

doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-3-326-333

УДК 535.6, 519.6+004.9

## Метод исследования цветопередачи цифровых камер

Вера Леонидовна Жбанова<sup>1</sup>✉, Игорь Леонидович Жбанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Смоленск, 214013, Российская Федерация

<sup>2</sup> Военная академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского, Смоленск, 214013, Российская Федерация

<sup>1</sup> Vera-zhbanova@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-7597-0675>

<sup>2</sup> Gens84@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7321-6214>

### Аннотация

**Предмет исследования.** Предложен метод исследования цветопередачи цифровых камер, которые традиционно оценивают визуально по цветовым мишеням в работе фотографов и дизайнеров. **Метод.** Сущность метода состоит в сопоставлении значений цветности стандартных тест-объектов с их измеренными значениями на цифровой камере с помощью специальной установки. Установка состоит из источника света, коллиматора для равномерного освещения отражающего экрана с тест-объектом, и объекта исследования — цифровой камеры. Камера расположена по отношению к экрану под углом 45°. Это соответствует рекомендациям CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) для проведения цветовых измерений. Измерение колориметрической характеристики образцов выполнено по схеме освещения/наблюдения 0/45. Тест-объект освещается пучком света, ось которого составляет с нормалью к образцу угол не более 10°. Наблюдение образца осуществляется под углом  $45 \pm 5^\circ$  относительно нормали. Угол между осью освещающего пучка и любым его лучом не превышает  $5^\circ$ . В качестве осветителя выбран источник типа А (цветовая температура 2856 К). В качестве тест-объектов приняты стандартизированные эталонные наборы цветных оптических стекол (светофильтров), которые характеризуются координатами цветности. Для оценки результатов разработано специализированное программное обеспечение, которое позволяет выделять отдельные пиксели, рассчитывать их яркость для нахождения координат цветности и сопоставлять результаты с эталонными значениями. **Основные результаты.** Апробация метода выполнена на цифровой камере Canon EOS 60D. В момент измерения в камере отключались цифровые фильтры коррекции, сглаживания, обострения, а также цветовая подстройка. В работе представлены колориметрические измерения с использованием 58 цветных оптических стекол. Усредненные значения объединены в семь групп. Для измерений выбрано цветовое пространство sRGB. Экспериментальные данные доказали возможность применения предложенной методики для анализа цветопередачи цифровых камер и их тестирования с целью использования в колориметрических измерениях. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют применять предложенный метод при анализе и выборе оптимальных регистрирующих цифровых устройств для проведения колориметрических экспериментальных исследований в таких областях как медицина, химия, пищевая промышленность.

### Ключевые слова

цифровая камера, цветопередача, RGB, цветовое различие, цветовое пространство, светофильтры, экспериментальная установка, метод, методика

**Ссылка для цитирования:** Жбанова В.Л., Жбанов И.Л. Метод исследования цветопередачи цифровых камер // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 3. С. 326–333. doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-3-326-333

## A method for analysing the color rendering of digital cameras

Vera L. Zhbanova<sup>1</sup>✉, Igor L. Zhbanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Branch of National Research University “Moscow Power Engineering Institute” in Smolensk, Smolensk, 214013, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian Federation Armed Forces Army Air Defense Military Academy named after Marshal of the Soviet Union A.M. Vasilevsky, Smolensk, 214013, Russian Federation

<sup>1</sup> Vera-zhbanova@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-7597-0675>

<sup>2</sup> Gens84@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7321-6214>

### Abstract

The paper proposes a method for studying the color rendition of digital cameras. This parameter is conventionally assessed visually by color targets in photography and design. The proposed method compares the chromaticity values of standard test objects with their measured values on a digital camera using special setup features. The setup includes a light source, a collimator for uniform illumination of a reflecting screen with a test object, and a research object, i.e., a digital camera. The camera is positioned at a 45 degree angle to the screen. This setup follows the recommendations of the Commission Internationale de l’Eclairage (CIE) for color measurements. To measure the colorimetric characteristics of the samples, the authors adopted the 0/45 illumination / observation scheme. The test object is illuminated with a light beam, the axis of which makes an angle not exceeding 10° from the normal to the sample surface. The sample is observed at an angle of 45° ± 5° from the normal. The angle between the axis of the illuminating beam and any of its rays does not exceed 5°. A type A source (color temperature 2856 K) acts as an illuminator. Standardized reference sets of colored optical glasses (light filters) characterized by known chromaticity coordinates were chosen as test objects. To evaluate the results, specialized software has been developed that allows one to select individual pixels, calculate their brightness in order to find the chromaticity coordinates and compare the results with reference values. The method was tested using the Canon EOS 60D digital camera. At the time of measurement, digital filters for correction, anti-aliasing, sharpening, as well as color adjustment were turned off in the camera. The paper presents colorimetric measurements using 58 colored optical glasses. The averaged values fall into seven groups. The selected color space for measurements is sRGB. The measurement results proved the possibility of using the proposed technique for analysing and choosing appropriate digital recording devices for colorimetric measurements in such areas as medicine, chemistry and food industry.

### Keywords

digital camera, color rendering, RGB, color difference, color space, light filters, experimental setup, method, technique

**For citation:** Zhbanova V.L., Zhbanov I.L. A method for analysing the color rendering of digital cameras. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 326–333 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-3-326-333

### Введение

Исследование цифровых фотокамер, как правило, производится с целью профилирования и калибровки устройства [1–3]. Для этого применяются такие тест-объекты как цветочные мишени и цветочные шкалы (GretagMachbeth ColorChecker), которые позволяют визуально установить правильность цветопередачи фотоматериалом по набору контрольных цветов [4–6]. Для оценки цифровых фотокамер и сканеров прибегают к использованию профилей табличного типа, основанных на применении таблиц поиска и замены цвета (Color Look Up Table, CLUT) [7]. Также могут использоваться профили матричного типа, либо профили, хранящие обе структуры данных — матрицу цветочных коэффициентов (тег MatTRC) и таблицу CLUT (теги AToB). В этом случае программное обеспечение, которое будет использовать цветочный профиль, осуществляет преобразование изображения из цветочного пространства цифрового устройства во внутреннее цветочное пространство CMS (Content Management System) с помощью пересчета цветочных координат по матрице или по таблице поиска и замены цветов. Спецификация ICC (International Color Consortium) дает преимущество использования для цветочных расчетов метода по таблице поиска и замены цветов, который более точен при оценке устройства ввода изображений, чем метод линейного преобразования цветочных координат [1–3].

Данные методы направлены на подстройку цифрового устройства под условия съемки. Также следует учитывать, что цветочные наборы предназначены не для оценки адекватности цифровых изображений оригиналу, а для коррекции снимков и построения цветочного профиля по снятым цветочным мишеням. Таким образом, происходит коррекция цветочных искажений, возникших на этапе ввода изображения. Оцениваются не столько технические возможности камеры, сколько возможности программного обеспечения устройства. И если для простого пользователя, стремящегося к художественности в съемке, последнее не является недостатком, то для исследователей, применяющих цифровые камеры в качестве регистраторов при экспериментальных исследованиях, — это насущная проблема [8–11]. Для проведения точных цветочных измерений необходимо понимание не только технологических, но и колориметрических возможностей цифровой камеры [12].

Вопросы оценки цветопередачи цифровых камер являются до сих пор актуальными, а вопрос методики измерений — не до конца проработанным. Иногда для оценки цветопередачи цифровых камер пытаются применить метод контрольных цветов, спектральный метод или индекс цветопередачи, однако эти способы измерений приемлемы к оценке передающих устройств, в частности, они применяются для оценки цветопередачи источников излучения [13–15].

Цель исследования — разработка более точного метода оценки точности цветопередачи цифровых камер.

Разработана методика исследования цветопередачи цифровых камер. Выполнены экспериментальные исследования на реальном объекте, а также анализ и оценка полученных результатов исследования.

### Описание предложенного метода

В основе предлагаемого метода лежит определение расхождений по цветности и цветовому различию эталонных значений цвета объекта и значений, измеренных цифровой камерой на специальной оптико-электронной установке. При этом выполнен анализ и оценка цветового различия между координатами цвета стандартизированных цветовых объектов и координат цвета, полученных на основе снимков цифровых камер, по рекомендациям CIE<sup>1</sup> и ГОСТ Р 52489-2005<sup>2</sup>, где приведены различия в геометрии измерений отраженного излучения, используемой для измерения цвета. На основе полученных значений цветового различия и различий цветности, т. е. цветового сдвига координаты цвета или цветности, а также его направления, можно оценить, насколько точно устройство регистрирует цветовые параметры, и насколько широким является его цветовой охват.

Система CIE 1931<sup>3</sup> является промежуточной практически во всех колориметрических расчетах. Выполняется преобразование координат цвета из системы sRGB в XYZ с помощью матрицы преобразования:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,4757 & 0,3406 & 0,1837 \\ 0,2453 & 0,6812 & 0,0735 \\ 0,0223 & 0,0103 & 0,9674 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Затем цветность  $x, y$  вычисляется по формулам [14]:

$$x = X/(X + Y + Z); \quad (2)$$

$$y = Y/(X + Y + Z). \quad (3)$$

Для нахождения различия по цветности и цветового различия выбраны равноконтрастные колориметрические системы  $u'v'$  1974 г. и CIELUV<sup>4</sup> ( $L^*u^*v^*$  1976 г.),

также возможен расчет в пространстве CIELAB<sup>5</sup> [14, 15].

Далее координаты цветности преобразуются в равноконтрастные системы  $u'v'$ :

$$u' = 4x/(-2x + 12y + 3), \quad (4)$$

$$v' = 9x/(-2x + 12y + 3). \quad (5)$$

Для расчета цветового различия также можно преобразовать цветовые координаты в систему CIELUV или CIELAB.

Различие по цветности вычисляется по формуле:

$$\Delta e = \sqrt{(\Delta u')^2 + (\Delta v')^2}. \quad (6)$$

Для наиболее точного анализа будем основываться на показателях цветности, так как именно этот параметр цвета остается постоянным (при одном источнике излучения) даже при изменениях условий съемки (интенсивности света, угла наблюдения, динамического диапазона матрицы). Показатели цвета будут служить вспомогательным параметром.

Для автоматического расчета основных показателей в приведенных системах создана программа в рабочей среде Python. Среда позволяет загрузить исследуемые изображения и выполнить их анализ, а именно: найти  $x, y, z$  и рассчитать координаты  $u', v'$  и  $L^*, u^*, v^*$ , определить различие по цветности и цветовое различие в равноконтрастных системах [16].

В качестве тест-объектов возможно применять стандартизированные объекты, такие как цвета из атласов Munsell<sup>6</sup>, Pantone<sup>7</sup>, RAL<sup>8</sup>. Однако подобные цветовые образцы достаточно дороги, поэтому для эксперимента выбраны стандартизированные стеклянные цветные светофильтры из набора цветных стекол по ГОСТ 9411-91<sup>9</sup>. Координаты цветности оптических стекол находятся на локусе цветности CIE 1931 (координаты цветности  $x, y$ ) вне пространства sRGB. Это позволяет наглядно продемонстрировать ограниченность цифровых систем относительно возможностей человеческого зрения и количественно указать на наиболее уязвимые цветовые области. Подобные исследования

<sup>1</sup> CIE по аббревиатуре французского наименования — фр. Commission internationale de l'éclairage (в русскоязычных источниках используется аббревиатура МКО (Международная комиссия по освещению)) — международный орган, ведущий разработку технических стандартов в области света, освещения, цвета и цветовых пространств.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 52489-2005. Материалы лакокрасочные. Колориметрия. Часть 1. Основные положения. Введен 01.01.2007. М.: Стандартинформ, 2006. 9 с.

<sup>3</sup> Цветовое пространство CIE 1931 является первым количественно определенным связями пространством между распределениями длин волн в электромагнитном видимом спектре и физиологически воспринимаемыми цветами человеком.

<sup>4</sup> CIELUV — цветовое пространство CIE 1976  $L^*u^*v^*$ , принятое CIE в 1976 году как простое в вычислении преобразование цветового пространства CIE XYZ 1931 г., но с попыткой достичь перцептивной однородности.

<sup>5</sup> CIELAB — цветовое пространство CIE  $L^*a^*b^*$  — цветовое пространство, определенное CIE в 1976 году, выражает цвет в виде трех значений:  $L^*$  для воспринимаемой яркости и  $a^*$  и  $b^*$  для четырех уникальных цветов человеческого зрения: красного, зеленого, синего и желтого.

<sup>6</sup> Колориметрическая система Munsell, разработанная профессором Альбертом Манселлом в начале XX века, где цвет описывается с помощью цветового тона, светлоты и насыщенности.

<sup>7</sup> Цветовая модель Pantone, система PMS (Pantone Matching System) — стандартизованная система подбора цвета, разработанная американской фирмой Pantone Inc в 1963 г. Используется цифровую идентификацию цветов изображения для полиграфии печати.

<sup>8</sup> RAL — немецкий цветовой стандарт, разработанный в 1927 году Государственным комитетом по условиям поставок (Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen) по просьбе производителей лакокрасочной продукции.

<sup>9</sup> ГОСТ 9411-91. Стекло оптическое цветное. Технические условия. Введен 01.01.1993. М.: Изд-во стандартов, 1992. 48 с.

оценивают возможности цветопередачи цифровых камер.

В качестве объекта исследования выбрана цифровая камера Canon EOS 60D, имеющая высокую производительность, и матрица CMOS (КМОП), применяемая в широком кругу визуализации. Для захвата изображения использован встроенный камерный процессор, который регистрирует изображение в форматах RAW, JPEG и RAW+JPEG, TIFF. Камера имеет цветовые пространства: sRGB, Adobe RGB. Высокое качество изображений обеспечивается широким диапазоном ISO<sup>1</sup>, что позволяет избежать большого количества шумов. Спектральные характеристики матричного фотоприемника фирмы Canon имеют достаточно сглаженные пики и широкое основание, каждый канал распространяется практически на 50 % всего воспринимаемого приемником спектра. Наиболее широкая и интенсивная — красная составляющая.

В качестве рабочего пространства выбрано sRGB (standard RGB), применяемое в цифровых устройствах, которое составляет неотъемлемую часть цифровых цветовых преобразований. Данное пространство принято в качестве стандартного цветового пространства для веб-и мультимедиаприложений. Регистрация изображений производится в формате TIFF.

Перед исследованиями в камере были отключены все возможные цифровые фильтры коррекции, сглаживания, обострения. Исследования проведены без коррекции по балансу белого и с коррекцией по лампе накаливания, когда происходит изменение цветов при освещении источником типа А в сторону голубых оттенков (холодных цветов). Таким образом, можно показать, насколько большим будет отклонение от реального цвета объекта.

### Описание экспериментальной установки

Предлагается способ измерения цветопередачи цифровых камер на основе оптико-электронной установки. Одной из важных частей установки является отражатель и его расположение. Величина спектрального апертурного коэффициента отражения зависит от метода определения, так как при изменении геометрии освещения и наблюдения его значение изменяется. CIE утвердила эталон измерения спектрального апертурного коэффициента отражения, который принят в процессе проведения спектрофотометрических измерений в колориметрии.

В соответствии с рекомендациями CIE для измерения колориметрической характеристики образцов принята схема освещения/наблюдения — 0/45. Таким образом, тест-объект освещается пучком, ось которого составляет с нормалью к образцу угол не более 10°. Образец наблюдается под углом  $45 \pm 5^\circ$  относительно нормали согласно ГОСТ Р 52489-2005. Угол между осью освещающего пучка и любым его лучом не дол-

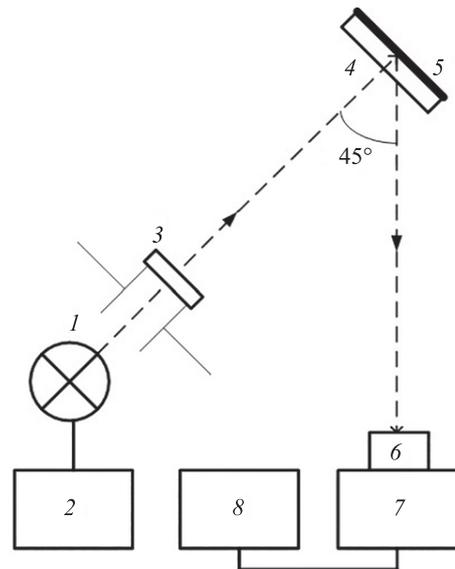


Рис. 1. Структурная схема установки: 1 — источник света типа А (цветовая температура 2856 К); 2 — стабилизированный источник питания; 3 — коллиimator (для равномерного освещения светофильтров); 4 — тест-объект (светофильтр); 5 — отражающий экран с покрытием из BaSO<sub>4</sub>; 6 — объектив (Canon EF 85mm f/1.4L IS USM); 7 — исследуемая цифровая камера; 8 — ноутбук

Fig. 1. Block diagram of the installation: 1 — a type A light source (color temperature 2856 K); 2 — a stabilized power supply; 3 — a collimator (for uniform illumination of light filters); 4 — a test object (light filter); 5 — a reflective screen coated with BaSO<sub>4</sub>; 6 — a lens (Canon EF 85mm f/1.4L IS USM); 7 — an investigated digital camera; 8 — a laptop

жен превышать 5°. Эти же ограничения накладываются и на параметры наблюдаемого пучка [17].

С учетом перечисленных параметров разработана установка (рис. 1). Объектив 6 должен иметь хорошие характеристики хроматических аберраций по оптической оси, что важно при исследовании центральной части снимка. В основном все многолинзовые объективы передают изображение без искажений в центральной части.

В оптико-электронной установке цифровая камера является исследуемым объектом. Снимки, получаемые с камеры в выбранном цветовом пространстве, обрабатываются с помощью программного обеспечения в координаты цветности в необходимой колориметрической системе.

Спектральный коэффициент отражения экрана из BaSO<sub>4</sub> около 90 % (рис. 2). С учетом того, что рабочий диапазон практически любой цифровой камеры лежит в пределах 400–700 нм, то негативное влияние коэффициента отражения минимально. При математическом моделировании это влияние отражается в десятичных долях.

Данная установка позволяет находить цветность различных образцов в пространстве любой колориметрической системы. При исследовании непрозрачных объектов вместо отражателя из BaSO<sub>4</sub> размещается сам образец. Тогда будет производиться регистрация цвета отраженного потока от самого образца.

<sup>1</sup> ISO — параметр, указывающий на уровень чувствительности к свету ее свето-улавливающего элемента (матрицы или пленки).

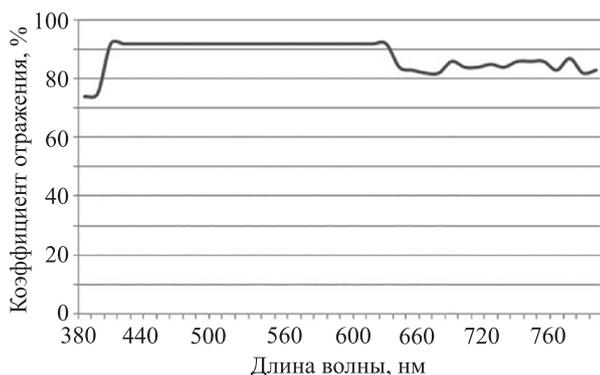


Рис. 2. Спектральный коэффициент отражения покрытия экрана

Fig. 2. Spectral reflectance of the screen coating

В качестве осветителя выбран источник типа А (цветовая температура 2856 К) из условий ГОСТ 10771-82<sup>1</sup> и ГОСТ Р 55703-2013<sup>2</sup>, а также координат цветности светофильтров каталога<sup>3</sup> цветных оптических стекол, которые приведены относительно источников типа А и В.

### Программное обеспечение

Для обработки изображений и получения изменения цветности тест-объектов при регистрации цифровой камерой разработана программа в среде Python.

Исходными данными программы являются: цифровое изображение стандартного светофильтра и его эталонные координаты цветности в системе  $xu$ .

Алгоритм обработки изображений включает следующие шаги.

Шаг 1. Загрузка файла снимка.

Шаг 2. Вывод изображения на экран для оценки оператором (рис. 3).

Шаг 3. Выбор центральной части изображения.

Шаг 4. Определение с помощью программы координаты цвета в системе sRGB пяти пикселей изображения. Повтор измерений — пять раз.

Шаг 5. Усреднение значений найденных координат цвета.

Шаг 6. Преобразование полученных координат цвета в международную колориметрическую систему XYZ по выражению (1) через коэффициенты пересчета.

Шаг 7. Расчет значений координат цветности в системах  $xu$  и  $u'v'$  1974 г. по формулам (2)–(5) с помощью программы.

Шаг 8. Поиск цветового различия по формуле (6).

Шаг 9. Вывод на экран значений координат цвета, цветности и цветового различия.

<sup>1</sup> ГОСТ 10771-82. Лампы накаливания светоизмерительные рабочие. Технические условия. Введен 01.01.1983. М.: Изд-во стандартов, 1988. 21 с.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 55703-2013. Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик. Введен 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2015. 52 с.

<sup>3</sup> Цветное оптическое стекло и особые стекла. Каталог / Под ред. проф. Г.Т. Петровского. М.: Дом оптики, 1990. 228 с.

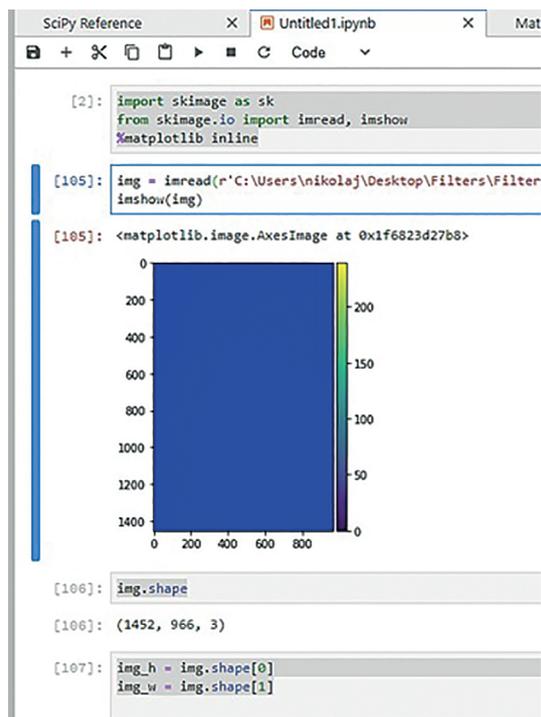


Рис. 3. Пример вывода изображения в программе

Fig. 3. An example of image output in the program

Результат работы программы — измеренные координаты цветности светофильтров (тест-объектов) в системах  $xu$  1931 г. и  $u'v'$  1974 г., а также изменение цветности  $\Delta e$  в системе  $u'v'$  1974 г. относительно эталонных значений светофильтров.

### Экспериментальное исследование метода

Выполнено исследование цветопередачи цифровой камеры Canon EOS 60D.

Получены цветовые координаты изображений 58 светофильтров в рамках цветовой модели sRGB, проведен пересчет координат цветности в  $x, y$  и сравнение с координатами, приведенными в каталоге цветного оптического стекла.

Как видно из табл. 1, цветопередача цифровой камеры Canon EOS 60D во многих областях видимых цветов имеет значительные искажения.

Дополнительно рассчитаны разности между цветностью в эталонной и экспериментальной системе  $xu$  (табл. 1, рис. 4). Средняя арифметическая вариация цветности в системе  $xu$  составила: без настройки баланса белого для  $x$  компоненты —  $\Delta x = 0,056$ , для  $y$  компоненты —  $\Delta y = 0,032$ ; с настройкой баланса белого для  $x$  компоненты —  $\Delta x = 0,086$ , для  $y$  компоненты —  $\Delta y = 0,062$ . Следует смотреть на передачу желтых светофильтров, так как именно в этой области расположен источник света типа А: без настройки баланса белого  $\Delta x = 0,005$ ,  $\Delta y = 0,005$ ; с настройкой баланса белого  $\Delta x = 0,1$ ,  $\Delta y = 0,051$ . Согласно ГОСТ 7721-89<sup>4</sup> п. 2.1

<sup>4</sup> ГОСТ 7721-89. Источники света для измерений цвета. Типы. Технические требования. Маркировка. Введен 01.07.1990. М.: Изд-во стандартов, 1989. 20 с.

Таблица 1. Результаты изменения координат цветности в системе  $xy$  для камеры Canon EOS 60D относительно источника типа А

Table 1. The results of changing the chromaticity coordinates in the  $xy$  system for the Canon EOS 60D camera with regard to the type A source

Количество светофильтров в группе	Группы цветов светофильтров	Без настройки баланса белого		С настройкой баланса белого	
		$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$
8	Синие	0,051	0,070	0,040	0,052
15	Сине-зеленые	0,037	0,010	0,064	0,079
6	Зеленые	0,068	0,029	0,045	0,114
17	Желтые	0,005	0,005	0,100	0,051
6	Оранжевые	0,038	0,027	0,091	0,027
6	Красные	0,140	0,054	0,177	0,051
Средняя арифметическая вариация цветности в системе $xy$					
58 светофильтров		0,056	0,032	0,086	0,062

«источник света для измерений может иметь различие по цветности в пределах  $\pm 0,02$ ». Без настройки баланса белого получен результат, соответствующий ГОСТ.

Во всех цветах, кроме желтого, наблюдается отклонение  $\Delta x$  и  $\Delta y$  более 0,03, что свидетельствует о некорректной цветопередаче камеры в этих областях. Необходимо принять во внимание, что красный и оранжевый цвета не столь важны для человеческого восприятия, по сравнению с желтым и зеленым цветами, которые наиболее значимы при оценке качества регистрации цвета цифровым устройством. Корректное воспроизведение желтых цветов указывает на то, что производители особое внимание уделили корректному воспроизведению области в пределах 555 нм, где чувствительность человеческого глаза наибольшая.

При расчете цветового различия в равноконтрастной колориметрической системе  $u'v'$  1974 г. (табл. 2) получены средние значения настроек: без баланса белого – 0,072 и с балансом белого – 0,09.

В системах  $u'v'$  1974 г. и  $uv$  1960 г. точность цветопередачи может быть достигнута, если исследуемое и стандартное излучения различаются по цветности не более чем на 0,0054. Если придерживаться данного значения, то получим, что у камеры показатель цвет-

ности превышен в 13 (без баланса белого) и в 17 раз (с балансом белого).

При настройке баланса белого на лампу накаливания, цветовое различие превышено в 17 раз, несмотря на удовлетворительные значения, полученные для зеленых и синих цветов. Это связано с тем, что при включении баланса белого, программой компенсируется избыток желтого цвета (освещение источником типа А) пересчетом цветов в синюю область спектра. Таким образом, происходит дополнительная коррекция зеленых и синих цветов.

#### Анализ результатов эксперимента

В результате эксперимента получено, что цифровая камера передает красные цвета, в 36 раз превышающие цветовой порог 0,0054. Удовлетворительные значения получены только для сине-зеленых, зеленых, желтых и оранжевых цветов без настройки баланса белого. Регистрация изображений производится со значительными искажениями в области синих и красных цветов. Исследуемую камеру можно применять в целях тестирования источников света без использования каких-либо настроек. Для оценки насыщенных цветов камера не подходит.

Таблица 2. Результаты расчета цветового различия по цветовым группам в системе  $u'v'$  1974 г. для камеры Canon EOS 60D относительно источника типа А

Table 2. The results of calculating the color difference by color groups in the  $u'v'$  1974 system for the Canon EOS 60D camera with regard to the type A source

Настройки	Изменение цветности	Группы цветов светофильтров						Средняя арифметическая вариация изменения цветности
		Синие	Сине-зеленые	Зеленые	Желтые	Оранжевые	Красные	
Без баланса белого	$\Delta e$	0,126	0,022	0,039	0,004	0,045	0,195	0,072
	Относительно порога 0,0054	23	4	7	1	8	36	13
С балансом белого	$\Delta e$	0,086	0,054	0,046	0,056	0,082	0,218	0,09
	Относительно порога 0,0054	16	10	9	10	15	40	17

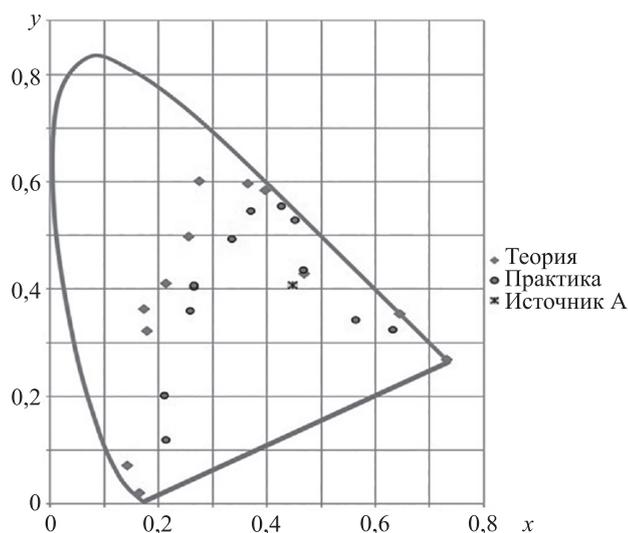


Рис. 4. Система  $xy$  с координатами цветности 12 светофильтров из каталога цветного оптического стекла и их значения, полученные на практике камерой Canon EOS 60D

Fig. 4. The  $xy$  system with the chromaticity coordinates for 12 light filters from the catalog of colored optical glass and their values obtained with the Canon EOS 60D camera

При визуальном анализе искажения координат цветности выбрано 12 светофильтров максимально приближенных к цветовому допуску: ФС6, СС5, СЗС20, СЗС9, СЗС22, ЗС3, ЗС10, ЗС11, ЖЗС1, ЖС19, ОС14, КС15. На рис. 4 в системе  $xy$  представлены как практические, так и теоретические координаты цветности выбранных светофильтров относительно источника типа А.

Следует обратить внимание на направление сдвигов координат цветности, которые проходят по траектории к источнику света типа А, что указывает на коррекцию произведенных преобразований.

По результатам эксперимента практические значения координат цветности имеют большие сдвиги относительно теоретических, кроме области синих оттенков, из-за выставленной настройки баланса белого. Происходит пересчет координат цвета ближе к области синих оттенков. Можно сделать вывод, что применение

рабочих настроек влияет на объективность результатов и не может применяться при использовании камеры в научных исследованиях.

### Заключение

Предложен метод исследования цветопередачи цифровых камер, основанный на сопоставлении координат цветности эталонных значений и измеренных координат цветности стандартных светофильтров на оптико-электронной установке.

В сравнении с другими методами приведенная методика является объективной и опирается на стандарты CIE и эталонные тест-объекты. Методика применения цветowych профилей — субъективна и опирается на визуальные предпочтения пользователей.

При анализе цветопередачи предложенной камеры не следует забывать об ограниченности самой цветовой системы sRGB. В дальнейшем планируется провести эксперимент в формате RAW и работать с каждым каналом основного цвета отдельно. Для этого необходимо будет преобразовать программу анализа снимков. Также планируется провести эксперимент по приведенной методике на разработанной оптико-электронной установке с цветовыми наборами из атласа RAL, что позволит провести анализ точности регистрации не только цветов, но и 213 оттенков. Будут применены такие источники как D55 (принят как стандартный в фотографии), D65 (наиболее универсальный). Разработанная методика может быть применена при исследовании метамеризма и сравнении цветов двух образцов на одном снимке.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их применения при анализе и выборе оптимальных регистрирующих цифровых устройств для проведения колориметрических экспериментальных исследований в таких областях как медицина, химия, пищевая промышленность, где по цветности определяют концентрацию определенных веществ. Также применение важно в биологии при определении генетических отклонений растений, в аэрофотосъемке и картографии, в светотехнике и измерительной промышленности.

### Литература

1. Домасев М.В., Гнатюк С.П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. СПб.: Питер, 2009. 224 с.
2. Попов С.А. Статистический метод калибровки цифровых фотокамер для улучшения цветовоспроизведения // Автотриметрия. 2003. Т. 39. № 2. С. 92–99.
3. Сухих М.Ю. Калибровка цифровой фотокамеры в ADOBE CAMERA RAW и полуавтоматический процесс определения ее цветового охвата // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. 2012. № 1. С. 177–183.
4. Kurečić M.S., Agić D., Mandić L. Developing a custom colour target for artwork imaging // Imaging Science Journal. 2011. V. 59. N 6. P. 317–331. doi: 10.1179/136821910X12867873897319
5. Xin H.J., Liu Y. Influence analysis of color input target to the scanner color characteristic // Applied Mechanics and Materials. 2013. V. 262. P. 123–126. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.262.123
6. Palacios-Ortega N., Velásquez Prieto D. Evaluation between methods for the color measurement in holograms by using a CMOS-RGB

### References

1. Domasev M.V., Gnatiuk S.P. *Color, Color Management, Color Calculations and Measurements*. St. Petersburg, Piter Publ., 2009, 224 p. (in Russian)
2. Popov S.A. Statistical method for calibrating digital photocopiers to improve color reproduction. *Avtometriya*, 2003, vol. 39, no. 2, pp. 92–99. (in Russian)
3. Sukhikh M.Iu. Digital camera calibration with Adobe Camera Raw and semi-automatic color coverage. *Magazine Vestnik MGUP by Ivan Fedorov*, 2012, no. 1, pp. 177–183. (in Russian)
4. Kurečić M.S., Agić D., Mandić L. Developing a custom colour target for artwork imaging. *Imaging Science Journal*, 2011, vol. 59, no. 6, pp. 317–331. doi: 10.1179/136821910X12867873897319
5. Xin H.J., Liu Y. Influence analysis of color input target to the scanner color characteristic. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 262, pp. 123–126. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.262.123
6. Palacios-Ortega N., Velásquez Prieto D. Evaluation between methods for the color measurement in holograms by using a CMOS-RGB

- camera and a spectrometer // *Proceedings of SPIE*. 2013. V. 8785. P. 878568. doi: 10.1117/12.2027569
7. Tschumperlé D., Porquet C., Mahboubi A. 3D Color CLUT compression by multi-scale anisotropic diffusion // *Lecture Notes in Computer Science*. 2019. V. 11679. P. 3–14. doi: 10.1007/978-3-030-29891-3\_1
  8. Андрийчук В.А., Осадца Я.М. Применение фотокамер с матричными оптическими преобразователями в фотометрии // *Оптический журнал*. 2012. Т. 79. № 2. С. 40–44.
  9. Лакота Л.В., Машковцева Н.В., Шигабутдинова Г.И., Мухамедзянова Г.З. Использование фотокамер сотового телефона в условиях клинической диагностической лаборатории // *Казанский медицинский журнал*. 2009. Т. 90. № 2. С. 131–134.
  10. Konnik M.V., Manykin E.A., Starikov S.N. Extension of the possibilities of a commercial digital camera in detecting spatial intensity distribution of laser radiation // *Quantum Electronics*. 2010. V. 40. N 4. P. 314–320. doi: 10.1070/QE2010v040n04ABEH014202
  11. Mousavi S.M.H., Lyashenko V., Prasath V.B.S. Analysis of a robust edge detection system in different color spaces using color and depth images // *Computer Optics*. 2019. V. 43. N 4. P. 632–646. doi: 10.18287/2412-6179-2019-43-4-632-646
  12. Liang J.X., Wan X., Liu Q., Li C., Li J. Research on filter selection method for broadband spectral imaging system based on ancient murals // *Color Research and Application*. 2016. V. 41. N 6. P. 585–595. doi: 10.1002/col.22004
  13. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Мир, 1978. 592 с.
  14. Кривошеев М.И., Кустарев А.К. Цветовые измерения. М.: Энергоатомиздат, 1990. 240 с.
  15. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники. Часть 2: учебное пособие для вузов. М.: Госэнергоатомиздат, 1961. 416 с.
  16. Zhanova V.L. The use of mathematical packages when researching colorimetry // *Proc. 4<sup>th</sup> International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)*. 2018. P. 8581794. doi: 10.1109/INFORINO.2018.8581794
  17. Zhanova V.L., Parvuyusov Y.B. Experimental investigation of the color-separation system of a photodetector array // *Journal of Optical Technology*. 2019. V. 86. N 3. P. 177–182. doi: 10.1364/JOT.86.000177
- camera and a spectrometer. *Proceedings of SPIE*, 2013, vol. 8785, pp. 878568. doi: 10.1117/12.2027569
7. Tschumperlé D., Porquet C., Mahboubi A. 3D Color CLUT compression by multi-scale anisotropic diffusion. *Lecture Notes in Computer Science*, 2019, vol. 11679, pp. 3–14. doi: 10.1007/978-3-030-29891-3\_1
  8. Andriyчук V.A., Osadtsa Ya.M. Using cameras with optical converter arrays in photometry. *Journal of Optical Technology*, 2012, vol. 79, no. 2, pp. 88–91. doi: 10.1364/JOT.79.000088
  9. Lakota L.V., Mashkovtseva N.V., Shigabuddinova G.I., Muhamedzyanova G.Z. The usage of cell phone camera technologies in a clinical diagnostic laboratory. *Kazan Medical Journal*, 2009, vol. 90, no. 2, pp. 131–134. (in Russian)
  10. Konnik M.V., Manykin E.A., Starikov S.N. Extension of the possibilities of a commercial digital camera in detecting spatial intensity distribution of laser radiation. *Quantum Electronics*, 2010, vol. 40, no. 4, pp. 314–320. doi: 10.1070/QE2010v040n04ABEH014202
  11. Mousavi S.M.H., Lyashenko V., Prasath V.B.S. Analysis of a robust edge detection system in different color spaces using color and depth images. *Computer Optics*, 2019, vol. 43, no. 4, pp. 632–646. doi: 10.18287/2412-6179-2019-43-4-632-646
  12. Liang J.X., Wan X., Liu Q., Li C., Li J. Research on filter selection method for broadband spectral imaging system based on ancient murals. *Color Research and Application*, 2016, vol. 41, no. 6, pp. 585–595. doi: 10.1002/col.22004
  13. Judd D.B., Wyszecki G. *Color in Business, Science and Industry*. John Wiley & Sons, 1975, 553 p.
  14. Krivosheev M.I., Kustarev A.K. *Color Measurements*. Moscow, Jenergoatomizdat Publ., 1990, 240 p. (in Russian)
  15. Meshkov V.V., Matveev A.B. *Foundations of Illumination Engineering*. Part 2. Tutorial. Moscow, Gosjenergoatomizdat Publ., 1961, 416 p. (in Russian)
  16. Zhanova V.L. The use of mathematical packages when researching colorimetry. *Proc. 4<sup>th</sup> International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)*, 2018, pp. 8581794. doi: 10.1109/INFORINO.2018.8581794
  17. Zhanova V.L., Parvuyusov Y.B. Experimental investigation of the color-separation system of a photodetector array. *Journal of Optical Technology*, 2019, vol. 86, no. 3, pp. 177–182. doi: 10.1364/JOT.86.000177

#### Авторы

**Жбанова Вера Леонидовна** — кандидат технических наук, доцент, доцент, Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Смоленск, 214013, Российская Федерация, [57190029669](mailto:57190029669), <https://orcid.org/0000-0001-7597-0675>, Vera-zhanova@yandex.ru

**Жбанов Игорь Леонидович** — кандидат технических наук, преподаватель, Военная академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Васильевского, Смоленск, 214013, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0001-7321-6214>, Gens84@yandex.ru

#### Authors

**Vera L. Zhanova** — PhD, Associate Professor, Associate Professor, Branch of National Research University “Moscow Power Engineering Institute” in Smolensk, Smolensk, 214013, Russian Federation, [57190029669](mailto:57190029669), <https://orcid.org/0000-0001-7597-0675>, Vera-zhanova@yandex.ru

**Igor L. Zhanov** — PhD, Lecturer, Russian Federation Armed Forces Army Air Defense Military Academy named after Marshal of the Soviet Union A. M. Vasilevsky, Smolensk, 214013, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7321-6214>, Gens84@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 03.03.2021  
Одобрена после рецензирования 05.04.2021  
Принята к печати 23.05.2021

Received 03.03.2021  
Approved after reviewing 05.04.2021  
Accepted 23.05.2021



Работа доступна по лицензии  
Creative Commons  
«Attribution-NonCommercial»