

УДК 677.016.41+519.673

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭКСПРЕССНОЙ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ОКРАШЕННЫХ ТКАНЕЙ

© А. Е. Третьякова, В. В. Сафонов, О. Ю. Труфанова¹*Статья поступила 11 ноября 2014 г.*

В настоящее время с помощью специального программного обеспечения и оборудования (спектрофотометра, измеряющего прозрачные среды и твердые тела в видимой части спектра, и др.) можно получить обширную информацию о цвете: спектр отражения или поглощения, координаты цвета в различных цветовых системах, чистоту, цветовой тон, насыщенность и др. Однако, например, в условиях, требующих многотиражных серийных измерений, часто бывает необходимо располагать лишь первичными данными, скажем, координатами цвета, его чистотой или цветовым тоном. В этом случае самое обычное доступное оборудование и графический редактор, работающий в одной из известных цветовых систем, а также соответствующая методика легко решают поставленную задачу. Представлены результаты использования широко распространенных программного обеспечения Adobe Photoshop и сканера HP Scanjet 5470c для сканирования образцов окрашенной ткани и определения ряда колористических параметров.

Ключевые слова: цвет; координаты цвета; измерение цвета.

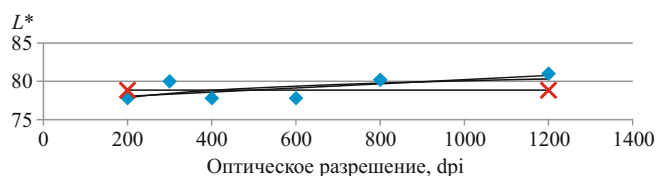
Измерение цвета проводят с целью объективного описания и количественного определения его зрительного восприятия [1 – 4]. Это позволяет получать и передавать информацию о цвете в цифровом формате.

Человеческое восприятие и ощущение цвета непостоянны и существенно зависят от совокупности физических, физиологических и психологических факторов. Благодаря современным технологиям стала возможной объективная оценка цвета с помощью высоко-

чувствительных точных приборов с целью его воспроизведения и применения в науке, технике, искусстве независимо от наших ощущений.

Знание цветовых характеристик требуется во многих сферах деятельности [5, 6]. Однако специальное цветоизмерительное оборудование отличается высокой стоимостью и недоступно массовому потребителю. По этой причине для решения повседневных задач использование обычного широко распространенного сканера (в нашем случае HP Scanjet 5470c) с последующей обработкой изображения в графическом ре-

¹ Московский государственный университет дизайна и технологии, Москва, Россия.



Зависимость светлоты (L^*) от разрешающей способности сканера HP Scanjet 5470c (для образца Yellow 2)

дакторе Adobe Photoshop компании Microsoft, анализирующем цвет в нескольких цветовых системах (RGB, Lab и HSB), представляется наилучшим выходом. Таким образом, цель работы — оценить применимость бытовых сканирующих устройств и графического редактора для экспресс-оценки колористических характеристик окрашенного текстильного материала в отсутствие специального спектрофотометрического оборудования.

Биологическая особенность нейронов сетчатки человеческого глаза (колбочек) заключается в неравномерном восприятии цвета — максимальная чувствительность приходится на желто-зеленую гамму, минимальная — на фиолетовую и красную. На этом построены системы неравномерного цветового пространства (RGB и др.). Однако такой подход не всегда удобен, особенно в случае расчетов цветового различия сравниваемых окрашенных поверхностей, а также для цветовоспроизведения — воссоздания эталонной окраски. Поэтому в исследовании мы отдали предпочтение равноконтрастному цветовому пространству $L^*a^*b^*$, по классификации МКО (Международной комиссии по освещению) 1976 г. — CIELAB ($CIE L^*a^*b^*$) [7].

Модель CIELAB имеет широкий цветовой охват и не привязана ни к одному из устройств репродукции света. Любой цвет в модели определяется значением светлоты L^* (Lightness) и двумя хроматическими координатами оппонентных хроматических шкал — a^* и b^* . Хроматическая координата a^* принимает все значения цвета по цветовому кругу — от красного

($a^* > 0$) до зеленого ($a^* < 0$), координата b^* — от желтого ($b^* > 0$) до голубого ($b^* < 0$) [2].

На первом этапе исследования исследовали влияние разрешающей способности сканера на результаты измерений колористических параметров окраски. С этой целью с произвольно выбранных образцов, взятых из каталога Dispersol and Procion Dyes. Matched Pairs for dyeing Polyester/Cellulose Blends (смесовые образцы полиэфирного волокна и хлопка, окрашенные дисперсными красителями), с помощью спектрофотометра Minolta CM-3600d (Япония) снимали спектры отражения, на основании которых по программе Super Color Matching (фирмы ORINTEX, Италия), анализирующей спектральные характеристики, рассчитывали цветовые параметры L^* , a^* и b^* , принимаемые в дальнейшем за эталонные (истинные) (табл. 1). Затем образцы оцифровывали на HP Scanjet 5470c при различных значениях оптического разрешения сканера (200, 300, 400, 600, 800 и 1200 dpi). Данные сохраняли в виде файла формата jpg. В Adobe Photoshop (с установками по умолчанию) в системе Lab с помощью инструмента «Пипетка» измеряли колористические характеристики.

Математический анализ показал, что при линейной аппроксимации экспериментальных данных относительно разрешающей способности сканера корреляционная зависимость отсутствует (см. рисунок). Разрешающую способность 400 dpi выбрали как разрешение с относительно наименьшей ошибкой. Высокое интерполяционное разрешение чаще всего ухудшает конечный результат, приводя только к росту размера конечного файла, а детализация изображения при этом не повышается.

На втором этапе исследования проводили сопоставление данных, полученных в результате сканирования на HP Scanjet 5470c и обработки на спектрофотометре Minolta CM-3600d образцов хлопчатобумажной бязи, окрашенной различными прямыми красителями: прямым рубиновым светопрочным МУ, прямым синим светопрочным КУ, прямым зеленым ЖХ, прямым желтым К и прямым ярко-оранжевым. Концентрация красителя в ванне, % от массы волокна: 0,03; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4 и 5. Оцифровку образцов на сканере проводили при оптическом разрешении 400 dpi, данные сохраняли в виде файла формата jpg.

Основную трудность представляла калибровка уровней белого и черного в Adobe Photoshop. В связи с этим в качестве точки отсчета использовали субстрат — неокрашенную отбеленную ткань. Образец такой ткани сканировали обоими сканирующими устройствами (табл. 2).

По данным спектрофотометра проводили калибровку. При этом следует отметить, что погрешности измерений были различны: на спектрофотометре —

Таблица 1. Цветовые характеристики (L^* , a^* , b^*) образцов из каталога, полученные на спектрофотометре Minolta

Образец	L^*	a^*	b^*
Yellow 2	87,69	2,62	37,68
Red 2	72,43	33,07	0,79
Green 1	74,94	-26,10	-4,12
Blue 1	70,90	8,83	-18,17

Таблица 2. Цветовые характеристики белой неокрашенной ткани

Источник данных	L^*	a^*	b^*
Спектрофотометр Minolta CM-3600d (ПО Super Color Matching)	89,52	-0,25	1,25
Сканер HP Scanjet 5470c (ПО Adobe Photoshop)	89,8	-0,2	1,2

$\pm 0,01$, на сканере (Adobe Photoshop) — $\pm 0,1$. Поэтому в дальнейшем оперировали данными с одним знаком после запятой.

В графическом редакторе Adobe Photoshop в системе Lab с помощью инструмента «Пипетка» измеряли колористические характеристики образцов бязи, окрашенных различными красителями. Результаты математической обработки полученных данных представлены в табл. 3.

С ростом концентрации красителя на волокне происходит увеличение ошибки измерения. Особенно это выражено в случае такого красителя, как прямой синий светопрочный КУ. Светлота красителя в переделах концентраций 1,5 – 5 % имеет значение от 0 до 22 %, т.е. окрашенные образцы воспринимаются как черные. Поэтому в этом случае такие значения колористических характеристик мы не рассматривали (в табл. 3 обозначены прочерками).

Таблица 3. Результаты математической обработки данных измерений окрашенных образцов бязи, полученных с помощью Adobe Photoshop (HP Scanjet 5470c)

Концентрация красителя $C_{кр}$, % от массы волокна	Светлота L^* , %	Дисперсия D	Среднеквадратическое отклонение σ	Среднеквадратическая ошибка σ_0	Доверительный интервал δ	Среднеарифметическое значение $x_{ср} \pm \delta$	Ошибка, %
Краситель прямой рубиновый светопрочный МУ							
0,03	73,95	7,4	2,7	0,9	1,3	72,1 – 74,7	0,7
0,05	69,26	6,4	2,5	0,8	1,2	67,8 – 70,2	0,4
0,1	65,59	1,8	1,3	0,4	0,6	64,4 – 65,6	0,9
0,15	59,54	9,0	3,0	1,0	1,4	58,8 – 61,3	0,6
0,2	56,72	4,5	2,1	0,7	1,0	54,4 – 56,4	2,3
0,3	51,65	2,7	1,6	0,5	0,8	49,9 – 51,5	1,8
0,5	44,51	39,6	6,3	2,0	2,9	40,4 – 46,2	2,7
1,0	36,34	15,3	3,9	1,2	1,8	31,4 – 35,0	8,6
1,5	32,47	3,7	1,9	0,6	0,9	29,3 – 31,1	7,0
2,0	30,78	6,2	2,5	0,8	1,2	28,1 – 30,5	4,8
2,5	28,83	5,8	2,4	0,8	1,1	24,6 – 26,8	10,9
3	28,75	6,5	2,5	0,8	1,2	24,3 – 26,7	11,3
4	26,33	9,5	3,1	0,9	1,4	21,4 – 24,2	13,4
5	24,30	14,6	3,8	1,2	1,8	19,9 – 23,5	10,7
Краситель прямой желтый К							
0,03	87,67	6,0	2,4	0,8	1,1	85,9 – 88,1	0,8
0,05	85,15	9,7	3,1	1,0	1,5	87,3 – 90,3	4,3
0,1	81,92	8,7	3,0	0,9	1,4	83,0 – 85,8	3,0
0,15	81,37	16,4	4,1	1,3	1,9	80,1 – 83,9	0,8
0,2	80,58	18,0	4,2	1,3	1,0	83,0 – 87,0	5,5
0,3	77,02	4,2	2,1	0,7	1,0	72,3 – 74,3	4,8
0,5	74,82	7,2	2,7	0,8	1,2	72,3 – 74,8	1,8
1,0	69,89	9,1	3,0	1,0	1,4	66,9 – 69,7	2,3
1,5	66,90	6,8	2,6	0,8	1,2	63,9 – 66,3	2,7
2,0	67,35	4,5	2,1	0,7	1,0	65,5 – 67,5	1,3
2,5	64,95	4,8	2,2	0,7	1,0	62,8 – 64,8	1,8
3	64,88	1,7	1,3	0,4	0,6	62,2 – 63,4	3,2
4	64,76	4,1	2,0	0,6	0,9	62,2 – 64,1	2,6
5	64,26	3,9	2,0	0,6	0,9	59,0 – 60,8	2,2
Краситель прямой ярко-оранжевый							
0,03	78,69	12,0	3,5	1,1	1,6	76,0 – 79,2	1,4
0,05	76,46	0,8	0,9	0,3	0,4	74,7 – 75,5	1,8
0,1	71,88	0,5	0,7	0,2	0,3	70,3 – 70,9	1,8
0,15	66,13	4,0	2,0	0,6	0,9	64,1 – 65,9	1,7
0,2	64,88	0,9	0,9	0,3	0,4	62,9 – 63,7	2,4
0,3	63,66	1,1	1,0	0,3	0,5	61,7 – 62,7	2,3
0,5	58,47	6,0	2,4	0,8	1,1	56,1 – 58,3	2,2
1,0	54,15	4,8	2,2	0,7	1,0	50,2 – 52,2	5,5
1,5	50,45	6,8	2,6	0,8	1,2	47,0 – 49,4	4,5
2,0	48,34	2,3	1,5	0,5	0,7	43,8 – 45,2	7,9
2,5	46,78	6,6	2,6	0,8	1,2	42,0 – 44,4	7,7
3	45,83	4,7	2,2	0,7	1,0	41,1 – 43,1	7,3
4	44,97	7,6	2,8	0,9	1,3	40,4 – 43,0	7,3
5	43,98	5,4	2,3	0,7	1,1	39,5 – 41,7	7,7

Таблица 3 (окончание)

Концентрация красителя $C_{кр}$, % от массы волокна	Светлота L^* , %	Дисперсия D	Среднеквадратическое отклонение σ	Среднеквадратическая ошибка σ_0	Доверительный интервал δ	Среднеарифметическое значение $x_{ср} \pm \delta$	Ошибка, %
Краситель прямой синий светопрочный КУ							
0,03	77,02	12,3	3,5	1,2	1,6	74,9 – 78,1	0,7
0,05	69,82	13,3	3,7	1,2	1,7	66,6 – 70,0	2,2
0,1	56,59	12,2	3,5	1,1	1,6	53,0 – 56,3	3,3
0,15	54,12	5,6	2,4	0,7	1,1	51,9 – 54,1	2,1
0,2	44,67	4,0	2,0	0,6	0,9	40,3 – 42,1	7,8
0,3	39,19	4,2	2,0	0,6	1,0	38,3 – 40,2	0,0
0,5	30,58	3,3	1,8	0,6	0,8	29,4 – 31,1	1,2
1,0	25,43	1,6	1,3	0,4	0,6	21,8 – 23,0	11,9
1,5	21,40	—	—	—	—	—	—
2,0	20,09	—	—	—	—	—	—
2,5	17,89	—	—	—	—	—	—
3,0	18,22	—	—	—	—	—	—
4,0	17,51	—	—	—	—	—	—
5,0	17,20	—	—	—	—	—	—
Краситель прямой зеленый ЖХ							
0,03	87,58	12,1	3,5	1,1	1,6	84,9 – 88,1	1,2
0,05	86,98	2,7	1,6	0,5	0,8	86,5 – 88,1	0,4
0,1	81,03	12,6	3,6	1,1	1,7	82,1 – 85,5	3,4
0,15	83,31	4,1	2,0	0,6	0,9	84,6 – 86,4	2,6
0,2	79,88	16,7	4,1	1,3	1,9	76,8 – 80,6	1,5
0,3	79,07	11,2	3,3	1,1	1,6	80,0 – 83,2	3,2
0,5	79,95	16,0	4,0	1,3	1,9	77,7 – 81,5	0,4
1,0	77,02	7,1	2,7	0,8	1,2	75,1 – 77,6	0,9
1,5	76,09	8,5	2,9	0,9	1,4	74,1 – 76,9	0,8
2,0	73,75	13,6	3,7	1,2	1,7	71,7 – 75,1	0,5
2,5	73,25	7,7	2,8	0,9	1,3	73,8 – 76,4	2,5
3	70,09	9,6	3,1	1,0	1,4	70,0 – 72,9	1,9
4	70,05	24,0	4,9	1,6	2,3	69,0 – 73,6	1,8
5	65,64	6,0	2,5	0,8	1,1	63,5 – 65,8	1,6

Таким образом, предлагаемую экспресс-методику оценки цвета с использованием сканирующего устройства и программы Adobe Photoshop можно рекомендовать для образцов, окрашенных в светлые и средние тона синими, зелеными и красными (пурпурными) красителями, содержание которых в красильной ванне не превышает 1,5 – 2 % от массы волокна. В случае желтых и близких к ним оттенков, например оранжевых, ограничений по концентрации красителя на волокне и, следовательно, в красильной ванне нет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бельский Л. И., Овечкис Н. С. Применение цветоведения в текстильной промышленности. Ч. 1. — М.: Легкая индустрия, 1970. — 262 с.
2. Мак-Дональд Родерик. Цвет в промышленности / Пер. с англ. под ред. Ф. Ю. Телегина — М.: Логос, 2002. — 596 с.
3. Ивнс Р. М. Введение в теорию цвета. — М.: Мир, 1964. — 456 с.
4. Домасев М., Гнатюк С. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. — СПб.: Питер, 2009. — 224 с.
5. Угринович Н. Д. Информатика и информационные технологии. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002. — 512 с.

6. Чидзиива Хидеяки. Гармония цвета. Руководство по созданию цветных комбинаций — М.: АСТ, Астрель, 2003. — 158 с.
7. ISO 11664-4:2008(en). Colorimetry. Part 4: CIE 1976 $L^*a^*b^*$ Colour space.

REFERENCES

1. Belenky L. I., Ovechkis N. S. Primenenie tsvetovedeniya v tekstil'noi promyshlennosti [Application of a chromatics in the textile industry]. Part 1. — Moscow: Legkaya industriya, 1970. — 262 p.
2. Mac-Donald Roderik. Tsvet v promyshlennosti [Color in the industry]. — Moscow: Logos, 2002. — 596 p. [Russian translation].
3. Ivns R. M. Vvedenie v teoriyu tsveta [Introduction to the theory of color]. — Moscow: Mir, 1964. — 456 p. [Russian translation].
4. Domasev M., Gnatyuk S. Tsvet, upravlenie tsvetom, tsvetovye raschety i izmereniya [Color, management of color, color calculations and measurements]. — St. Petersburg: Piter, 2009. — 224 p. [in Russian].
5. Ugrinovich N. D. Informatika i informatsionnye tekhnologii [Informatics and information technologies] — Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2002. — 512 p. [in Russian].
6. Jidjiva Hideyaki. Garmoniya tsvetov. Rukovodstvo po sozdaniiyu tsvetovykh kombinatsii [Harmony colors. The guide to creation of color combinations]. — Moscow: AST, Astrel', 2003. — 158 p. [Russian translation].
7. ISO 11664-4:2008(en). Colorimetry. Part 4: CIE 1976 $L^*a^*b^*$ Colour space.