

Определение цветовых различий между двумя цветами

Л.Д. Ложкин, А.А. Солдатов, А.А. Вороной

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

В данной статье рассматриваются вопросы расчетов цветовых различий двух заданных цветов в существующих колориметрических системах МКО, а также полученных цветовых различий с помощью специальных формул JPC-79, разработанной формулы Комитетом по колориметрии Королевского общества красильщиков и колористов на основе JPC-79, а также и формулой цветового различия, рекомендованная в 1994 г. МКО. В свое время автором была предложена строго равноконтрастная цветовая система, но в этой системе предполагается достаточно сложный математический аппарат, основанный на тензорном исчислении. Поэтому в этой статье предлагается простая методика расчета цветовых различий, использующая достаточно простой математический аппарат. В статье приведены результаты расчетов цветовых различий между конкретными двумя цветами. Для чего, в процессе подготовки статьи была специально написана компьютерная программа, позволяющая проводить эти расчеты.

Ключевые слова: цветовые системы, эллипсы Мак Адама, цветовая шкала, геометрия Римана, строго равноконтрастное цветовое пространство.

Введение

Напомним высказывание Д. Джадда и Г. Вышецки «Воспринимаемая равноконтрастная трехмерная цветовая шкала, явилась бы не только большим научным достижением, но и оказалась бы полезной с любой точки зрения. Ее применение упростило бы определение цвета и установление цветовых допусков, внесло бы ясность в вопрос интерпретации одномерных цветовых шкал для идентификации несколько отличающихся цветов, служило бы руководством при изготовлении стандартных образцов цвета и оказало бы помощь в выборе гармоничных цветовых сочетаний. К сожалению, попытки создать такую шкалу до сих пор не привели к успеху. Скорее наоборот, они подтвердили предположение, что такую строго равноконтрастную трехмерную шкалу вообще невозможно создать. Однако эти попытки, по крайней мере, указывают на то, что возможны достаточно хорошие аппроксимации идеального равноконтрастного цветового пространства [1].

Автором настоящей статьи в свое время удалось разработать строго равноконтрастную цветовую систему координат. Разработка этой системы была произведена с использованием уравнения состояния гравитационного поля, известного как уравнение А. Эйнштейна. Графическое представление, полученного строго равно-

контрастного цветового пространства, использует геометрию Римана и систему подвижных координат [2–5] и в ряде других публикациях. В этих работах приведены теоретическое обоснование и предпосылки создания строго равноконтрастного цветового пространства, в некоторых из них намечен путь расчета цветовых различий между двумя цветами, выраженных в порогах Мак Адама.

Данная работа посвящена разработке простого метода, с реализацией в виде простых формул расчета цветовых различий между двух цветов.

1. Пороги цветоразличения

В 1943 г. Мак Адам опубликовал результаты проведенных экспериментов по определению порогов цветоразличения [6]. Впоследствии эти результаты были приняты называть эллипсами Мак Адама, так как пороги цветоразличения глаза человека выглядели на цветовых диаграммах в виде эллипсов. Для дальнейших рассуждений приведем результаты экспериментов Мак Адама на рис. 1.

Как видно, из рис. 1, величина порога цветоразличения между двумя цветами (цветностями) зависит от положения этих цветов на цветовом локусе. Тогда подобные измерения и вычисления цветовых различий в координатах колориметрических системах будут аналогичны измерениям,

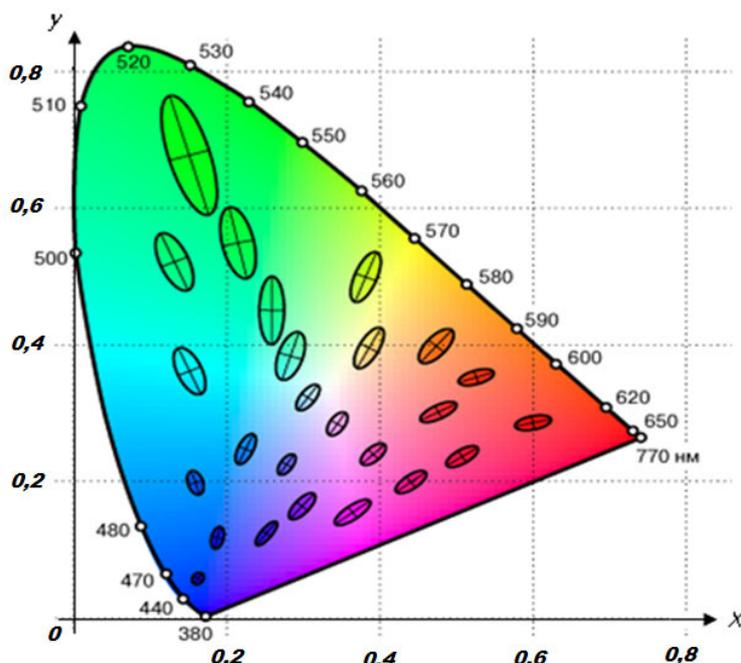


Рис. 1. Эллипсы Мак Адама (для наглядности размеры эллипсов увеличены в 10 раз), в системе координат МКО 1931 г. (x, y, z)

проведенных «резиновым метром», т. е. результаты измерений будут различны в зависимости от конкретных цветов объектов. Это обстоятельство значительно влияет на качество и точность измерения цветовых различий между цветами. В связи с этим искались другие цветовые системы МКО, такие как МКО 1960 (u, v, w), МКО 1976 (L, a, b) или просто Lab , МКО 1976 (L^*, u^*, v^*) и ряд других. Эти системы называются равноконтрастные, но к большому сожалению, в этих колориметрических системах не удалось избавиться от эллипсов (т. е. эллипсы не превратились в окружности равного диаметра), хотя размеры и их различие от цветности в некоторой степени уменьшились. Таким образом, эти колориметрические системы я бы назвал квазиравноконтрастные.

Разработка строго равноконтрастных колориметрических систем продолжается, например авторы [7] разработали колориметрическую систему на базе МКО 1931 г. (x, y, z), в которой эллипсы Мак Адама трансформируются в равновеликие окружности. Это решение (преобразование) было сделано на базе метрического тензора и оно не очень простое, к тому же данное преобразование предусматривает двух мерную колориметрическую модель для цветностей (МКО 1931 г. (x, y, z)).

Разработка трехмерного строго равноконтрастного цветового пространства для любой известной колориметрической системы МКО описано в [2–5]. Но эта разработка была осу-

ществлена в пространстве Шварцшильда [8] с применением тензорного исчисления, геометрии Римана с подвижной системой координат, т. е. достаточно сложного преобразования.

Необходимо сделать еще одно замечание. Любой эллипс Мак Адама, с точки зрения глаза человека представляет собой точку, так как для глаза цветность внутри эллипса не различима, т. е. глаз видит одинаково одну и ту же цветность любой точки, расположенной внутри кривой, описывающей эллипс.

2. Формулы цветовых различий

Выше было показано, что существующие цветовые пространства не обладают однозначностью измерений цветовых различий, т. е. величина пороговых изменений цветностей в них зависит от области на цветовом пространстве (от значения сравниваемых цветов), поэтому для цветовых различий ни одно из имеющихся цветовых пространств не отвечает на 100 % поставленной задаче. Но, тем не менее, формула цветового различия МКО Lab стала одной из двух первых формул, рекомендованных МКО в качестве единой меры воспринимаемого различия. Однако, как уже говорилось, попытки ее использования для разбраковки по цвету показали необходимость дальнейшего ее уточнения. Сама по себе оценка надежности формул цветового различия представляет сложную проблему. Так Луо и Риг [9] использовали пять характеристик для сравнительной оценки точности формул цвето-

вого различия. Однако, в первом приближении, одной из характеристик пригодности формул для разбраковки по цвету является процент ошибочных решений. Исследования Мак Дональда [9] показали, что формула *ANLAB-40*, упрощением которой является формула цветовых различий *MKOLab*, дает приблизительно 20 % ошибочных решений, в то время как визуальные оценки разбраковщиков только 17 %. Таким образом недостатки метрики *MKOLab* вскоре обнаружили с очевидностью и потребовали ее уточнения. Первой модификацией *MKOLab*, нашедшей широкое промышленное применение в разбраковке по цвету, стала формула *JPC-79* (1), задаваемая следующими соотношениями:

$$DE_{jpc-79} = \sqrt{\left(\frac{DL}{L_t}\right)_2 + \left(\frac{DC}{C_t}\right)_2 + \left(\frac{DH}{H_t}\right)_2}, \quad (1)$$

где

$$L_t = \frac{0,08195L_1}{1 + 0,01756L_1},$$

$$C_t = \frac{0,0638C_1}{1 + 0,0131C_1} + 0,638,$$

$$H_t = TC_t.$$

Если $C_t < 0,638$ то $T = 1$, иначе: $T = 0,36 + |0,4 \cos(q_1 + 35)|$ для $345 < q_1 < 164$ и, $T = 0,56 + |0,2 \cos(q_1 + 168)|$ для $164 < q_1 < 345$. DL , DC , DH – различие между эталонным и испытуемым образцами по светлоте, насыщенности и цветовому тону соответственно, вычисленное по формуле *MKOLab76*; L_1 , C_1 , q_1 – относятся к эталонному образцу.

Принципиальным отличием формулы *JPC-79* от формулы *MKOLab76* стало то, что путем введения в формулу масштабирующих коэффициентов – L_t , C_t , H_t , задали изменение допуска по светлоте при изменении светлоты стандарта, по насыщенности – при изменении насыщенности стандарта, и изменение допуска по цветовому тону в зависимости от насыщенности. Хотя общий вид формулы *JPC-79* похож на формулу, определяющую евклидово расстояние в трехмерном пространстве, цветовое различие, вычисленное по *JPC-79*, строго говоря, не может быть интерпретировано как геометрическое расстояние между точками некоторого цветового пространства. Это обусловлено тем, что шкалы цветового тона и насыщенности в формуле *JPC-79* перестали быть взаимно независимыми. Таким образом, различие, вычисленное по *JPC-79*, утратило наглядность интерпретации, какой

обладало различие по *MKOLab76*. Конкретный вид шкалирующих множителей в формуле *JPC-79* определен при выполнении оценок приемлемости цветовых различий швейных ниток. Если $DE_{jpc-79} = 1$, то это означает, что вероятность принятия образца при достаточно большом числе визуальных оценок равна 0,5 (50 %). Таким образом, $DE_{jpc-79} < 1$ означает вероятность принятия образца 0,5 (50 %). Ясно, что *JPC-79* является формулой приемлемых, а не воспринимаемых различий. В формуле приемлемости отношение между компонентами общего цветового различия светлоты, насыщенности, цветового тона получается из оценок, отражающих конъюнктуру рынка, в то время как в формуле для воспринимаемых различий отношение этих компонент должно быть фиксированным. Формула шкалирования по воспринимаемым различиям была бы более универсальной. Разработка такой формулы была осуществлена Комитетом по колориметрии Королевского общества красильщиков и колористов (*СМС*) на основе *JPC-79*. В результате получили формулу *СМС*, определяемую соотношениями (2) [1]:

$$DE_{cmc} = \left[\left(\frac{DL}{S_l}\right)^2 + \left(\frac{DC}{S_c}\right)^2 + \left(\frac{DH}{S_h}\right)^2 \right]^{0,5}, \quad (2)$$

где $S_l = 0,040975L_1 / (1 + 0,01756L_1)$, если $L_1 < 16$, то $S_l = 0,511$;

$$S_c = 0,0638C_1 / (1 + 0,0131C_1) + 0,638;$$

$$S_h = S_c (Tf + 1 - f);$$

$$f = \{(C_1)4 / [(C_1)4 + 1900]\}1 / 2,$$

$$T = 0,36 + |0,4 \cos(q_1 + 35)| \text{ для } 345 < q_1 < 164; \text{ и,}$$

$$T = 0,56 + |0,2 \cos(q_1 + 168)| \text{ для } 164 < q_1 < 345;$$

DL , DC , DH – различие между эталонным и испытуемым образцами по светлоте, насыщенности и цветовому тону, соответственно, вычислено по формуле *MKOLab76*; L_1 , C_1 , q_1 – относятся к эталонному образцу.

Общий вид формул *JPC-79* и *СМС* ($l:c$) [16] отличается тем, что в последнюю введены изменяемые множители l и c , которые обозначают отношение весов светлоты к насыщенности и цветовому тону и позволяют использовать формулу для расчета как воспринимаемых, так и приемлемых цветовых различий. В формуле *СМС* (E_c) [9] зависимость шкалы цветового тона от насыщенности стала еще более сложной. Широкие промышленные испытания показали,

что формула СМС (E_c) [9] гораздо лучше коррелирует с визуальными оценками приемлемых и воспринимаемых малых и средних цветовых различий, чем МКО Lab -76 [9], и оценка по СМС (E_c) [9] надежнее, чем оценка каждого отдельного наблюдателя. В результате, формула СМС ($l:c$) принята как стандарт оценки общего цветового различия в Великобритании, США и ISO [9]. Однако она наследует недостаток формулы JPC-79, а именно, она не дает наглядной интерпретации общего цветового различия, так как не связана с евклидовым цветовым пространством. Хотя формула СМС ($l:c$) подразделяет общее цветовое различие на три компоненты – светлоту, насыщенность и цветовой тон, она не позволяет, как МКО Lab -76 определить, например, в какую сторону отличается конкретный образец от эталона – в синеву или в желтизну. Для этого по-прежнему приходится использовать формулу и пространство МКО Lab [9]. Следующей попыткой улучшить формулу СМС ($l:c$) стала формула BFD [9], опубликованная в 1987 г. Имея более сложную по сравнению с формулой СМС структуру, она не вносит в определение цветового различия ничего принципиально нового и дает незначительное улучшение согласованности с визуальными оценками. Видимо, в силу этих причин она не нашла пока широкого применения.

Похожую с СМС ($l:c$) структуру имеет формула цветового различия, рекомендованная в 1994 г. МКО (3) [9], но в отличие от нее использует простую линейную зависимость от насыщенности для получения значений S_c и S_h .

$$DE_{CIE94} = \left[\left(\frac{DL}{k_l S_l} \right)^2 + \left(\frac{DC}{k_c S_c} \right)^2 + \left(\frac{DH}{k_h S_h} \right)^2 \right]^{0.5}, \quad (3)$$

где $S_l = 1$; $S_c = 1 + 0,045C_l$; $S_h = 1 + 0,015C_l$; C_l – относятся к эталонному образцу.

Это соотношение также DL , DC , DH – различие между эталонным и испытуемым образцами по светлоте, насыщенности и цветовому тону, соответственно, вычисленное по формуле, включает в себя три весовых параметра k_l , k_c , k_h для светлоты, насыщенности и цветового тона соответственно. При этом для оценки текстиля на соответствие цветовому допуску рекомендуется $k_l = 2$, $k_c = 1$, $k_h = 1$, хотя в общем случае, при оценке цветового различия $k_l = k_c = k_h = 1$. Предполагается, что точные значения этих параметров должны устанавли-

ваться с учетом влияния фактуры поверхности образца и других факторов на согласованность с визуальными оценками.

Всем перечисленным выше формулам присущ один общий недостаток – они сугубо эмпирические, и каждая из них отличается друг от друга в зависимости от использованного при ее выводе (или оптимизации) экспериментального материала. Поэтому продолжают появляться новые формулы. В частности, ISO утвердила две формулы: формулу СМС для расчета цветовых различий и формулу, предложенную Швейцарской комиссией по испытаниям устойчивости окрасок для оценки изменений цвета в испытаниях на устойчивость окрасок [16]. Хотя, по сути, измерение малых цветовых различий и оценка изменений цвета при испытаниях устойчивости окраски – одна и та же задача.

Необходимо отметить, что данные формулы пригодны лишь при субтрактивном смешении цветов, т. е. эти формулы применимы в полиграфии, текстильной промышленности, фотографии и других подобных отраслях народного хозяйства, где объект цветового сравнения можно наблюдать лишь при внешнем освещении, а источник света можно и нужно установить стандартный и рекомендованный МКО, например D6500 [9].

В устройствах, где цветная репродукция получается за счет аддитивного сложения основных цветов в устройстве воспроизведения (телевидение, экран монитора компьютера), эти формулы не пригодны, так как принципиально нельзя освещать репродукцию на экранах монитора или телевизора, или экранах воспроизведения кинофильмов.

3. Цветовые различия в колориметрических системах МКО

Для конкретных значений цветовых различий при аддитивном синтезе цвета была разработана специальная программа по расчету цветовых различий. В этой программе производится расчет цветовых различий между двумя цветами, заданных координатами цветности в системе МКО – 1931 г. (x , y) [9]. На рис. 1 представлены результаты вычисленных цветовых различий между двумя цветами с координатами x и y , как координаты первого и второго цветов. Необходимо отметить, что колориметрические системы МКО 1931 г. (x , y , z), (r , g , b) и МКО

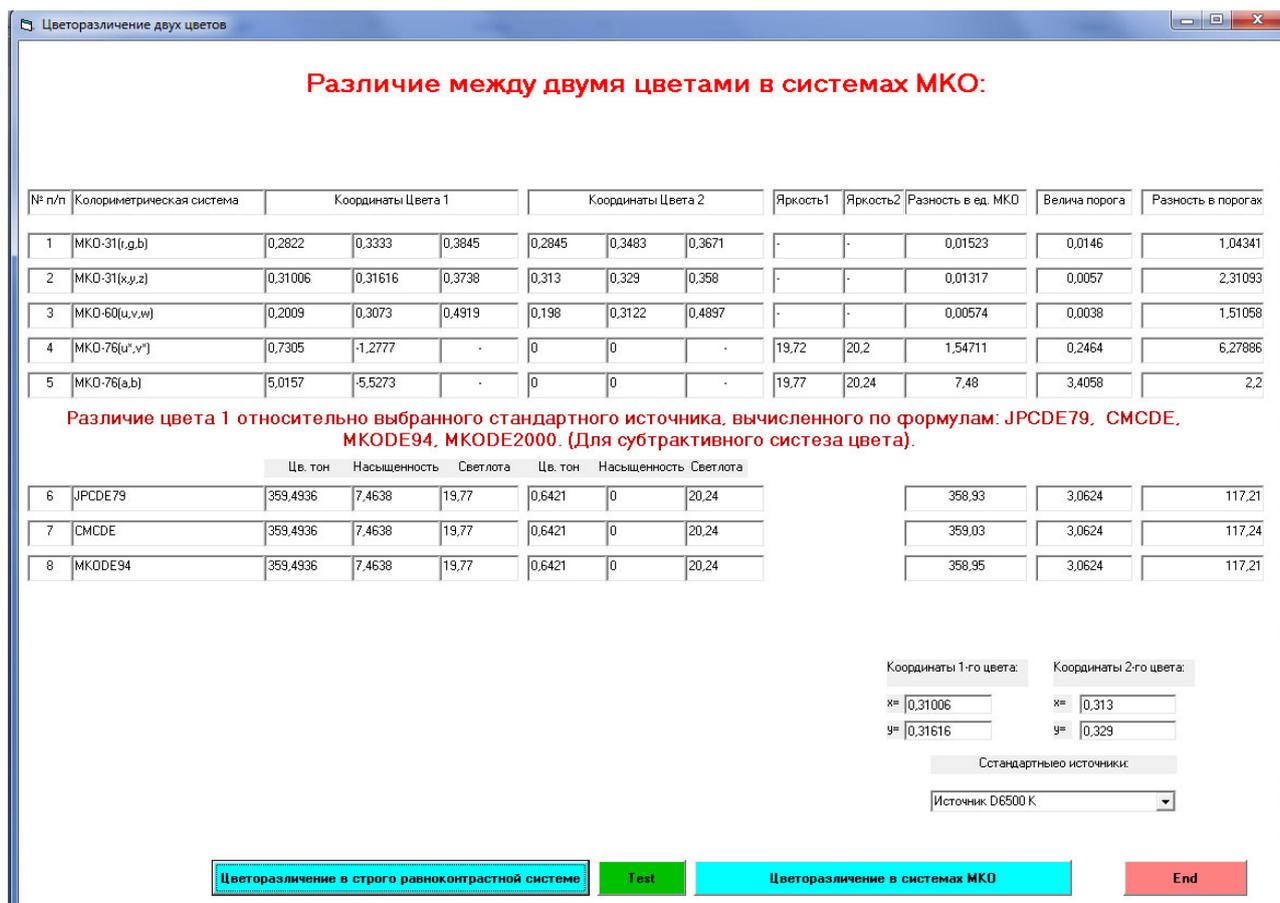


Рис. 2. Результаты расчета различий между двумя цветами в системах МКО и вычисленного по формулам

1960 г. (u , v) являются двух мерными и определяют только цветность объекта, поэтому при расчете цветовых различий определялось только различие цветности между двумя исходными цветами, как геометрическое расстояние между точками на графиках МКО, т. е.

$$\Delta E = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}; \quad (4)$$

где x_1 , y_1 , x_2 , y_2 – координаты цветности в двух мерной системе координат, либо МКО 1931 г. (x , y , z), (r , g , b) или МКО 1960 г. (u , v , w). Но поскольку третья координата, пусть это z , или b или w зависит от значений x , y или r , g или u , v – то эта координата в (4) не учитывается. В этой формуле (4) не учитывается значение яркости, поскольку указанные колориметрические системы являются двух мерными (как это было сказано выше). Поэтому на рис. 2 результаты расчетов показаны именно только для цветностей сравниваемых цветов.

Для более поздних колориметрических систем под номерами 4 и 5 (см. рис. 2) расчеты цветовых различий между двумя цветами проводились с учетом яркости цветов, поэтому в (4) добавилась квадрат сумм разницы яркости между исследуемыми цветами.

В колонке «разность в ед. МКО» (рис. 2) показана величина цветовых различий между двумя заданными цветами («цвет1» и «цвет2»). Как видно из рис. 2, величина цветовых различий значительно отличается в зависимости от колориметрической системы. Это факт объясняется тем, что каждая колориметрическая система имеет «свои масштабы» координатных осей, поэтому значения цветовых различий между двух и тех же цветов зависят от конкретной колориметрической системы. Тот же самый результат мы наблюдаем при определении цветовых различий между одних и тех же исходных цветов, выраженных в порогах Мак Адама, а этот факт объясняется тем, что системы МКО не являются равноконтрастны. Этот факт иллюстрирует последняя колонка на рис. 2. В предпоследней колонке показаны значения порогов цветоразличения Мак Адама для различных колориметрических систем МКО.

В следующей таблице (рис. 2) показаны цветовые различия между двумя цветами, определенные по формулам (1)–(3). Как видно из данных приведенных в этой таблице, приведенные значения мало чем отличаются друг от друга (последняя колонка результатов, рис. 2).

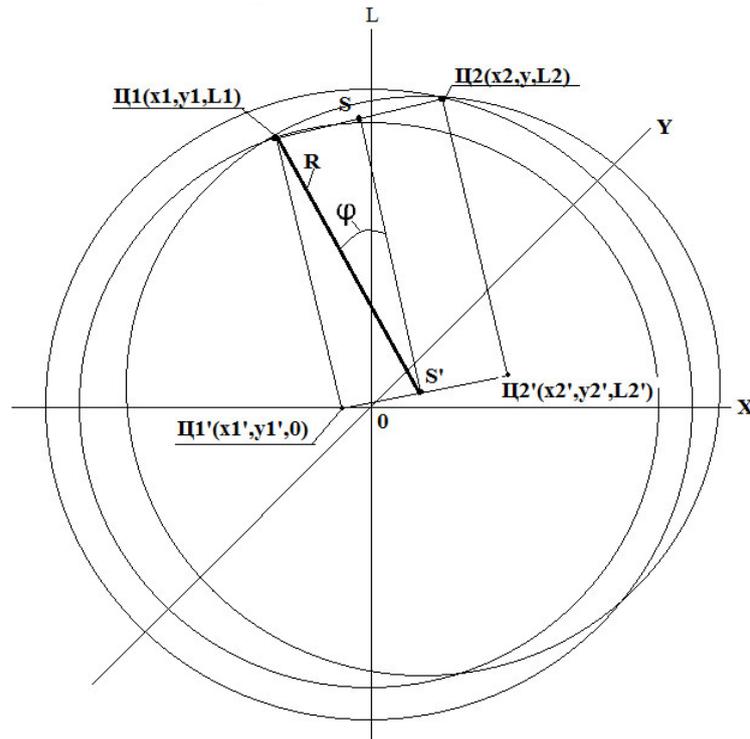


Рис. 3. Нахождение центра дуги

4. Цветовые различия между двумя цветами в строго равноконтрастной цветовой системе

В предыдущем разделе мы указали, что цветовое различие, выраженное в порогах Мак Адама между двумя цветами различно в зависимости от колориметрической системы. В [2–5] приведено описание строго равноконтрастного цветового пространства. Причем перевод в это, строго равноконтрастное цветовое пространство возможно из любой колориметрической системы МКО. Из вышеуказанных источников следует, что колориметрическое пространство (цветовой locus) находится на сфере, радиус которой пропорционален яркости конкретного объекта, выраженного точкой с определенными координатами колориметрической системы. Таким образом, если необходимо определить цветовое различие между двумя цветами Ц1 и Ц2, которые имеют разные яркости, то эти точки будут находиться на двух концентрических сферах (рис. 3). В этом случае цветовое различие будет определяться длиной дуги от точки Ц1 к точке Ц2. Вопрос – как найти радиус искомой дуги и его центр? Если исходные цвета Ц1 и Ц2 имеют одинаковые яркости (что довольно редко), а значит находятся на одной сфере, то поставленный вопрос разрешается просто. В обратном случае решение этого вопроса усложняется. Поступим следующим

образом. Соединим прямой исходные точки (Ц1 и Ц2) и найдем длину полученной хорды, что сделать не считается трудной задачей [10]. Далее найдем координаты середины хорды (на рис. 3 – точка S), что тоже не представляет сложности [10]. Из полученной точки S опустим перпендикуляр в сторону начала координат O. На этом перпендикуляре найдем точку S', определяемой разностью яркостей точек Ц1 и Ц2, т. е. яркость точки S минус минимальную яркость из исходных цветов (на рис. 3 это яркость цвета Ц1). Полученная точка и будет центром искомой дуги. Из этого построения получаем два равных прямоугольных треугольника S'С1Ц1 и S'С2Ц2 (равенство этих треугольников легко доказывается). Гипотенуза S'С1 и будет искомым радиус R дуги, ее длина определяется следующим выражением [10]:

$$S = 2\varphi R, \quad (5)$$

где угол φ можно определить как $\arctg(\text{Ц1}/S'S')$.

В источниках [2–5] указано, что разработанная строго равноконтрастная система отображается в геометрии Римана в подвижной системе координат, причем коэффициент сжатия (или удлинения осей координат) для различных колориметрических систем МКО будет различен [3]. Назовем этот коэффициент буквой K и он может меняться в широких пределах. В [3] данный коэффициент представлен вектором, у нас



Рис. 4. Цветовые различия между двумя цветами в строго равноконтрастном цветовом пространстве

этот вектор представляется скалярной величиной. Но здесь нет ошибки, так искомая точка S' (рис. 3) определяется как:

$$S' = DL(S, S')K,$$

где DL – длина отрезка SS' , а левый символ S' обозначает новое положение центра искомой дуги, который имеет новые координаты x , y и L , которые можно связать со старыми посредством коэффициентов K_1 , K_2 и K_3 , что аналогично [3].

Не нарушая установившихся традиций (все колориметрические системы МКО, разработанные после 8 сессии 1931 г., в качестве базовой системы используют систему МКО 1931 г. (x , y , z)), будем считать для базовой системы коэффициент $K = 1$. Таким образом, для других колориметрических систем, отличных от системы МКО 1931 г. (x , y , z) положение точки S' , будет отличаться, с учетом K .

На рис. 4 приведены результаты расчета цветовых различий между двумя цветами в строго равноконтрастном пространстве. Здесь же приведены значения коэффициента K .

Некоторые пояснения к рис. 4. Начало координат для двухмерных колориметрических систем (МКО 1931 г. и МКО 1960 г.) сдвинуто в точку координат цветности равноэнергетического ис-

точника E . Кроме того, яркость исходных (исследуемых) цветов приведены к единице. Это было сделано для того, чтобы отличия координат цветности и значения яркости были одного порядка.

Заключение

В данной статье приведена сравнительно простая методика расчета цветовых различий двух цветов в строго равноконтрастной цветовой системе. Показано, что величины цветовых различий, выраженных в порогах цветоразличения Мак Адама, не зависят от выбора колориметрических систем. Это замечание хорошо согласуется с расчетами цветовых различий, сделанных по формулам *JPCDE-79*, *CMCDE*, *MKODE-94* [16].

Приведенную методику расчета цветовых различий между двумя цветами легко использовать на практике.

В работе приведены, полученные автором значения коэффициента K для колориметрических систем МКО 31 (x , y), МКО 60 (u , v), МКО-76 (U^* , V^*) и МКО 76 (Lab).

Данную методику можно использовать как для аддитивного синтеза цвета, так и для субтрактивного.

Список литературы

1. Джадд Д., Выщецки Г. Цвет в науке и технике; пер. с англ. под ред. Л.Ф. Артюшина. М.: Мир, 1978. 428 с.
2. Ложкин Л.Д., Неганов В.А. Способ преобразования цветового пространства. Патент на изобретение. № 2494461 от 27.09.2013 г. Приоритет от 08.07.2011 г. Бюл. № 27 от 27.09.2013. МПК J06K 9/68 (2006.01).
3. Ложкин Л.Д. Дифференциальная колориметрия в телевидении. Специальность 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-Петербург, 2014.
4. Ложкин Л.Д., Осипов О.В., Вороной А.А. Цветокоррекция в трехцветных устройствах цветовоспроизведения // Компьютерная оптика. 2017. Т. 41. № 1. С. 88–94.
5. Threshold color differentiation, and the Einstein equation / L.D. Lozhkin [et al.] // International Journal of Advanced Research. 2017. № 5(7). P. 510–516.
6. Mac Adam D.L. Specification of small chromaticity differences // Josa. 1943. Vol. 33. P. 18–26.
7. Scalar curvature of space as a source of information of new uniformity aspects concerning to color representation systems / J.R. Jimenez [et al.] // Optics (Paris). 1993. Vol. 24. № 6. P. 243–249.
8. Schwarzschild K. Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie // Sitzungsberichte der KöniglichPreussischen Akademie der Wissenschaften I. 1916. P. 189–196. (Шварцшильд К. О гравитационном поле точечной массы в эйнштейновской теории // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир, 1979. С. 199–207.)
9. Фершильд М.Д. Модели цветового восприятия; 2-е изд. М.: издательство А. Шадрин, 2004. 438 с.
10. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике; 10-е изд., стереотипное. М.: Наука, 1973. 870 с.

Definition of color differences between two colors

L.D. Lozhkin, A.A. Soldatov, A.A. Voronoy

This article deals with the calculation of color differences of two given colors in existing colorimetric systems of MCOs, as well as color differences obtained with the help of special formulas JRS 79, developed by the Committee on Colorimetry of the Royal Society of Dyers and Colorists (CMC) based on JRS-79, and the color difference formula recommended in 1994 by the ICE. At one time the author proposed a strictly equal-contrast color system, but in this system a rather complex mathematical apparatus based on tensor calculus is assumed. Therefore, this article proposes a simple technique for calculating color differences, using a fairly simple mathematical apparatus. The article presents the results of calculations of color differences between specific two colors. For what purpose, during the preparation of the article, a computer program was specially written that allows carrying out these calculations.

Keywords: color systems, Mac Adam ellipses, color scale, geometry of Riemann, strictly equal-contrast color space.
