

УДК 691-021.4

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

¹Ерофеев В.Т., ¹Афонин В.В., ¹Черушова Н.В., ¹Зоткина М.М.,

¹Митина Е.А., ¹Зоткин В.Б., ²Ерофеева И.В.

¹ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,

Саранск, e-mail: zotkina.mm@yandex.ru;

²ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»,

Нижний Новгород, e-mail: zotkina.mm@yandex.ru

В работе дается описание разработанных комплекса методов и алгоритмов оценки качества поверхности строительных изделий и конструкций зданий и сооружений по отсканированным изображениям. В качестве цветовой модели используется модель RGB (Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий), представляющая собой трехмерный массив, состоящий из трех прямоугольных матриц. Оценка качества образцов по отсканированным изображениям осуществляется на основе методов статистического анализа данных – пикселей яркости. Предложено применение для анализа изменения декоративных свойств конструкций и изделий следующих показателей: тоновая контрастность, тоновая насыщенность, среднее абсолютное отклонение кодов RGB, треугольники яркости, треугольники стандартных отклонений яркости, относительные коэффициенты соответствия. Приведены примеры использования программного комплекса. Показаны графические и численные результаты обработки данных.

Ключевые слова: цветовая модель RGB, автокорреляционная функция, среднее арифметическое пикселей, стандартное отклонение по ширине и по высоте образца, дисперсия, относительный коэффициент соответствия

METHODS AND ALGORITHMS OF ASSESSING THE QUALITY OF THE SURFACE OF BUILDING PRODUCTS AND CONSTRUCTIONS

¹Erofeev V.T., ¹Afonin V.V., ¹Cherushova N.V., ¹Zotkina M.M.,

¹Mitina E.A., ¹Zotkin V.B., ²Erofeeva I.V.

¹The Mordvian State University Named after N.P. Ogaryov, Saransk, e-mail: zotkina.mm@yandex.ru;

²The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction,

Nizhny Novgorod, e-mail: zotkina.mm@yandex.ru

In work the description of a complex of methods and algorithms of an assessment of quality of a surface of building products and constructions according to the scanned images is given. The RGB (Red, Green, Blue) model is used as color model. The RGB model represents the three-dimensional massif consisting of three rectangular matrixes. The assessment of quality of samples according to the scanned images is carried out on the basis of methods of the statistical analysis of data – brightness pixels. Application for the analysis of change of decorative properties of designs and products of the following indicators is offered: tone contrast, tone saturation, the mean absolute deviation of the RGB codes, brightness triangles, triangles of standard deviations of brightness, relative coefficients of compliance. Examples of use the program complex are given. Graphic and numerical results of data processing are shown.

Keywords: the color RGB model, autocorrelated function, arithmetic average of pixels, standard deviation on width and on sample height, dispersion, relative coefficient of compliance

Ряд результатов по теме данной работы представлены в [2, 4, 5, 6]. Программная реализация ряда алгоритмов по оценке качества поверхности материалов, полученных методом прямого сканирования, приводится в [3, 7, 8, 9].

В ранних программах авторов использовался MATLAB. В [3, 7, 9] применяется компилируемый язык программирования C# на платформе .NET, где существует богатая библиотека классов по обработке изображений цветовых моделей RGB. Здесь рассмотрим более подробно некоторые методы и алгоритмы по оценке качества поверхностей изделий и конструкций.

В силу выбранной цветовой модели RGB предлагается отдельное рассмотрение

распределения яркости пикселей по каждой составляющей RGB, т.е. по матрицам красного, зеленого и синего цветов. Предполагается, что распределение яркости пикселей в общем случае носит произвольный характер. Поэтому можно использовать различные статистические методы и приемы для расчета характеристик, в частности, среднего арифметического, исправленной выборочной дисперсии, стандартного отклонения, множественного коэффициента корреляции, нормированной автокорреляционной функции [3]. В [9] введены такие показатели, характеризующие изображение образца, как тоновая контрастность, тоновая насыщенность, среднее абсолютное отклонение (MAD – Mean Absolute Deviation)

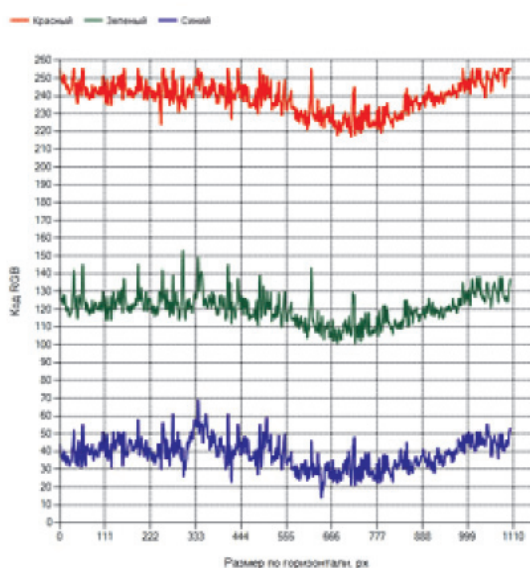
разницы кодов RGB сравниваемых изображений. В программах [7, 9] введены такие показатели качества изображений, как треугольники яркости, треугольники стандартных отклонений яркости, относительные коэффициенты соответствия, изменяющиеся от нуля до единицы.

Среднее арифметическое значение распределения яркости пикселей изображения может быть вычислено как среднее по всем компонентам модели RGB. Но в работах [2, 4, 5, 6] приводится расчет среднего арифметического значения яркости изображения по составляющим RGB – по матрице красного, матрице зеленого и матрице синего цветов. При этом обход матриц осуществляется по высоте и по ширине отсканированного образца какого-либо материала. Это означа-

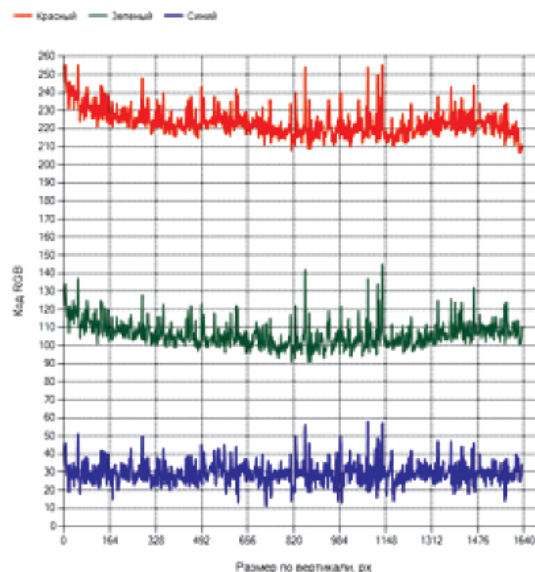
ет, что будет получен одномерный массив данных о яркости пикселей соответствующего цвета, каждая точка которого есть среднее арифметическое по высоте или по ширине изображения. В итоге можно построить кривую в декартовой системе координат, ось абсцисс которой есть размер либо высоты, либо ширины изображения, а ось ординат – это яркость кода RGB в пределах от 0 до 255. Аналогичным путем вычисляется массив исправленной выборочной дисперсии как меры отклонения от среднего. Пример изменения средних значений кода RGB конкретного материала (рис. 1, а) приведен на рис. 1, б и в. Как видно из рис. 1, коды RGB по высоте образца заметно отличаются от кодов RGB по ширине, что означает неоднородность поверхности материала исследуемого образца.



а



б



в

Рис. 1. Изменение средних значений кода RGB:
а – изображение исследуемого образца (размер 1104×1635 px); б – изменение средней яркости по ширине образца; в – изменение средней яркости по высоте образца

По аналогии можно найти массив значений стандартного отклонения (среднее квадратическое отклонение) по высоте и ширине образца. Стандартное отклонение – это плюс корень квадратный из дисперсии. Для неслучайных величин стандартное отклонение равно нулю. Поэтому чем больше величина стандартного отклонения, тем менее однороден образец материала, и наоборот. По характеру изменения стандартного отклонения также можно определить неравномерность окраски образца.

Примеры изменения стандартных отклонений приведены на рис. 2.

Как известно, нормированная автокорреляционная функция характеризует статистическую связь между данными. При отсутствии такой связи функция стремится к нулю. Для определения корреляционной функции по результатам опыта выбирается достаточно большой объем выборки, чтобы можно было в широком диапазоне формировать разницу между двумя соседними значениями случайных

чисел. Эту разницу для непрерывного времени обычно обозначают τ , а корреляционную функцию – $R(\tau)$. Если объем выборки составляет N , то диапазон вычисления корреляционной функции будет определяться как $N - \tau$. Величина τ задает область определения корреляционной функции. Например, τ может меняться от 0 до 6–8. При этом N должно быть много больше 6 или 8. Область суммирования принимает значения от 1 (первое случайное число выборки) до $N - \tau$. Корреляционная функция вычисляется по следующей экспериментальной формуле [1]:

$$R(\tau) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{j=1}^{N-\tau} n_j n_{j+\tau},$$

где n_j – случайное число из заданной выборки случайных чисел размера N .

Нормированная корреляционная (и автокорреляционная) функция получается из корреляционной функции, деленной на дисперсию данной выборки.



а

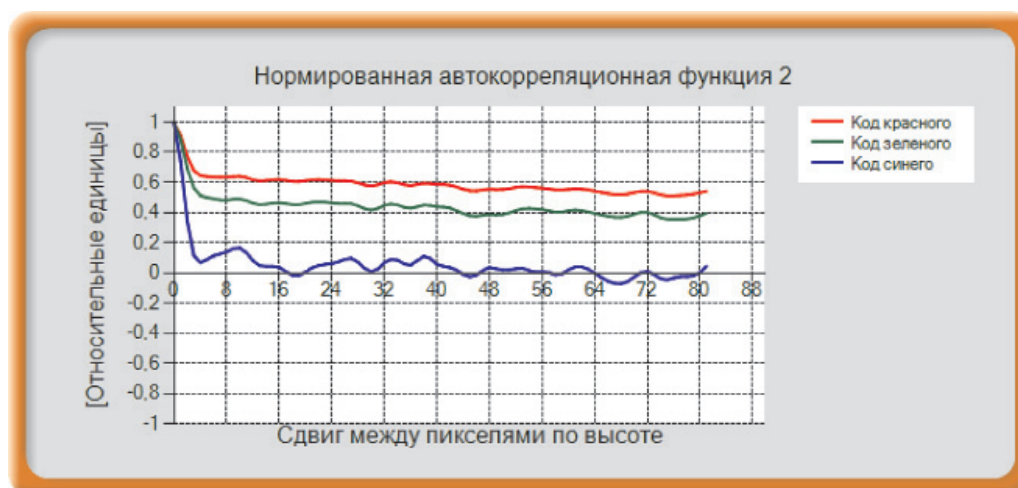


б

Рис. 2. Изменение стандартного отклонения по ширине (а) и высоте (б) образца



а



б

Рис. 3. Изменение автокорреляционной функции по ширине (а) и высоте (б) образца

Примеры нормированных автокорреляционных функций для образца, представленного на рис. 1, показаны на рис. 3.

Анализ образца (см. рис. 1, а) выполнен на основе разработанной программы автогров [3]. Расчет среднего арифметического одномерного массива соответствующей компоненты кода RGB не представляет особых затруднений. Расчет стандартного отклонения выполняется на основе расчета исправленной выборочной дисперсии (D) по формуле

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{x})^2,$$

где n – размер массива; p_i – средняя яркость точки (пикселя); $\bar{x}$ – среднее арифметическое яркости пикселей (по высоте или по ширине).

Для оптимизации вычисления дисперсии обычно рассчитываются первый m_1 и второй m_2 начальные моменты за один проход массива данных, после чего исправленная выборочная дисперсия рассчитывается по формуле

$$D = (m_2 - m_1^2) \cdot \frac{n}{n-1}.$$

В [7, 9] предусмотрен анализ каждого из компонентов кода RGB. Подход к анализу аналогичен предыдущим случаям.

В качестве числовой оценки изменения свойств материала, подвергавшегося внешним неблагоприятным факторам, предлагается ввести относительный коэффициент соответствия. Он изменяется от нуля до единицы. Единица соответствует полному совпадению сравниваемых образцов. Чем ближе к нулю, тем больше различий между

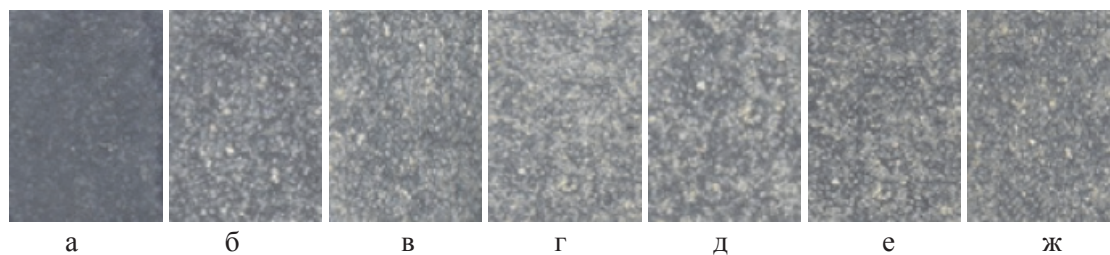
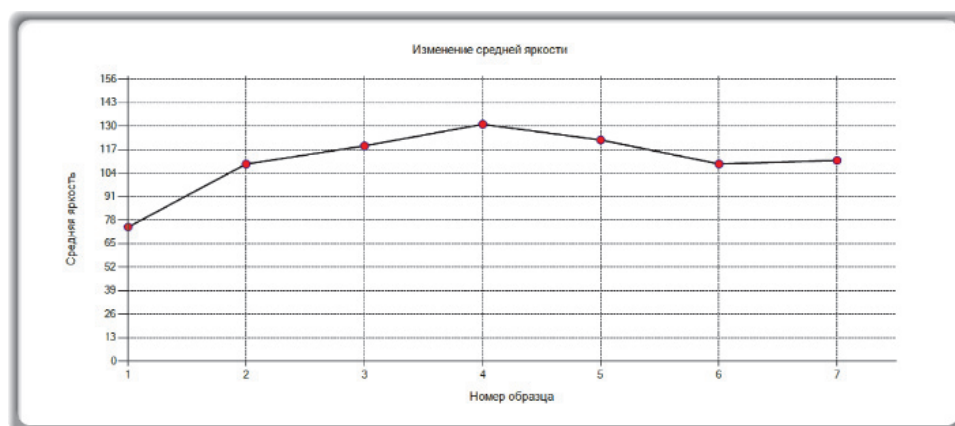
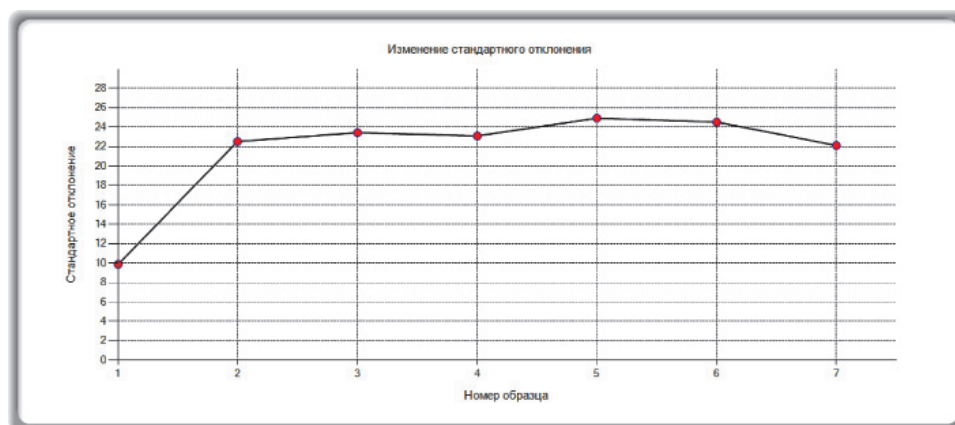


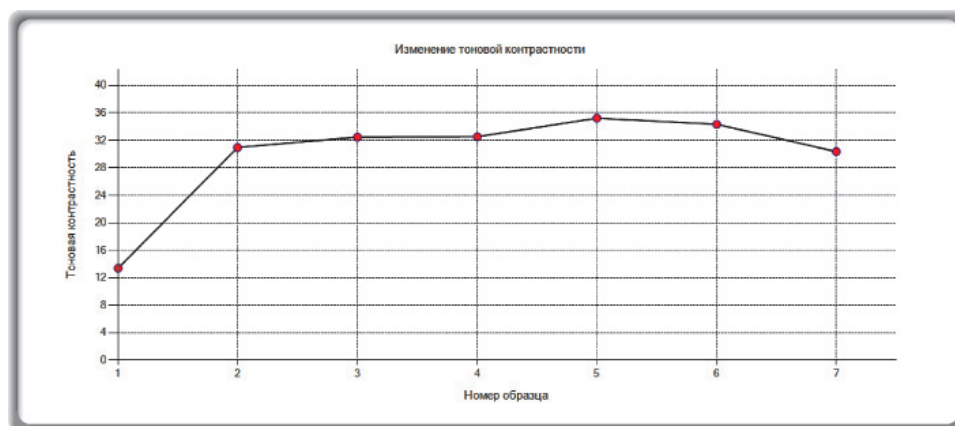
Рис. 4. Поверхность образца до (а) и после (б–ж) воздействия агрессивной среды



а

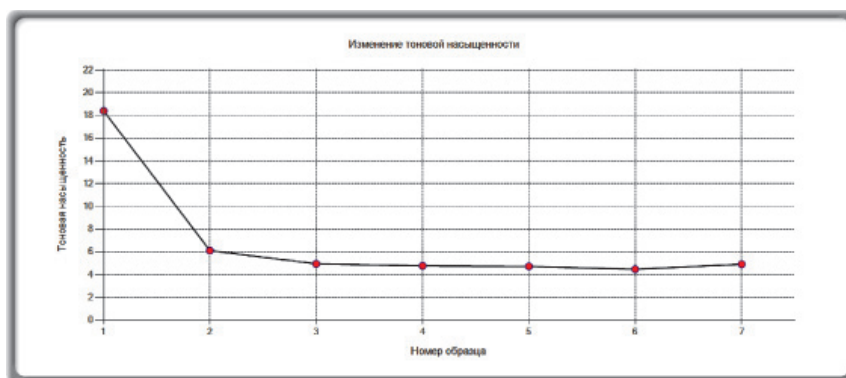


б

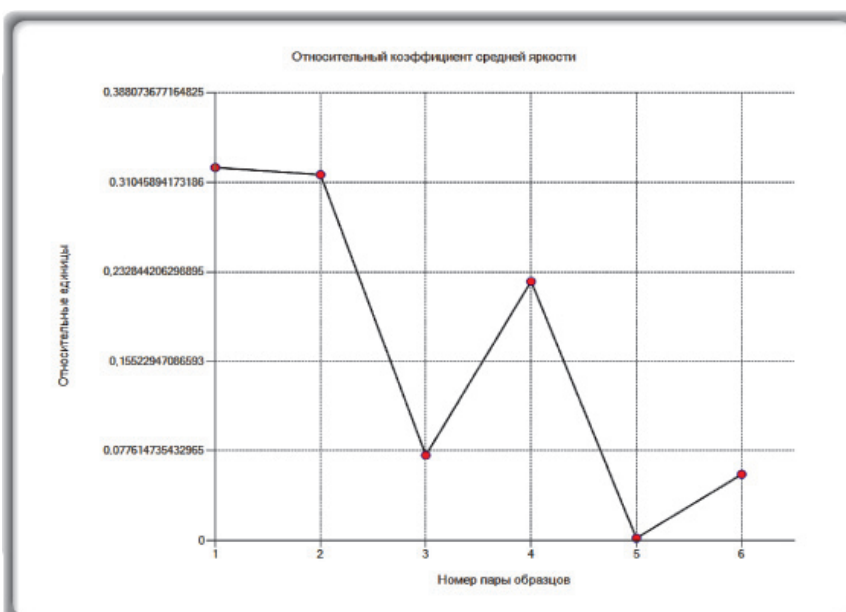


в

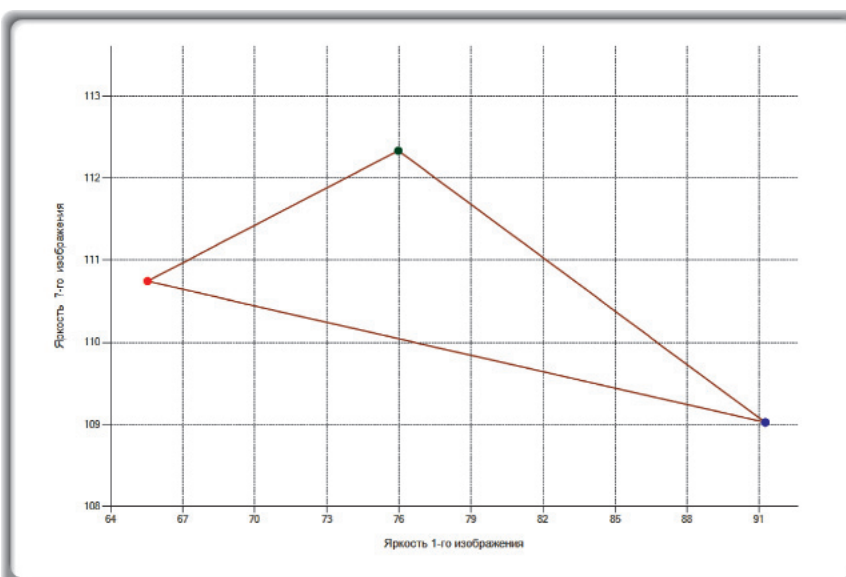
Рис. 5. Изменение средней яркости (а), стандартного отклонения (б) и тоновой контрастности образцов в результате агрессивного воздействия



а



б



в

Рис. 6. Изменение тоновой насыщенности (а) и относительного коэффициента яркости (б) образцов в результате агрессивного воздействия неблагоприятных факторов. Треугольник яркости двух сравниваемых образцов (в)

образцами. Алгоритм вычисления относительного коэффициента соответствия заключается в определении треугольников яркостей образцов, вершины которых соответствуют средним значениям (или стандартным отклонениям) кодов красного, зеленого, синего. Затем вычисляются площади треугольников. И, наконец, берется отношение меньшей площади к большей. Очевидно, что если площади одинаковые, то относительный коэффициент соответствия будет равен единице.

Рассмотрим пример сравнения образцов относительно контрольного образца. Другие образцы – это результат воздействия неблагоприятных факторов в течение 6 месяцев (10% раствор серной кислоты). На рис. 4 приведен контрольный образец и часть остальных образцов. Изображения поверхности образцов, приведенные на рис. 4, получены методом прямого сканирования с помощью сканера типа HPScanJet 2400.

Результаты анализа отсканированных изображений с помощью разработанного программного комплекса [9] можно вывести в виде графиков изменения средней яркости образцов, стандартного отклонения, тоновой контрастности и насыщенности, относительного коэффициента и треугольника яркости. На рис. 6, 7 представлены результаты анализа поверхности образцов, подвергшихся неблагоприятным факторам в течение шести месяцев.

Согласно данным (рис. 5, 6) значительное изменение цвета поверхности наблюдается уже после первого месяца воздействия агрессивной среды (обнаруживается большая неоднородность окрашивания материала, появление светлых пятен). На рис. 6 в показан треугольник яркости двух изображений – первого (контрольного) и последнего. Идентичные изображения будут иметь одинаковые треугольники яркости. Вершины треугольника представляют собой средние значения матриц компонент RGB, вычисленные по высоте и ширине образца. В частности, для контрольного образца (1-го изображения) и последнего (7-го изображения) образца получены следующие значения площадей (в квадратных единицах – кв. ед.) треугольников яркости и относительный коэффициент соответствия:

- 1) площадь треугольника средней яркости 1-го изображения 17,52526 кв. ед.;
- 2) площадь треугольника средней яркости 7-го изображения 1,00639 кв. ед.;
- 3) относительный коэффициент соответствия площадей яркости двух изображений равен 0,057425.

Введенный относительный коэффициент соответствия дает числовую оценку несоответствия изображений, которую затруднительно определить визуально. Соответственно, приведенные диаграммы в программе [9] сопровождаются числовыми результатами. Поэтому сравнительный анализ образцов можно осуществлять не только визуально по графикам, но и при сравнении числовых показателей. В программе предусмотрено сравнение всех образцов относительно контрольного образца – изображения.

Разработанная методика оценки декоративных свойств покрытий позволяет моделировать изменение цвета и качества поверхности различных строительных материалов, изделий и конструкций под воздействием эксплуатационных факторов. Рассмотренные зависимости дают визуальную картину изменения свойств материалов в течение времени, а также числовые характеристики этих зависимостей.

Список литературы

1. Афонин В.В. Моделирование систем: учебно-практическое пособие / В.В. Афонин, С.А. Федосин. – М.: Интуит, Бином, Лаборатория знаний, 2010. – 231 с.
2. 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.
3. Ерофеев В.Т., Черушова Н.В., Афонин В.В. Программа анализа декоративных свойств защитных покрытий по строительным конструкциям с учетом коэффициентов корреляции и нормированной автокорреляционной функции: программа для ЭВМ // Свид. № 2014612723. Зарег. в Реестре программы для ЭВМ. 05.03.2014.
4. Методика оценки изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под действием эксплуатационных факторов / В.Т. Ерофеев, Н.В. Черушова, В.В. Афонин, Е.А. Митина // Вестник отделения строительных наук РААСН: Вып. 8. – М.: Изд-во РААСН. – 2004. – С. 180–185.
5. Методика оценки изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под воздействием биологических и других факторов / Н.В. Черушова, В.В. Афонин, Е.А. Митина, В.Т. Ерофеев // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Отв. ред.: В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. – 2004. – С. 100–104.
6. Оценка изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под воздействием эксплуатационных факторов / Н.В. Черушова, Е.А. Митина, М.М. Касимкина, В.В. Афонин, В.Т. Ерофеев // Вестник Мордовского университета. – 2008. – № 4. – С. 124–127.
7. Программа анализа однородности декоративных свойств строительных материалов и изделий на основе яркостных и геометрических характеристик: программа для ЭВМ / В.Т. Ерофеев, В.В. Афонин, Н.В. Черушова и др. // Свид. № 2014612723. Зарег. в Реестре программ для ЭВМ. 23.10.2014.
8. Программа прогнозирования изменения цвета лакокрасочных материалов: программа для ЭВМ / В.Т. Ерофеев, М.М. Касимкина, В.В. Афонин и др. // Свид. № 2010616208. Зарег. в Реестре программ для ЭВМ. 20.09.2010.

9. 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. // Свид. № 2015610108. Заг. в Реестре программ для ЭВМ. 12.01.2015.

References

1. Afonin V.V. Modelirovanie sistem: uchebno-prakticheskoe posobie M.: Intuit, Binom, Laboratorija znaniy, 2010. 231 p.

2. Erofeev V.T., Afonin V.V., Kasimkina M.M. Vlijanie plastifikatorov na izmene-nie cvetnosti LKM pod vozdejstviem agressivnyh sred // Lakokrasochnye materialy i ih primenenie. 2011. no. 6. pp. 38–41.

3. Erofeev V.T., Cherushova N.V., Afonin V.V. Programma analiza dekorativnyh svojstv zashhitnyh pokrytij po stroitel'nym konstrukcijam s uchetom koeficientov korrelyacii i normirovannoj avtokorrelyacionnoj funkicii // Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM. no. 2014612723. 05.03.2014.

4. Erofeev V.T., Cherushova N.V., Afonin V.V., Mitina E.A. Metodika ocenki izmenenija dekorativnyh svojstv lakokrasochnyh materialov pod dejstviem jekspluatacionnyh faktorov // Rossijskaja akademija arhitektury i stroitel'nyh nauk. Vestnik otdele-nija stroitel'nyh nauk –2004. no. 8. pp. 180–185.

5. Cherushova N.V., Afonin V.V., Mitina E.A., Erofeev V.T. Metodika ocenki izmenenija dekorativnyh svojstv

lakokrasochnyh materialov pod vozdejstviem biologicheskikh i drugih faktorov // Biopovrezhdenija i biokorrozija v stroitel'stve. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Otvetstvennye redaktory: V.T. Erofeev, V.F. Smirnov. Saransk, 2004. pp. 100–104.

6. Cherushova N.V., Mitina E.A., Kasimkina M.M., Afonin V.V., Erofeev V.T. Ocenka izmenenija dekorativnyh svojstv lakokrasochnyh materialov pod vozdejstviem jekspluatacionnyh faktorov // Vestnik Mordovskogo universiteta. 2008. no. 4. pp. 124–127.

7. Erofeev V.T., Afonin V.V., Cherushova N.V., Zotkina M.M., Mitina E.A., Erofeeva I.V. Programma analiza odnorodnosti dekorativnyh svojstv stroitel'nyh materialov i izdelij na osnove jarkostnyh i geometricheskikh harakteristik // Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM no. 2014612723. 23.10.2014.

8. Erofeev V.T., Kasimkina M.M., Afonin V.V., Cherushova N.V., Mitina E.A., Erofeeva I.V. Programma prognozirovaniya izmenenija cveta lakokrasochnyh materialov // Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM no. 2010616208. 20.09.2010.

9. Erofeev V.T., Afonin V.V., Zotkina M.M., Rimshin V.I., Starcev O.V., Zotkin V.B., Erofeeva I.V., Medvedev I.M. Programmnyj kompleks dlja ocenki izmenenija dekorativnyh svojstv kompozicionnyh materialov, jekspluatirujushhij v uslovijah vozdejstvija fizicheskikh, himicheskikh, biologicheskikh i klimaticheskikh faktorov // Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM no. 2015610108. 12.01.2015.