

УДК 691

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДЕКОРАТИВНЫХ
СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ
КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ И НОРМИРОВАННОЙ
АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ****Громов Дмитрий Витальевич**
магистрант**Копейкин Иван Анатольевич**
магистрант

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск

author@apriori-journal.ru

Аннотация. В статье рассматривается разработка системы анализа декоративных свойств строительных материалов с учетом коэффициентов корреляции и нормированной автокорреляционной функцией, цветовые модели, оценки основных показателей изображения.

Ключевые слова: цветовые модели, RGB, корреляция, нормированная автокорреляционная функция, основные показатели изображения, строительные материалы.

**DEVELOPMENT SYSTEM OF ANALYSIS DECORATIVE
BUILDING MATERIALS****Gromov Dmitrii Vitalevich**
undergraduate**Kopeykin Ivan Anatolevich**
undergraduate

Mordovian state university of N.P. Ogaryov, Saransk

Abstract. The article discusses the development of the analysis of decorative properties of building materials taking into account the correlation coefficients and the normalized autocorrelation function, color models, assessing the underlying image.

Key words: color models, RGB, correlation, normalized autocorrelation function, the basic parameters of the image, construction material.

С течением времени под воздействием климатических факторов – солнечной радиации, перепада температур, повышенной влажности, атмосферной пыли и грязи и т.д., а также различных агрессивных сред – происходит разрушение материалов, которое можно отследить по меняющимся характеристикам. Поэтому на этапе подготовки к началу строительства, во время его осуществления и после его окончания часто возникает необходимость в проверке качества строительных материалов, которые были планируются использовать или уже были использованы. В таком случае становится необходимым проведением экспертизы строительных материалов [1]. От качества строительных материалов зависит надежность и вид сооружения.

На сегодняшний день для осуществления анализа качества строительных материалов и проведения экспертиз над ними необходимо иметь достаточно обширные знания в этой сфере и иметь в своем распоряжении специальное лабораторное оборудование, что доступно не каждому. В то же время производитель обязан выпускать продукцию, отвечающую установленным техническими нормам, используя различное, меняющееся от партии к партии, сырье.

В настоящее время проверка качества занимает много времени и требуется сложное оборудование. Поэтому большинство предприятий осуществляет проверку качества визуально, сравнивая с идеальным образцом.

Невнимательность, неграмотность и многое другое, все это приводит к неточности проверки. Отсюда берутся возвраты, вследствие чего предприятие терпит немалые убытки. Поэтому возникает необходимость в более точной и быстрой проверки качества исследуемых образцов.

Эту проблему можно решить с помощью компьютерных технологий, разработкой системы анализа декоративных свойств строительных материалов с учетом коэффициентов корреляции и нормированной автокорреляционной функций. Эта система способна программным путем

анализировать покрытие строительного материала, что снижает время работы и затраты на производство. Потребность в подобном анализе существует и, видимо, будет расти интерес к программным продуктам сравнительного анализа качества покрытий строительных материалов.

В данной статье анализ качества покрытий материалов будет осуществляться по их отсканированным образцам, с помощью специальных сканеров, в графических форматах .bmp, .jpg (.jpeg), .png, .tiff. Анализ изображений будет выполняться на основе цветовой модели RGB. Поскольку эта модель представляет собой трехмерный массив, состоящий из двумерных прямоугольных массивов пикселей, то оценка качества будет осуществляться по статистическим характеристикам массивов пикселей, включая множественный коэффициент корреляции и автокорреляционную функцию. При этом предполагается, что пиксели в соответствующих матрицах кода RGB расположены для наблюдателя в достаточно хаотическом или случайном порядке. Поэтому будут применяться известные результаты статистической обработки изображений и результаты теории статистики в целом.

В настоящее время на практике используются три основных способа определения качества поверхности: визуальное определение, сравнение с идеальным образцом, количественное измерение на специальных, дорогостоящих приборах и числовое выражение [2].

Визуальное определение – способ, основанный на восприятии цвета поверхности и/или внешнего вида с помощью органов зрения и получении первичной информации о цвете поверхности. Внешний вид является комплексным показателем, который включает форму, цвет, состояние поверхности, целостность и определяется визуально.

Сравнение с идеальным образцом – это метод контроля, при котором для оценки качества используют опытный (модельный) образец. При производстве каждого такого образца должны соблюдаться технологические параметры, зафиксированные и документированные серти-

фикатом, что необходимо во избежание недоразумений и ошибок, поскольку даже небольшое отклонение может изменить цвет поверхности изделия.

Необходимо отметить, что первые два метода являются условными и субъективными, так как напрямую связаны с состоянием нервной системы человека и зависят от личных особенностей зрения исследователя.

Для количественного измерения цвета в 1931 г. была создана колориметрическая система, утвержденная Международной осветительной комиссией (МОК) – система измерения цвета с помощью трех координат X , Y , Z – трех реально воспроизводимых цвета, выбранных таким образом, чтобы реальные цвета находились внутри цветового треугольника. На практике вместо трехмерной колориметрической системы координат цвета, как правило, используется двумерная система координат X и Y .

Кроме колориметрической системы, цвет можно измерить с помощью таких характеристик как цветовой тон, чистота цвета, коэффициент яркости или отражения (измеряются непосредственно с помощью колориметров и спектрофотометров). Естественно, что при одинаковых значениях этих характеристик поверхности должны иметь один и тот же цвет. Однако было установлено, что между цветовыми ощущениями человека и спектральным составом цвета нет прямой связи; при исследовании большого числа поверхностей различных цветов установлено, что цветовые характеристики не всегда дают правильные представления о цвете поверхности, его тоне и насыщенности. Если расположить образцы строительных материалов в ряд по возрастанию длин волн, то оказывается, что они не воспроизводят равномерный ряд цветов поверхностей, получаемый в результате визуального осмотра (особенно характерно для коричневых, бежевых, желтых цветов) [2]. К тому же использование колориметров и спектрофотометров при приемочном контроле качества поверхности строительных материалов и проведении исследо-

вательских работ представляет определенные трудности, связанные с длительностью и дефицитом средств измерения.

В основе математических моделей известных разработанных программных комплексов лежит возможность получения растрового изображения структуры материала методом прямого сканирования изучаемой поверхности с последующей идентификацией и обработкой результатов. В цветном варианте сканирования при использовании определенной цветовой модели, под которой подразумевается способ формального описания цвета на основе составляющих его компонентов, появляется возможность разложить каждый цвет на составляющие, анализ которых дает возможность получить объективные данные о цвете поверхности строительных материалов. Несмотря на схожесть подходов к оценке свойств материалов методом прямого сканирования поверхности, для описания цвета используются различные цветовые модели, например: RGB, Lab, CMYK, HSB.

Цветовая модель – математическая модель описания представления цветов в виде кортежей чисел (обычно из трёх, реже – четырёх значений), называемых цветовыми компонентами или цветовыми координатами. Все возможные значения цветов, задаваемые моделью, определяют цветное пространство. Цветовая модель обычно используется для хранения и обработки цветов в дискретном виде, при представлении ее в вычислительных устройствах, в частности, ЭВМ. Цветовая модель задаёт соответствие между воспринимаемыми человеком цветами, храняемыми в памяти, и цветами, формируемым на устройствах вывода (возможно, при заданных условиях) [4].

RGB (Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий) – цветовая модель, как правило, описывающая способ синтеза цвета для цветовоспроизведения. Выбор основных цветов обусловлен особенностями физиологии восприятия цвета сетчаткой человеческого глаза. Цветовая модель RGB нашла широкое применение в технике. Как видно из названия – со-

стоит из синего, красного и зеленого цветов, которые образуют все промежуточные. Модель RGB обладает большим цветовым охватом.

Для выполнения расчета характеристик необходимо выделить RGB-компоненты в исследуемом изображении.

Чтобы выделить компоненты RGB, нужно взять адрес массивов. Сделать это можно с помощью указателей. С помощью указателя берем адрес первого пикселя трехмерного массива, затем осуществляется обход массива по высоте и ширине каждого массива с переброской значений кода RGB в соответствующих двумерный массив – синего, зеленого, красного.

К показателям, по которым можно оценить изображение, относят:

- яркость;
- контрастность;
- резкость;
- преобладающий тон.

Прежде чем приступить к выработке методов оценки изображения, необходимо выбрать цветовую модель. Наиболее удобной представляется модель RGB по нескольким причинам:

- эта модель достаточно проста как для понимания, так и для математического описания;
- она применяется во многих технических устройствах и, при необходимости, преобразуется в другие цветовые модели;
- она близка к представлениям о природе чувствительности к цвету человеческого глаза.

Цветовую модель RGB удобно представить в виде куба в прямоугольной системе координат, где в начале координат расположена точка чёрного цвета (яркость $R = G = B = 0$), а вдоль осей возрастают значения яркости R, G и B. На главной диагонали куба, выходящей из начала координат, расположены ахроматические цвета (это черный, белый и вся шкала серых между ними).

Цветным RGB изображением называется массив $W \times H \times 3$, состоящий из трех матриц размера $W \times H$, которые соответствуют трем цветовым компонентам: красному, зеленому и синему. Расположение монохромных пикселей, соответствующих этим матрицам на цветном RGB изображении (рисунок 1).

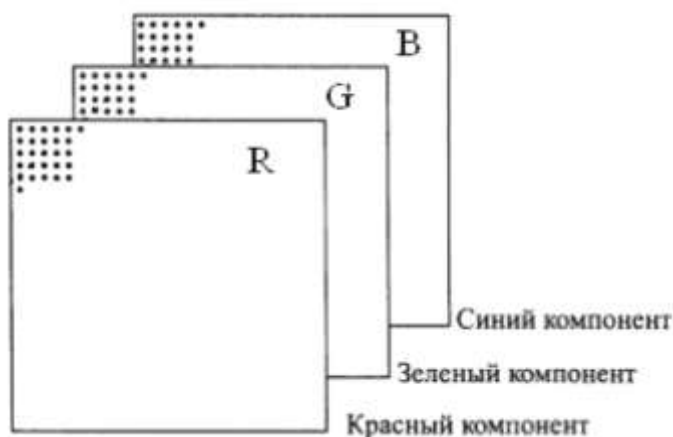


Рис. 1. Цветное RGB изображение

Проверка качества будет осуществляться по следующим показателям:

1. Среднее значение яркости образца;
2. Среднее значение кодов RGB поверхности образца;
3. Выборочная дисперсия (D) цветности;
4. Стандартное отклонение (S) цветности;
5. Коэффициенты парной корреляции кодов RGB;
6. Множественный коэффициент корреляции кодов RGB;
7. Нормированная автокорреляционная функция.

Яркость изображения можно выразить как среднюю яркость всех пикселей (математическое ожидание в терминах теории вероятностей) [5].

Яркость пикселя вычисляется по формуле

$$Bright_p = R_p + G_p + B_p, \quad (1)$$

где R_p – цветовая составляющая красного канала,

G_p – цветовая составляющая зеленого канала,

B_p – цветовая составляющая синего канала.

Яркость всего изображения $Bright$, содержащего N пикселей будет определяться по формуле

$$Bright = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N R_p + G_p + B_p \quad (2)$$

Данное выражение характеризует физическую яркость изображения [5]. Поскольку чувствительность человеческого глаза к разным частям спектра неодинакова (максимальная в жёлто-зелёной, меньше в красной, ещё меньше в синей), яркость цветного пикселя будет восприниматься субъективно в зависимости от его тональных характеристик.

В соответствии с рекомендациями стандарта Федеральной комиссии связи (FCC), яркость изображения (видимая) $Bright$ вычисляется по формуле

$$Bright = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N 0,299R_p + 0,587G_p + 0,114B_p \quad (3)$$

Коэффициенты формулы (3) показывают чувствительность человеческого глаза к соответствующему цвету. Оценка как физической, так и видимой яркости изображения представлена в абсолютных величинах. Перейти к относительным величинам можно по формуле (4), разделив значение яркости на максимально возможное значение яркости:

$$Bright_{rel} = \frac{Bright}{Bright_{max}}, \quad (4)$$

где $Bright_{max}$ – максимальное значение яркости.

Тогда $Bright_{rel}$ будет лежать в диапазоне $[0, 1]$. Значение 0 будет соответствовать абсолютно чёрному изображению, а значение 1 – абсолютно белому. Изображение оптимальной яркости должно иметь значе-

ние близкое к 0,5 [5]. Оценка оптимальной яркости изображения осуществляется по формуле (5):

$$Bright_{opt} = \frac{Bright_{mean}}{Bright_{max}}, \quad (5)$$

где $Bright_{mean}$ – средняя яркость изображения.

Найти средние значения красного, зеленого и синего каналов по ширине можно, используя формулы

$$R_{mean}^W = \frac{1}{W} \sum_{p=1}^W R_{1p}, \quad G_{mean}^W = \frac{1}{W} \sum_{p=1}^W G_{1p}, \quad B_{mean}^W = \frac{1}{W} \sum_{p=1}^W B_{1p}, \quad (6)$$

Хорошим критерием оценки яркостной контрастности будет дисперсия яркости пикселей изображения, которая вычисляется по формуле

$$D = \frac{1}{N-1} \sum_{p=1}^N (Bright_p - Bright_{mean})^2, \quad (7)$$

где $N - 1$ используется для нахождения несмещенной оценки дисперсии.

Среднеквадратическое отклонение (стандартное отклонение) определяется как плюс корень квадратный из дисперсии.

Использование стандартного отклонения обусловлено тем, что оно имеет такие же единицы измерения, что и среднее значение.

Для измерения тесноты связи между двумя из рассматриваемых переменных (без учета их взаимодействия с другими переменными) применяются парные коэффициенты корреляции. Методика расчета таких коэффициентов и их интерпретации аналогичны линейному коэффициенту корреляции в случае однофакторной связи

$$r_{yx_1} = \frac{\overline{YX_1} - \bar{Y} - \bar{X}_1}{\sigma_{x_1} * \sigma_y}, \quad r_{yx_2} = \frac{\overline{YX_2} - \bar{Y} - \bar{X}_2}{\sigma_{x_2} * \sigma_y}, \quad r_{x_1x_2} = \frac{\overline{X_1X_2} - \bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_{x_2} * \sigma_{x_1}}, \quad (8)$$

где $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} = \sqrt{\overline{X^2} - (\bar{X})^2}$ – среднеквадратическое отклонение

факторного признака;

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n}} = \sqrt{Y^2 - (\bar{Y})^2} \quad - \quad \text{среднеквадратическое отклонение}$$

результативного признака.

Коэффициент множественной корреляции (R) [5] характеризует тесноту связи между результативным показателем и набором факторных показателей:

$$R = \sqrt{\frac{\sigma^2 - \sigma_{ост}^2}{\sigma^2}}, \text{ или } R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y - \bar{s})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}} \quad (9)$$

где σ^2 – общая дисперсия эмпирического ряда, характеризующая общую вариацию результативного показателя (y) за счет факторов;

$\sigma_{ост}^2$ – остаточная дисперсия в ряду y, отражающая влияния всех факторов, кроме x;

y – среднее значение результативного показателя, вычисленное по исходным наблюдениям;

s – среднее значение результативного показателя, вычисленное по уравнению регрессии.

Коэффициент множественной корреляции принимает только положительные значения в пределах от 0 до 1. Чем ближе значение коэффициента к 1, тем больше теснота связи. И, наоборот, чем ближе к 0, тем зависимость меньше. При значении $R < 0,3$ говорят о малой зависимости между величинами. При значении $0,3 < R < 0,6$ говорят о средней тесноте связи. При $R > 0,6$ говорят о наличии существенной связи.

Квадрат коэффициента множественной корреляции называется коэффициентом детерминации (D): $D = R^2$.

Коэффициент детерминации показывает, какая доля вариации результативного показателя связана с вариацией факторных показателей. В основе расчета коэффициента детерминации и коэффициента множественной корреляции лежит правило сложения дисперсий, согласно которому общая дисперсия (σ^2) равна сумме межгрупповой дисперсии (δ^2) и средней из групповых дисперсий (σ_i^2):

$$\sigma^2 = \delta^2 + \sigma_i^2. \quad (10)$$

Межгрупповая дисперсия характеризует колеблемость результативного показателя за счет изучаемого фактора, а средняя из групповых дисперсий отражает колеблемость результативного показателя за счет всех прочих факторов, кроме изучаемого.

Математические модели корреляционного анализа в форме коэффициентов имеют ограниченные аналитические возможности. Зная лишь направление ковариации показателей и тесноту связи, невозможно определить закономерности формирования уровня результативного показателя под влиянием исследуемых факторов, оценить интенсивность их влияния, классифицировать факторы на основные и второстепенные. Для этих целей используются модели регрессионного анализа. Линейная модель (уравнение) регрессионного анализа может быть представлена в виде

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n, \quad (11)$$

где y – результативный показатель;

x_1, x_2, \dots, x_n – факторные модели;

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ – коэффициенты регрессии.

Для обработки изображений по ширине и высоте необходимо представить его в виде двумерного массива $W \times H$, где W – ширина изображения, H – высота (таблица 1). Каждый элемент массива является отдельным пикселем (в скобках указаны цветовые компоненты пикселя).

Как отмечалось ранее, яркость пикселя вычисляется по формуле

$$Bright_p = R_p + G_p + B_p \quad (12)$$

Для того чтобы найти среднюю яркость по ширине изображения нужно:

а) найти яркость каждого пикселя 1-ой строки:

яркость пикселя с индексом [1, 1]:

$$Bright_{11} = R_{11} + G_{11} + B_{11};$$

яркость пикселя с индексом [1, 2]:

$$Bright_{12} = R_{12} + G_{12} + B_{12};$$

яркость пикселя с индексом [1, ...]: ...

яркость последнего пикселя [1, W]:

$$Bright_{1W} = R_{1W} + G_{1W} + B_{1W};$$

б) сложить полученные значения яркости:

$$Bright^W = Bright_{11} + Bright_{12} + \dots + Bright_{1W}; \quad (13)$$

в) поделить полученную сумму на ширину изображения, т.е. на количество пикселей в 1-ой строке:

$$Bright_{mean}^W = \frac{Bright^W}{W}. \quad (14)$$

Общая формула для вычисления средней яркости по ширине изображения имеет вид

$$Bright_{mean}^W = \frac{1}{W} \sum_{p=1}^W R_{1p} + G_{1p} + B_{1p} \quad (15)$$

Аналогично находится средняя яркость по высоте изображения. Для этого нужно:

а) найти яркость каждого пикселя 1-ого столбца;

б) сложить полученные значения яркости;

в) поделить полученную сумму на высоту изображения, т.е. на количество пикселей в 1-ом столбце.

Формула для вычисления средней яркости по высоте изображения

$$Bright_{mean}^H = \frac{1}{H} \sum_{p=1}^H R_{p1} + G_{p1} + B_{p1} \quad (16)$$

Определим стандартные отклонения интенсивности кода RGB по ширине изображения. Для этого нужно:

а) найти средние значения красного, зеленого и синего каналов по ширине, используя формулы

$$R_{mean}^W = \frac{1}{W} \sum_{p=1}^W R_{1p}, \quad G_{mean}^W = \frac{1}{W} \sum_{p=1}^W G_{1p}, \quad B_{mean}^W = \frac{1}{W} \sum_{p=1}^W B_{1p}; \quad (17)$$

б) с помощью формул вычисления дисперсии и среднеквадратичного отклонения (6) и (7), найти стандартные отклонения от средних значений кода RGB.

Формула вычисления выборочного значения стандартного отклонения от средних значений по ширине изображения для красного канала

$$\sigma_R^W = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{p=1}^W (R_{1p} - R_{mean}^W)^2} \quad (18)$$

– для зеленого канала

$$\sigma_G^W = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{p=1}^W (G_{1p} - G_{mean}^W)^2} \quad (19)$$

– для синего канала

$$\sigma_B^W = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{p=1}^W (B_{1p} - B_{mean}^W)^2} \quad (20)$$

Для того чтобы найти стандартные отклонения от средних значений кода RGB по высоте изображения нужно применить аналогичные формулы, с той разницей, что обход пикселей будет не по ширине, а по высоте исследуемого изображения.

Корреляционная функция называется автокорреляционной, если производится статистический анализ одного случайного процесса (или одной выборки случайных чисел) [5].

Нормированной корреляционной функцией называется отношение центрированной корреляционной функции к дисперсии случайного процесса.

Для нахождения значений нормированной корреляционной функции необходимо предварительно центрировать значения случайного процесса или значения отсчетов случайной величины, т.е. выполнить операцию $n_1 = m$, где n_1 – случайное число, $m = 0,5$ – теоретическое математическое ожидание равномерного распределения из интервала [0; 1].

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 через τ и тогда корреляционная функция обозначается как $R(\tau)$. 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 $N - \tau$.

После этого корреляционная функция вычисляется по следующей экспериментальной формуле:

$$R(\tau) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{j=1}^{N-\tau} n_f n_j + \tau_3, \quad (21)$$

где n_f – случайное число из заданной выборки случайных чисел.

Расчет по приведенной формуле: если взято какое-либо случайное число, то другое случайное число отстоит от первого на величину τ .

Обозначим нормированную корреляционную функцию как \tilde{R} . Центрированную корреляционную функцию обозначим через R^{23} . Тогда нормированная корреляционная функция будет определяться в виде отношения

$$\tilde{R} = \frac{R^{23}}{S \uparrow}. \quad (22)$$

где S – дисперсия данной выборки случайных чисел.

ГСЧ считается хорошим, если при τ , не равной нулю, модуль нормированной корреляционной функции меньше 0.1, т.е. $|\tilde{R}| < 0,1$.

В представленной статье проанализированы основные проблемы изменения качества поверхности строительных материалов под воздействием различных факторов. Намечен алгоритм расчета показателей изображения, позволяющие выполнить оценку однородности материалов, их покрытия, после воздействия на них различных эксплуатационных факторов. Обоснована актуальность разработки программного комплекса для оценки основных показателей отсканированных образцов строительных и других материалов.

Список использованных источников

1. Ерофеев В.Т. Методика оценки изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под действием эксплуатационных факторов / В.Т. Ерофеев, Н.В. Черушова, В.В. Афонин, Е.А. Митина // Вестн. отд-ния строит. наук. 2004. № 8. С. 180-185.
2. Селяев В.П. Метод компьютерного экспресс-анализа декоративных характеристик защитных покрытий / В.П. Селяев, Т.А. Низина, Е.А. Егунова // Вестник МГСУ. 2012. № 1. С. 153-158.
3. Оценка изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под воздействием эксплуатационных факторов / В.Т. Ерофеев, Н.В. Черушова, В.В. Афонин, Е.А. Митина, М.М. Касимкина // Вестн. отд-ния строит. наук. 2008. № 4. С. 124-127.
4. Цветовые модели CMYK, RGB, Lab, HSB [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://seno.by/tsvetovye-modeli-cmy>
5. Афонин В.В. Моделирование систем / В.В. Афонин, С.А. Федосин. М.: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2010. 231 с.
6. Александров Э.Э., Афонин В.В., Программирование на языке С в Microsoft Visual Studio 2010. Электронное учебное пособие. 530 с. URL: <http://www.intuit.ru/department/pl/prcmsvs2010>

7. Базы данных (MS ACCESS, MYSQL) / А.А. Аббакумов, В.Л. Акимов, А.И. Егунова, К.А. Лещанкин, В.М. Таланов. Саранск: Изд-во Средневожского математического общества, 2011.
8. Влияние пластификаторов на изменение цветности ЛКМ под воздействием агрессивных сред / В.Т. Ерофеев, В.В. Афонин, М.М. Касимкина. М.: Пэйнт-Медиа. 2011. № 6. С. 38-41.
9. Александров Э.Э., Афонин В.В. Программирование на языке С в Microsoft Visual Studio 2010. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. 424 с.