлов В.Б., Конарев В.С., Васильев С.Б. Разработка метода оптического анализа изображений поверхности образца древесно-цементного композита // *Resources and Technology*. 2014. Т. 11. № 1. С. 77–110. DOI: 10.15393/j2.art.2014.2841
35. Бабкин П.С., Павлов Ю.Н. Анализ и сравнение объективных методов оценки качества изображений // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2014. № 9. С. 203–215. DOI: 10.7463/0914.0726368
36. Павлюк Е.В. О метриках оценки качества сегментации изображений // *Математическое моделирование в естественных науках*. 2015. Т. 1. С. 332–336.
37. Демин О.В., Смолин Д.О., Першин В.Ф. Оценка качества смеси сыпучих материалов на основе анализа их цифровых изображений // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 2. С. 157. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8716>
38. Сидоров Д.В. К вопросу оценки качества множества восстановленных изображений // *Прикладная информатика*. 2008. № 4 (16). С. 92–95.
39. Wang Z., Simoncelli E.P., Bovik A.C. Multi-scale structural similarity for image quality assessment // *The Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers*, 2003. Pp. 44–50. DOI: 10.1109/acssc.2003.1292216
40. Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E.P. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // *IEEE Transactions on Image Processing*. 2004. Vol. 13. Issue 4. Pp. 600–612. DOI: 10.1109/tip.2003.819861
41. Wang Z., Simoncelli E.P. Translation insensitive image similarity in complex wavelet domain // *Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. 2005. Vol. 2. Pp. 673–576. DOI: 10.1109/icassp.2005.1415469
42. Yeganeh H., Wang Z. Objective quality assessment of tone-mapped images // *IEEE Transactions on Image Processing*. 2013. Vol. 22. Issue 2. Pp. 657–667. DOI: 10.1109/tip.2012.2221725
43. Ерофеева И.В. Физико-механические свойства, биологическая и климатическая стойкость порошково-активированных бетонов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2018. 28 с.

Поступила в редакцию 18 октября 2018 г.

Принята в доработанном виде 11 ноября 2018 г.

Одобрена для публикации 26 декабря 2018 г.

ОБ АВТОРАХ: **Афонин Виктор Васильевич** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, **Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева (МГУ им. Н.П. Огарева)**, 430005, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68, vvafonin53@yandex.ru;

Ерофеева Ирина Владимировна — младший научный сотрудник, **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21, ira.erofeeva.90@mail.ru;

Зоткина Марина Михайловна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий, **Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева (МГУ им. Н.П. Огарева)**, 430005, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68, zotkina.mm@yandex.ru;

Емельянов Денис Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий, **Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева (МГУ им. Н.П. Огарева)**, 430005, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68, emelyanoffdv@yandex.ru;

Подживотов Николай Юрьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории прочности и надежности материалов воздушного судна, **Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ)**, 105055, г. Москва, ул. Радио, д. 17, nikolay.podzhivotov@gmail.com.

REFERENCES

1. Nefyodov N.I., Semyonova L.V., Kuznetsova V.A., Vereninova N.P. Paint coatings for protection of metallic and polymer composite materials against aging, corrosion and biodeterioration. *Aviation Materials and Technologies*. 2017; 8:393-404. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-393-404 (rus.).
2. Ilyina L.V. Increasing strength characteristics of composites based on cement long-term storage. *Fundamental Research*. 2011; 12-1:112-116. (rus.).
3. Bazhenov Yu.M., Chernyshov E.M., Korotikh D.N. Designing of modern concrete structures:

determining principles and technological platforms. *Building materials*. 2014; 3:6-14. (rus.).

4. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. *Physics and synergetics of dispersion-disordered condensed composite systems*. Saint-Petersburg, Science Publ., 2012; 476. (rus.).

5. Gusev B.V. Nanostructuring of concrete materials. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 1:7-10. (rus.).

6. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N., Troyanov I.Yu., Volodin V.M., Suzdaltsev O.V. Nanohydrosilicate technologies in concrete production. *Building materials*. 2014; 5:88-91. (rus.).

7. Erofeev V.T., Bazhenov Yu.M., Kalgin Yu.I. *Road bitumen-mineral materials based on modified bitumen (technology, properties, durability)*. Saransk, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogareva Publ., 2009; 276. (rus.).

8. Erofeyev V.T., Tverdokhlebov D.A., Tarmosin K.V. et al. *Furfuraceous composites-frame structure*. Saransk, Publishing house of the Mordovian University, 2008; 220. (rus.).

9. Korolev E.V., Proshin A.P., Erofeyev V.T. et al. *Building materials based on sulfur*. Saransk, Publishing house of the Mordovian University, 2003; 371. (rus.).

10. Erofeyev V.T., Bazhenov Yu.M., Zavalishin E.V., Bogatov A.D., Astashov A.M., Korotaev S.A. et al. *Silicate and polymer-silicate composites of the frame structure of roller molding*. Moscow, ASV Publ., 2009; 160. (rus.).

11. Bobryshev A.N., Erofeyev V.T., Kozomazov V.N. *Polymer composite materials*. Moscow, ASV Publ., 2013; 480. (rus.).

12. Erofeyev V.T., Bazhenov Yu.M., Bogatov A.D. et al. *Building materials based on glass waste*. Saransk, Publishing house of the Mordovian University, 2005; 120. (rus.).

13. Erofeyev V.T., Merkulov I.I., Merkulov A.I., Erofeyev P.S. *Optimization of the composition of concrete with the use of numerical modeling*. Saransk, Publishing house of the Mordovian University, 2006; 100. (rus.).

14. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. The suspension-filled concrete mixtures for powder-activated concretes of new generation. *News of higher educational institutions. Construction*. 2016; 4 (688):30-37. (rus.).

15. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Laptev G.A., Erofeev P.S., Merkulov A.I. Modeling properties of metallconcrete. *Fundamental study*. 2015; 2(17):3699-3708. (rus.).

16. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Emelyanov D.V., Erofeeva I.V. Impact strength of cement composites. *Academia. Architecture and construction*. 2017; 4:89-94. (rus.).

17. Maximova I.N., Makridin N.I., Erofeyev V.T., Skachkov Yu.P. *Structure and structural strength of cement composites*. Moscow, ASV Publ., 2017; 400. (rus.).

18. Erofeeva I.V., Afonin V.V., Fedortsov V.A., Emelyanov D.V., Podzhivotov N.Yu., Zotkina M.M. Research of behavior of cement composites in conditions of high humidity and variable positive temperatures. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017; 13(4):66-81. DOI: 10.22337/2587-9618-2017-13-4-66-81 (rus.).

19. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Smirnov V.F. et al. *Biological resistance of materials*. Saransk, Publishing house of the University of Mordovia, 2001; 193. (rus.).

20. Dobshits L.M. Physico-mathematical model of the destruction of concrete with variable freezing and thawing. *Housing construction*. 2017; 12:30-36. (rus.).

21. Latypov V.M., Latypova T.V., Lutsyk E.V., Fedorov P.A. *Durability of concrete and reinforced concrete in natural aggressive environments*. Ufa, Publishing house of Ufa State Petroleum Technical University, 2014; 288. (rus.).

22. Zagoruiko T.V. The structural changes of the composition materials in the thermal influence conditions. *Fire and Explosion Safety*. 2011; 20(10):8-10. (rus.).

23. Kryazhev D.V., Smirnov V.F. The role of climatic aging factors in assessing the resistance of polymeric materials to the effect of microscopic mushrooms. *Plastic*. 2010; 6:46-48. (rus.).

24. Startsev S.A. Biological damage of building structures as a factor that reduces the durability of buildings and structures. *Problems of durability of buildings and structures in modern construction : proceedings of the International conference on durability of buildings and structures in modern construction, 10–12 October 2007, St. Petersburg*. St-Petersburg, Editorial and publishing firm "The rose of the world", 2007; 20-24. (rus.).

25. Stepanova V.F., Falikman V.R. Advanced topics in assurance of reinforced concrete structural durability. *Concrete and reinforced concrete — glance at future : Scientific works of the III All-Russian (II International) conference on concrete and reinforced concrete*. Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2014; 430-444. (rus.).

26. Fedortsov A.P. *Physico-chemical resistance of building composites and ways to increase it*. Saransk, Publishing house of the University of Mordovia, 2015; 464. (rus.).

27. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. The modern methods for ensuring of the reinforced concrete structures durability. *Academia. Architecture and construction*. 2015; 1:93-102. (rus.).

28. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Morozov E.A., Atkyan N.A., Smirnova O.N., Gubanov D.A. et al. *Microbiological destruction of materials / under the General editorship of V.T. Erofeev and V.F. Smirnov*. Moscow, ASV Publ., 2008; 128. (rus.).

29. Yerofeyev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N., Smirnov V.F., Zakharova Y.A. Research of the biological firmness of building materials with provision for their deterioration. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Construction. Ser. : Construction and Architecture*. 2011; 22(41):73-78. (rus.).
30. Bazhanova M.E., Erofeev V.T. Resistance of pipeline materials under the influence of soil microorganisms. *Vestnik of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2012; 1:31-33. (rus.).
31. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N., Kaznacheev S.V., Smirnov V.F. Influence of the operational environment on biological firmness of building composites. *Magazine of Civil Engineering*. 2012; 7(33):23-31. DOI: 10.5862/MCE.33.3 (rus.).
32. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Bases of mathematical modelling biocorrosion polymer-concrete. *Fundamental research*. 2014; 12-4:701-707. (rus.).
33. Erofeev V.T., Afonin V.V., Cherushova N.V., Zotkina M.M., Mitina E.A., Zotkin V.B. et al. Methods and algorithms of assessing the quality of the surface of building products and constructions. *Fundamental research*. 2016; 4-1:33-40. (rus.).
34. Eflov V.B., Koparev V.S., Vasilyev S.B. Development of technique of wood-cement composite surface optical image data analysis. *Resources and Technology*. 2014; 11(1):77-110. DOI: 10.15393/j2.art.2014.2841 (rus.).
35. Babkin P.S., Pavlov Yu.N. Analysis and comparison of objective methods for image quality assessment. *Science and Education : of the Bauman MSTU*. 2014; 9:203-215. DOI: 10.7463/0914.0726368 (rus.).
36. Pavlyuk E.V. On the metrics of assessing the quality of image segmentation. *Mathematical modeling in the natural sciences*. 2015; 1:332-336. (rus.).
37. Demin O.V., Smolin D.O., Pershin V.F. Qualification mixes bulk materials based on their digital images. *Modern problems of science and education*. 2013; 2:157. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8716> (rus.).
38. Sidorov D.V. On the issue of assessing the quality of many restored images. *Applied Informatics*. 2008; 4(16):92-95. (rus.).
39. Wang Z., Simoncelli E.P., Bovik A.C. Multiscale structural similarity for image quality assessment. *The Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers, 2003*. 2003; 44-50. DOI: 10.1109/acssc.2003.1292216
40. Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E.P. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2004; 13(4):600-612. DOI: 10.1109/tip.2003.819861
41. Wang Z., Simoncelli E.P. Translation insensitive image similarity in complex wavelet domain. *Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005*. 2005; 2:673-576. DOI: 10.1109/icassp.2005.1415469
42. Yeganeh H., Wang Z. Objective quality assessment of tone-mapped images. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2013; 22(2):657-667. DOI: 10.1109/tip.2012.2221725
43. Erofeeva I.V. *Physico-mechanical properties, biological and climatic stability of powder-activated concrete: abstract of the thesis for the degree of candidate of technical Sciences*. Penza, 2018; 28. (rus.).

Received October 18, 2018.

Adopted in a modified form on November 11, 2018.

Approved for publication December 26, 2018.

ABOUT THE AUTHORS: **Victor V. Afonin** — Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Automated Systems of Information Processing and Management, **National Research Ogarev Mordovia State University (MRSU)**, 68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005, Russian Federation, vvafoin53@yandex.ru;

Irina V. Erofeeva — Junior Researcher, **Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)**, 21 Locomotive travel, Moscow, 127238, Russian Federation, ira.erofeeva.90@mail.ru;

Marina M. Zotkina — Candidate of Technical Science, Associate Professor, Department of Building Materials and Technologies, **National Research Ogarev Mordovia State University (MRSU)**, 68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005, Russian Federation, zotkina.mm@yandex.ru;

Denis V. Emelyanov — Candidate of Technical Science, Associate Professor, Department of Building Materials and Technologies, **National Research Ogarev Mordovia State University (MRSU)**, 68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005, Russian Federation, emelyanoffdv@yandex.ru;

Nikolay Yu. Podzhivotov — Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Laboratory of Strength and Reliability of Aircraft Materials, **All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM)**, 17 Radio st., Moscow, 105055, Russian Federation, nikolay.podzhivotov@gmail.com.