

*Меркулова О.А. Исследование подходов и сравнение результатов оценивания цветоразличий применительно к современным цифровым системам репродуцирования // Академия педагогических идей «Новация». Серия: Студенческий научный вестник. – 2018. – №6 (июнь). – АРТ 273-эл. – 0,2 п.л. - URL: <http://akademnova.ru/page/875550>*

**РУБРИКА: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**УДК 655.02**

**Меркулова Ольга Алексеевна**

студентка магистратуры 2 курса, кафедра автоматы  
«Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра  
Великого»

*Научный руководитель:* Гнатюк С.П., к.х.н., доцент  
«Высшая школа печати и медиатехнологий Санкт-Петербургского  
университета промышленных технологий и дизайна»  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: [mola@list.ru](mailto:mola@list.ru)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ И СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ОЦЕНИВАНИЯ ЦВЕТОРАЗЛИЧИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К  
СОВРЕМЕННЫМ ЦИФРОВЫМ СИСТЕМАМ  
РЕПРОДУЦИРОВАНИЯ**

*Аннотация:* В статье рассмотрено сравнение расчетов малых цветовых различий.

*Ключевые слова:* тоно–цветовоспроизведение, цветовое пространство XYZ, малые цветовые различия.

**Merkulova Olga**

2-year magistracy student, Department of Automatics  
St. Petersburg Polytechnic University named after Peter the Great  
Supervisor: Gnatiuk S.P, Ph.D., Associate Professor  
"Higher School of Printing and Media Technologies of the St. Petersburg  
University of Industrial Technology and Design"  
St. Petersburg, Russian Federation

**INVESTIGATION OF APPROACHES AND COMPARISON OF THE  
RESULTS OF EVALUATION OF COLORFLUORISM APPLICABLE  
TO MODERN DIGITAL REPRODUCTIVE SYSTEMS**

*Abstract:* In the article the comparison of calculations of small color differences is considered.

**Keywords:** tone-color reproduction, XYZ color space, small color differences.

Одной из важных проблем, с которой сталкиваются специалисты, использующие современные цифровые системы полиграфии и репрографии, является проблема обеспечения качества тоно – цветовоспроизведения. Причинами некачественного тоно – цветовоспроизведения могут являться:

Отсутствие сквозной калибровки устройств, которые формируют канал репродуцирования как на этапе ввода графической информации, так и на этапах предпечатной подготовки и, собственно, процессах печати (сканеры, цифровые камеры, графические системы, соответствующим программным обеспечением, принтеры, плоттеры и т.д.);

Использование печатных материалов различного качества, различного программного обеспечения и систем репродуцирования, основанных на различных принципах;

Невозможность контроля либо надежного обеспечения стабильности процессов формирования изображения (технологических, климатических и пр.)

Одним из возможных подходов к решению поставленной задачи является строгое соответствие различным регламентам, и в первую очередь Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 12647-1-2009 «Технология полиграфии. Контроль процесса изготовления цифровых файлов, растровых цветоделений, пробных и тиражных оттисков». Примером может служить регламент типографии «МАЙЕР»: определяющий требования к цветопробе: «цветопробой является оттиск, изготовленный на специализированном оборудовании, калиброванном в соответствии с ISO 12647-3:2007. Цветопроба, не соответствующая требованиям, указанным в таблице (см. ниже) не может служить в качестве контрактной цветопробы для печати и соответственно использоваться для предъявления претензий, связанных с отклонениями по воспроизведению цвета.

Таблица 1.1 Требования к качеству контактной цветопробе

Критерии	Допуск
Отклонение $dE^*ab$ от первичных цветов CMYK	>5
Отклонение $dH$ (цветового тона краски)	>2,5
Отклонение $dE^*ab$ печатной основы	>3
Среднее отклонение $dE^*ab$ остальных полей, включая поля баланса по серому	>3 max <6
Среднее отклонение $dH$ полей баланса по серому	>1,5
Среднее отклонение $DE^*ab$ полей, находящихся за пределами шкалы цветового охвата	>4
Максимальное отклонение полутоновых значений растровых полей первичных цветов CMYK	>3%

Другой подход связан с наличием надежных, доступных, понятных и адекватных методов оценивания, что требует разработки и дальнейшего совершенствования соответствующих методов и реализующих их инструментов.

Поэтому целью настоящего исследования являлся анализ современных подходов к измерению величины цветоразличий и создание программного обеспечения, реализующего соответствующие алгоритмы сравнения посредством общедоступных программных продуктов, которые позволяют оперативно дополнять или вносить изменения в программный код.

На данный момент существует несколько методов позволяющих рассчитать малые цветовые различия рекомендованных Международной комиссией по освещению [1]:

1) Методика расчета малых цветовых различий по рекомендациям МКО за 1950г.

Посредством криволинейного преобразования цветового пространства МКО 1931 г. CIE XYZ было разработано цветовое пространство  $L^*a^*b^*$ , для которого в 1950г. Было рекомендовано определять малые цветовые различия между двумя сравниваемыми цветами по формуле:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

где  $(L_1, a_1, b_1)$  и  $(L_2, a_2, b_2)$ - цветовые координаты первого и второго из сравниваемых цветов соответственно в цветовом пространстве CIE Lab.

Величина  $\Delta E$ , являющаяся цветовой разностью эталонной поверхности при ее освещении эталонным и тестируемым источниками

$\Delta L^*$ ,  $\Delta u^*$  и  $\Delta v^*$  – разности между значениями координат цветового пространства  $L^*u^*v^*$ , определяющими цветовую разность эталонной

поверхности и эталонного излучателя и значениями координат цветового пространства  $L^*u^*v^*$ , определяющими цветовую разность эталонной поверхности и тестируемого источника

2) Методика расчета малых цветовых различий по рекомендациям МКО за 1976г.

Посредством проективного преобразования цветового пространства МКО 1931 г. CIE XYZ было разработано цветовое пространство  $L^*a^*b^*$ , для которого в 1976г. Было рекомендовано определять малые цветовые различия между двумя сравниваемыми цветами по формуле

$$\Delta E = \sqrt{(L2^* - L1^*)^2 + (u2^* - u1^*)^2 + (v2^* - v1^*)^2}$$

где  $(L1, a1, b1)$  и  $(L2, a2, b2)$ - цветовые координаты первого и второго из сравниваемых цветов соответственно в цветовом пространстве CIE Luv.

3) Методика расчета малых цветовых различий по рекомендациям МКО за 1994г.

По данной методике рассчитываются малые цветовые различия между двумя сравниваемыми цветами на базе анализа координат цвета в цветовом пространстве CIE  $L^*a^*b^*$ .

При этом цветовая разность определяется выражением:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{K_H S_H}\right)^2}$$

где

$$\Delta L = L1 - L2$$

$$\Delta C = C1 - C2$$

$$\Delta H = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 - \Delta C^2}$$

$$C1 = \sqrt{(a1^*)^2 + (b1^*)^2}$$

$$C2 = \sqrt{(a2^*)^2 + (b2^*)^2}$$

$$\Delta a = a1^* + a2^*$$

$$\Delta b = b1^* + b2^*$$

Кроме того

$$\begin{cases} S_L = 1 \\ S_C = 1 + K1 * C1 \\ S_H = 1 + K2 * C2 \end{cases}$$

где

$$K_L = 1$$

$$K_C = 1$$

$$K_H = 1$$

$$K1 = 0,045$$

$$K2 = 0,015$$

4) Методика расчета малых цветовых различий по рекомендациям МКО за 2000г.

Подобно предыдущей, в данной методике рассчитываются малые цветовые различия между двумя сравниваемыми цветами на базе анализа координат цвета в цветовом пространстве CIE L\*a\*b\*.

При этом цветовая разность определяется выражением:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H}\right)}$$

где

$$K_L = 1$$

$$S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L} - 50)^2}}$$

При это

$$\bar{L} = \frac{L1^* + L2^*}{2}$$

и

$$\Delta L = L2^* - L1^*$$

Кроме того

$$K_C = 1$$
$$S_C = 1 + 0,045\bar{C}$$

где

$$\bar{C} = \frac{C1' + C2'}{2}$$

При этом

$$C1' = \sqrt{(a1')^2 + (b1')^2}$$
$$C2' = \sqrt{(a2')^2 + (b2')^2}$$

где

$$a1' = a1^*(1 + G)$$
$$a2' = a2^*(1 + G)$$

При этом

$$G = \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right)}{2}$$

где

$$\bar{C} = \frac{C1 + C2}{2}$$
$$C1 = \sqrt{(a1^*)^2 + (b1^*)^2}$$
$$C2 = \sqrt{(a2^*)^2 + (b2^*)^2}$$

а

$$\Delta C = C2' - C1'$$

Также

$$K_H = 1$$

$$S_H = 1 + 0,015\bar{C} \cdot T$$

где

$$T = 1 - 0,17 \cos(\bar{H} - 30^\circ) + 0,24 \cos(2\bar{H}) + 0,32 \cos(3\bar{H} - 60^\circ) - 0,20 \cos(4\bar{H} - 63^\circ)$$

при

$$\bar{H} = \begin{cases} \frac{h1' + h2' + 360^\circ}{2}, & |h1' - h2'| > 180^\circ \\ \frac{h1' + h2'}{2}, & |h1' - h2'| \leq 180^\circ \end{cases}$$

Здесь  $h1'$  и  $h2'$  измеряются в угловой мере и рассчитываются по формулам

$$h1' = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b1^*}{a1'}\right), & \text{при } a1' > 0 \text{ и } b1^* > 0 \\ \arctan\left(\frac{b1^*}{a1'}\right) + 360^\circ, & \text{при } a1' > 0 \text{ и } b1^* < 0 \\ \arctan\left(\frac{b1^*}{a1'}\right) + 180^\circ, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

$$h2' = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b2^*}{a2'}\right), & \text{при } a2' > 0 \text{ и } b2^* > 0 \\ \arctan\left(\frac{b2^*}{a2'}\right) + 360^\circ, & \text{при } a2' > 0 \text{ и } b2^* < 0 \\ \arctan\left(\frac{b2^*}{a2'}\right) + 180^\circ, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

Кром того

$$\Delta H = 2\sqrt{C1' \cdot C2'} \sin\left(\frac{\Delta h'}{2}\right)$$

где

$$\Delta h = \begin{cases} h2' - h1', & |h2' - h1'| \leq 180^\circ \\ h2' - h1' + 360^\circ, & |h2' - h1'| > 180^\circ; h2' \leq h1' \\ h2' - h1' - 360^\circ, & |h2' - h1'| > 180^\circ; h2' > h1' \end{cases}$$

При этом



$$R_T = -R_C \sin(2\Delta\theta)$$

где

$$\Delta\theta = 30 \exp \left\{ - \left( \frac{\bar{H} - 275^\circ}{25} \right)^2 \right\}$$

а

$$R_C = 2 \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}$$

5) Методика расчета малых цветовых различий по рекомендациям комитета по цветовым измерениям

Подобно двум предыдущим, в данной методике рассчитываются малые цветовые различия между двумя сравниваемыми цветами на базе анализа координат цвета в цветовом пространстве CIE L\*a\*b\*.

При этом цветовая разность определяется выражением:

$$\Delta E = \sqrt{\left( \frac{\Delta L}{1S_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C}{cS_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H}{S_H} \right)^2}$$

Где (l,c)- координаты цветности в цветовом пространстве Lch, рассчитывающиеся по значениям координат в цветовом пространстве МКО 1976 г LCabНавили LCuvHuv

$$l = \frac{L}{100}$$

а

$$c = C$$

Однако в данном случае эти величины не рассчитываются, а используется один из двух вариантов сочетания (l;c) : при анализе воспроизведения цветовых оттенков (2;1) и при анализе восприятия цветовых оттенков (1;1)

Рассчитываются только такие параметры, как

$$\Delta L = L1^* - L2^*$$
$$S_L = \begin{cases} 0,511, L1^* < 16 \\ \frac{0,040975L1^*}{1 + 0,01765L1^*}, L1^* > 16 \end{cases}$$

и

$$\Delta C = C1 - C2$$
$$C1 = \sqrt{(a1^*)^2 + (b1^*)^2}$$
$$C2 = \sqrt{(a2^*)^2 + (b2^*)^2}$$

а также

$$S_C = \frac{0,0638C1}{1 + 0,0131C1} + 0,638$$

кроме того

$$\Delta H = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta C^2}$$

где

$$\Delta a = a1^* - a2^*$$
$$\Delta b = b1^* - b2^*$$

и

$$S_H = S_C (FT + 1 - F)$$

где

$$T = \begin{cases} 0,56 + |0,2\cos(H1 + 168)|, \text{ если } 164 \leq H1 \leq 345 \\ 0,36 + |0,4\cos(H1 + 35)| \end{cases}$$

$$F = \sqrt{\frac{C1^4}{C1^4 + 1900}}$$

и

$$H1 = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b1^*}{a1^*}\right), \text{ при } a1^* > 0 \text{ и } b1^* > 0 \\ \arctan\left(\frac{b1^*}{a1^*}\right) + 360^\circ, \text{ при } a1^* > 0 \text{ и } b1^* < 0 \\ \arctan\left(\frac{b1^*}{a1^*}\right) + 180^\circ, \text{ в остальных случаях} \end{cases}$$

В полиграфии цвет играет важную роль. Точное воспроизведение цвета, который желает получить заказчик, является одной из сложных задач современного производства, в особенности это касается фирменных цветов.

Целью данного исследования является, изучение влияния различных источников оптического излучения на спектр отраженного потока; расчёт координаты цвета и цветности в цветовом пространстве XYZ; расчёт чистоты цвета и учёт взаимосвязи с цветовой температурой; расчёт координат цвета в 5-ти цветовых моделях и определение величины цветоразличий при использовании различных источников освещения.

Объектом исследования является спектральный апертурный коэффициент отражения от окрашенной поверхности (образцы тестовой мишени ColorCheckerGretagMacbeth). Для данной работы было напечатано 5 оттисков с текстовой мишенью лазерной и струйной печатью на глянцевой и матовой бумаге и термосублимационной на глянцевой. Измерения проводятся прибором GretagMacbethSpectroEye, при освещении A, D50, D65, D75, F1, F3, под углом 10° и белой подложке.

		A	D 50	D 65	D 75	F 1	F 2	F 3	
<b><math>\Delta E =</math></b> Малое цветовое различие	Расчет МКО за 1950 г.	1,770489069	1,924598359	1,984552528	2,044460772	1,739128221	1,860974585	1,957864882	
	Расчет МКО за 1976 г.	1,768849162	1,768849162	2,20192549	2,355708581	2,421765981	1,921267755	2,209152349	
	Расчет МКО за 1994 г.	1,747609132	1,829745332	1,858226455	1,890969181	1,717117791	1,810494539	1,856321923	
	Рекомендации комитета по цветовым измерениям	CIE LCH L*a*b*	1,74413425	1,891504073	1,912434739	1,98761212	1,747941972	1,829296539	1,910186413
		CIE LCH L*u*v*	1,740934019	1,740934019	1,844555728	1,930477116	1,933896716	1,773895543	1,844120488
	Расчет МКО за 2000 г.	h1'	360,555408	360,4629756	360,5160793	360,4536366	360,5518295	360,5031494	360,4506231
		h2'	360,560148	360,4739814	360,5304085	360,4697961	360,5562412	360,5116679	360,4622159
$H^{\wedge}$ [[ $\Delta h$ ]] $^{\wedge}$		$ h_{1^{\wedge}} - h_{2^{\wedge}}  \leq 180$ $ h_{2^{\wedge}} - h_{1^{\wedge}}  \leq 180$	1,624650988	1,577696473	1,572219718	1,571809124	1,592789861	1,601655646	1,588695285

Рисунок 1.1 Результаты измерений малых цветоразличий

Результат исследования: при изучении цветоразличий на участке «фантомного» изображения и вне его были получены значения, означающие, что данные различия являются малозаметными. На данной таблице наглядно видно, что при расчете данного параметра значения разнятся, это связано с тем, что данные рекомендации связаны с развитием программного обеспечения. Более новые формулы позволяют значительно уменьшить нелинейность изменения цвета в различных областях цветового охвата, поэтому использование новых рекомендаций позволяет снизить затраты на производство тиражей с фирменными цветами и, как видно из данного примера, вовремя заметить несоответствие по цветопередаче.

**Список использованной литературы:**

1. Горбунова Е.В., Чертов А.Н. Типовые расчеты по колориметрии источников излучения - Санкт-Петербург: СПб: Университет ИТМО, 2014. – 90 с.

*Дата поступления в редакцию: 27.05.2018 г.*

*Опубликовано: 01.06.2018 г.*

© Академия педагогических идей «Новация». Серия «Студенческий научный вестник»,  
 электронный журнал, 2018  
 © Меркулова О.А., 2018