

УДК 535.6

Е.Н. Савкова

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

## КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ И ИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*Выполнен краткий обзор современных подходов к определению цвета, обобщен опыт использования колориметрических шкал встроенных систем и рассмотрены источники их неопределенностей.*

**Ключевые слова:** колориметрические шкалы, регистрация, измерение цвета, неопределенность.

### Введение

Так как доказано, что колориметрические характеристики первичных и вторичных излучателей оказывают влияние на психофизиологические функции человека [1], актуальной проблемой является повышение эффективности контроля цветовых свойств объектов в строительстве, медицине, химической, пищевой, электронной, полиграфической, промышленности и других областях, что отражено в отчете Консультативного комитета МБМВ по фотометрии и радиометрии [2].

В некоторых работах определение цвета относят лишь к качественной оценке, а цветовые шкалы – к шкалам наименований, неопределенность которых оценивается размахом [3]. Однако развитие современных регистрирующих систем с высоким разрешением, позволяющих определять количественные характеристики объектов на основе обработки их изображений, обуславливает необходимость применения более строгих оценок. При этом особое внимание следует уделять методической составляющей неопределенности – математическим моделям (цветовым пространствам), встроенным в системы управления цветом. Каждое пространство характеризуется набором шкал, дающих математическую и геометрическую интерпретацию цвета. Многообразии видов фотоприемных устройств, их специфические особенности – ограниченность динамического диапазона и нормирование яркости изображения, а также различия применяемых в них цветовых пространств, устанавливают новые измерительные задачи, связанные с обеспечением надежности и достоверности результатов измерений.

**Целью данной работы** является краткий обзор и анализ современных подходов к определению цвета с применением встроенных систем, обобщение опыта в части использования колориметрических шкал и разработка рекомендаций по оценке их неопределенностей.

### Изложение основного материала

**Сущность цвета.** В основу описания цвета положены четыре закона Х.Грассмана, в соответствии с

которыми цвет можно рассматривать как смесь из определенных количеств любых трех независимых цветов или смесь белого цвета и какого-либо монохроматического излучения [4]. Цвет относят к фото-биологическим величинам, так как он оценивается воздействием светового потока на орган зрения наблюдателя. В настоящее время действуют следующие определения. В соответствии с ГОСТ 13088 «цвет есть аффинная векторная величина трех измерений, выражающая свойство, общее всем спектральным составам излучения, визуально неразличимым в колориметрических условиях наблюдения» [5]. Согласно ISO 7724 «цвет однозначно характеризуется для определенного наблюдателя и определенного источника света координатами точки в пространстве, образуемом тремя взаимно перпендикулярными векторами» [6].

Воспроизведение яркостных и цветовых характеристик объектов зрительным анализатором – сложный химико-биологический процесс, имеющий ряд особенностей, связанных, например, с неодинаковым восприятием рецепторами глаза светового излучения различного спектрального состава. Данные особенности учитываются в стандартизованных теоретических моделях Международной комиссии по освещению (МКО) в виде функций сложения для стандартных наблюдателей, локусов цветовых пространств RGB и XYZ, нелинейности Lab и Luv, эллипсов Мак Адама и т.д. Так как конечным потребляющим звеном освещения является человек, формирование цветовых сигналов в технических системах должно осуществляться с учетом особенностей его зрительного анализатора.

**Генерирование информации о цвете в технических системах** производится посредством оптико-электронных преобразований в канале «объект – входное фотоприемное устройство (цифровая камера, сканер) – устройство обработки информации – устройство отображения». Работа матричных фотоприемников основана на явлении внутреннего фотоэффекта, происходящего в каждом пикселе ПЗС-матрицы: при поглощении фотона в подложке генерируются носители заряда пропорционально количеству попавшего в него света. Матричные фотоприем-

ники, в отличие от зрительного анализатора, имеют линейную свет-сигнальную характеристику, и для получения реалистичного изображения объекта производители используют встроенные алгоритмы. Кроме того, ПЗС-матрица фотоприемника «не видит» цветовой составляющей света, «воспринимая» лишь его интенсивность. Данная проблема решается производителями различными способами: 1) путем нанесения на поверхность ПЗС-сенсора чередующихся цветных светофильтров в виде «решетки Бауэра» GRGB либо послойно (технологии фирмы Foveon); 2) использованием трех матриц R, G, B и последующего интерполирования; 3) применением трехкадровой RGB-технологии и т.д. Поэтому изображения, воспроизводимые различными устройствами, отличаются по своим характеристикам.

Чтобы помочь пользователям согласовать видимые результаты оценки изображений, получаемых в виде отпечатков на разных устройствах или просматриваемых в разных программах, *International Color Consortium* (ICC) разработана технология управления цветом. Измерение цвета посредством данной технологии основано на использовании стандартизованных многозначных мер – встроенных в программное обеспечение цветовых палитр, каждый элемент которых имеет фиксированные координаты цвета  $R_0, G_0, B_0$ . Цвет искомого  $i$ -го элемента изображения определяют методом подбора на основе сравнения его цветовых координат  $R_i, G_i, B_i$  с координатами элементов палитры по критерию минимальной дисперсии:

$$D_i = k_R(R_i - R_0)^2 + k_G(G_i - G_0)^2 + k_B(B_i - B_0)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $k_R, k_G, k_B$  – коэффициенты чувствительности человеческого глаза к красной, зеленой и синей компонентам спектра.

Полученная оценка  $D_i$  – результат свертки множества влияющих факторов, прослеживаемость которых обеспечивается реперными точками колориметрических шкал. Так как во всех случаях цветное изображение получают комбинированием красной R, зеленой G и синей B составляющих, его можно представить в виде многопараметрической модели – совокупности имеющих строгую геометрическую привязку квантованных отсчетов яркости по красному, зеленому и синему каналам. Математическая обработка производится для каждого пикселя (или группы пикселей) и в большинстве случаев сводится к преобразованиям пространств

$$RGB \rightarrow sRGB \rightarrow XYZ \rightarrow Lab \quad [7].$$

**Опорные точки колориметрических шкал.** Регистрирующее устройство осуществляет квантование и нормирование яркости изображения, присваивая наиболее

яркому пикселю максимальное значение интенсивности в определенном цветовом канале, поэтому необходимо решить задачу установления на колориметрических шкалах опорных точек, воспроизводимых специальными эталонами. Так, например, для первичных излучателей (самосветящихся объектов) стандартом ISO 7944 рекомендованы эталонные значения длин волн, используемые для описания оптических материалов и систем, в ISO 11664 и ГОСТ 7721 описаны стандартные источники света и их параметры. В поверочных схемах в соответствии с ГОСТ 8.205 в качестве мер применяют излучатели в диапазонах измерений  $x = 0,0039 \div 0,7347$  и  $y = 0,0048 \div 0,8338$  при яркости от 10 до 1000 кд/м<sup>2</sup>. Для вторичных излучателей (несамосветящихся объектов) используют карты эталонных цветов GretagMacBeth Color Checker MCO 01-08, 13, 14 или ПТ8.7/2, а также наборы мер (отражающих и прозрачных образцов) в диапазонах измерений:  $X = 2,5 \div 109,0$ ;  $Y = 1,4 \div 98,0$ ;  $Z = 1,7 \div 107,0$ . Для стандартизации условий измерений в ISO 15469 определено понятие стандартного неба CIE. Значения «эталонных» цветовых координат служат опорными точками многомерных колориметрических шкал встроенных систем, и для получения более или менее достоверной картины распределений свойств на исследуемом объекте необходимо учитывать взаимосвязи данных точек в векторном цветовом пространстве.

**Источники неопределенности** измерений цвета с применением систем высокого разрешения – все элементы измерительного канала, схематически представленного на рис. 1, и влияющие внешние факторы.

Особенностью колориметрии высокого разрешения является отображение регистрируемой трехмерной сцены в двумерном пространстве с возможностью разложения на три цветовых канала. Для получения достоверной информации о свойствах объектов необходимо учитывать спектральные характеристики их коэффициентов поглощения, пропускания и отражения, а также вводить поправки на блеск и падающие тени. Так как любые поправки и поправочные множители увеличивают рассеяние значений измеряемой величины, а, следовательно, и ее неопреде-

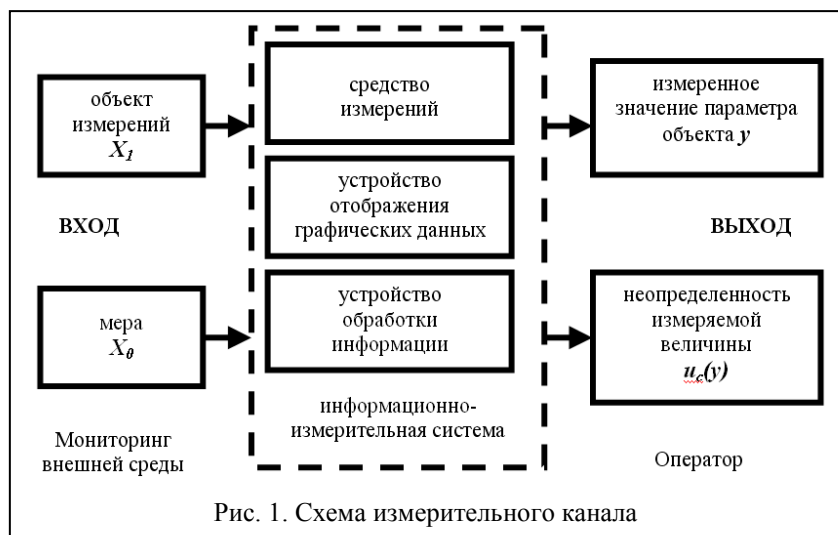


Рис. 1. Схема измерительного канала

ленность, измерения цвета с помощью систем высокого разрешения пока характеризуются относительно большими суммарными неопределенностями (около 20 – 30% с учетом эффекта метамеризма), источники которых показаны на рис. 2. Однако анализ послед-

них опубликованных работ свидетельствует о стремительном развитии колориметрии высокого разрешения с применением встроенных систем, обеспечивающих точность примерно 10% при тщательном планировании эксперимента [8].

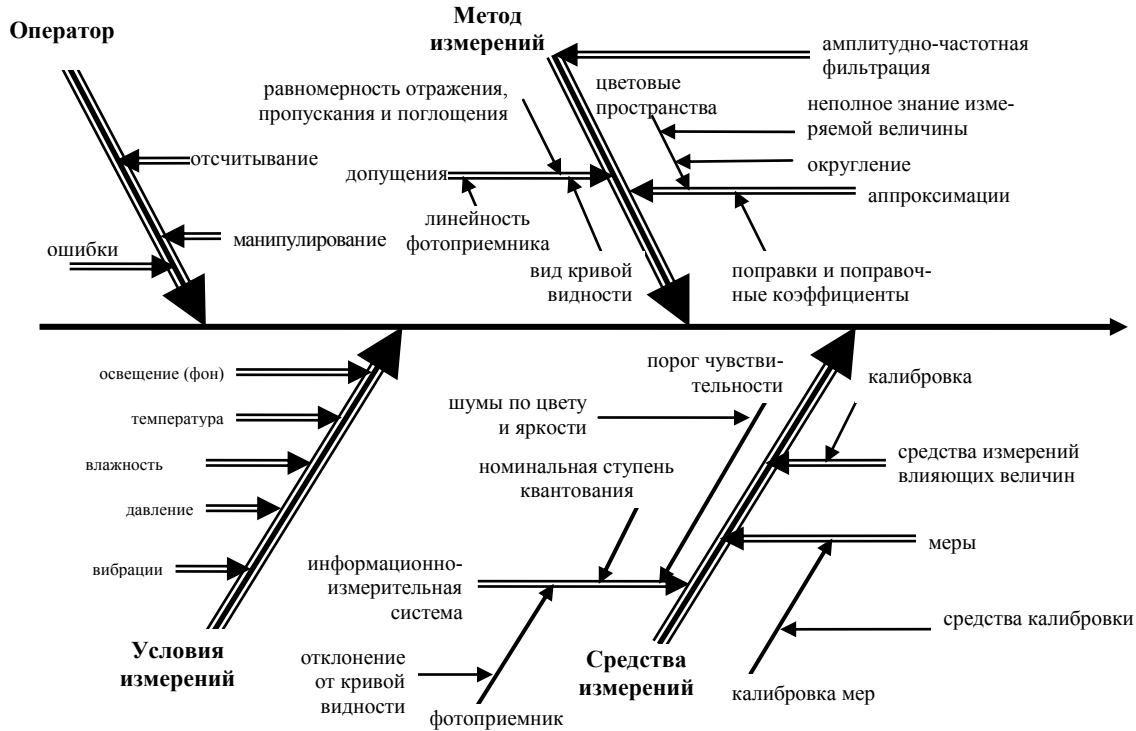


Рис. 2. Составляющие неопределенности измерения цветовых характеристик объектов

## Выводы

Методы колориметрии высокого разрешения основаны на обработке цифровых изображений с применением колориметрических шкал встроенных систем управления цветом. Процедура измерения характеризуется сравнительно большими значениями неопределенности, что объясняется обилием принятых допущений, поправок и аппроксимаций. Неопределенность может быть уменьшена путем установления на шкалах опорных точек, обеспечивающих прослеживаемость результатов.

## Список литературы

1. Бойс П. Свет и здоровье / П. Бойс // Школа архитектуры Политехнического института г. Нью-Йорка, США. – М.: Светотехника, 2006. – № 2. – С. 43-47.
2. Документы 23-й Генеральной конференции мер и весов. – Минск, БГИМ, 2003. – С. 93.
3. Дойников А.С. Презентация РМГ 83-2007 «ГСИ».

Шкалы измерений. Термины и определения / А.С. Дойников // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУПС, 2008. – Вып. 4 (71). – С. 6-9.

4. Новаковский С.В. Цвет на экране телевизора. Основы телевизионной колориметрии / С.В. Новаковский. – М.: Радио и связь, 1997. – 168 с.

5. ГОСТ 13088-67. Колориметрия. Термины, буквенные обозначения. – М.: Издательство стандартов, 1967. – 12 с.

6. ISO 7724-1-2008. Краски и лаки. Колориметрия. Часть 1. Основные положения.

7. Цифровое преобразование изображений: учебн. пособие для вузов / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Манцетов; под ред. проф. Р.Е. Быкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 228 с.

8. Растелло М.Л. Колориметрия поверхностей активными видеосистемами / М.Л. Растелло // Светотехника. – М., 2008. – № 5. – С. 20-22.

Поступила в редколлегию 6.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## КОЛОРИМЕТРИЧНІ ШКАЛИ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Є.М. Савкова

Виконаний короткий огляд сучасних підходів до визначення кольору, узагальнений досвід використання колориметричних шкал вбудованих систем і розглянуті джерела їх невизначеностей.

**Ключові слова:** колориметричні шкали, реєстрація, вимір кольору, невизначеність.

## COMPUTER SYSTEMS COLORIMETRIC SCALES AND THEIR UNCERTAINTIES

E.N. Savkova

The analyses of modern colour determination methods is carry out, using experience of computer systems colorimetric scales is in common and their uncertainty sources are examine.

**Keywords:** colorimetric scales, registration, colour measurement, uncertainty.