

УДК 655.2/.3; 004.9

С. В. Сипайло

Белорусский государственный технологический университет

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
МЕТОДОМ ЦВЕТОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ЭТАПЕ ДОПЕЧАТНОЙ
ПОДГОТОВКИ**

Цвет является важным аспектом восприятия изобразительной информации. В статье рассмотрено решение задачи повышения колориметрической точности цветовоспроизведения изображений на этапе допечатной подготовки. Возможность инструментальной оценки воспроизводимых цветов позволяет количественно охарактеризовать особенности цветопередачи используемых устройств ввода / вывода изобразительной информации в виде цветовых профилей. Если функциональные возможности программного обеспечения для создания цветовых профилей ограничены цветовой моделью RGB, то для характеристики цветопередачи СМЯК-устройства можно использовать цветовой профиль RGB-типа и выполнять цветовые преобразования между разными вариантами цветовых пространств RGB средствами графического редактора. В этом случае СМЯК-устройство рассматривается как «черный ящик», на вход которого поступает информация о цвете в цветовой модели RGB, а преобразование числовых данных RGB в СМЯК происходит внутри «черного ящика» по неизменному алгоритму. Использование программно-аппаратных средств цветового профилирования и выполнение цветовых преобразований на допечатной стадии позволяют существенно повысить точность воспроизведения цвета в печатном процессе.

Ключевые слова: цветовой профиль, точность цветовоспроизведения, система управления цветом.

Для цитирования: Сипайло С. В. Повышение точности цветовоспроизведения изображений методом цветовых преобразований на этапе допечатной подготовки // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатеchnологии. 2023. № 2 (273). С. 20–25. DOI: 10.52065/2520-6729-2023-273-2-3.

S. U. Sipaila

Belarusian State Technological University

**INCREASING THE ACCURACY OF COLOR REPRODUCTION OF IMAGES
USING COLOR TRANSFORMATIONS AT THE PREPRESS STAGE**

Color is an important aspect of the perception of visual information. The article describes a solution to the problem of increasing the colorimetric accuracy of color reproduction of images at the prepress stage. The ability to instrumentally evaluate reproduced colors makes it possible to quantitatively characterize the features of color reproduction of image input/output devices in the form of color profiles. If the functionality of the software for creating color profiles is limited to the RGB color model, then you can use an RGB color profile to characterize the color reproduction of a CMYK device and perform color conversions between different variants of RGB color spaces using a graphics editor. In this case, the CMYK device is considered as a “black box”, the input of which is color information in the RGB color model, and the conversion of RGB numerical data to CMYK occurs inside the “black box” according to an unchanged algorithm. The use of hardware and software color profiling and color conversions at the pre-press stage can significantly improve the accuracy of color reproduction in the printing process.

Keywords: color profile, color accuracy, color management system.

For citation: Sipaila S. U. Increasing the accuracy of color reproduction of images using color transformations at the prepress stage. *Proceedings of BSTU, issue 4, Print- and Mediatechnologies*, 2023, no. 2 (273), pp. 20–25. DOI: 10.52065/2520-6729-2023-273-2-3 (In Russian).

Введение. Цветом можно назвать ощущение, которое возникает в результате действия на зрительные органы электромагнитных излучений в диапазоне длин волн 400–700 нм [1, 2]. Цвет является важнейшим аспектом восприятия изобразительной информации человеком, что обуславливает актуальность задачи обеспечения точности цветовоспроизведения в полигра-

фии. Во-первых, при полиграфическом репродуцировании точная цветопередача важна для обеспечения естественности восприятия человеком фотографических изображений и рисованных оригиналов, которые содержат узнаваемые объекты из реального мира или их аналоги. Во-вторых, в случае рекламной и этикеточно-упаковочной продукции цвет играет важную роль в

формировании у человека определенного психологического восприятия продукта и его производителя, обеспечения узнаваемости бренда. Также в графическом дизайне цвет позволяет выделить одни объекты на фоне других, способствует созданию гармоничной графической композиции. Таким образом, точное воспроизведение цвета является значимым условием достижения высокого качества полиграфического воспроизведения изображений и может быть критически важным для сохранения оригинального вида объектов и создания нужной эмоциональной реакции у потребителя полиграфической продукции.

Основная часть. В общем случае различают три уровня точности воспроизведения цвета [3, 4]: 1) физическая точность; 2) колориметрическая точность; 3) психологическая точность. В полиграфии физическая точность воспроизведения цвета, как правило, не обеспечивается из-за разного спектрального состава излучения, отраженного от оригинала и от многокрасочного оттиска, что, в свою очередь, обусловлено различной природой красителей оригинала и печатных красок. При полиграфическом воспроизведении изображений технически достижимы колориметрическая и психологическая точность воспроизведения цвета. При этом, если позволяет цветовой охват оригинала, предпочтительно обеспечивать колориметрическую точность. В таком случае цвет изображения на оттиске будет визуально тождественен оригиналу. Визуальная тождественность цветов при различных спектральных составах излучений возможна благодаря такому свойству человеческого зрения, как метамерия цвета.

Колориметрическую точность репродукции можно количественно оценить по результатам выполнения цветовых измерений, т. е. определения цветовых координат измеряемого образца. Для количественной характеристики цвета широкое применение получила колориметрическая система $L^*a^*b^*$ [1, 5], которая обладает свойством равноконтрастности. Равноконтрастность колориметрической системы означает, что одинаковое изменение значений цветовых координат в разных областях трехкоординатного цветового пространства соответствует одинаковому изменению цвета, ощущаемому человеком. При этом следует отметить, что система $L^*a^*b^*$ не является идеально равноконтрастной. Но даже при наличии небольших отклонений в свойстве равноконтрастности в разных областях цветового пространства система $L^*a^*b^*$ широко используется на практике в полиграфии и других сферах человеческой деятельности для сравнения цветов по степени различия, а также нормирования и оценки точности цветопроизводства.

Существует несколько количественных показателей, характеризующих степень различия пары цветов. Одним из таких показателей, который используется в международных стандартах, регламентирующих допустимые цветовые отклонения от целевых значений, является количество порогов цветового различия ΔE_{ab}^* . Этот показатель вычисляется исходя из разницы цветовых координат L^* , a^* , b^* двух сравниваемых цветов по следующей формуле [5, с. 76; 6, с. 38]:

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

В частности, показателем ΔE_{ab}^* можно охарактеризовать отклонение цветов изображения, получаемых на экране монитора или материальном носителе, от номинальных цветов, заданных количественно в компьютерной системе обработки изображений.

Определение цветовых координат воспроизведенного цветного образца может осуществляться с помощью колориметров или спектрофотометров [1, 7]. При этом измерению подвергаются, как правило, цветные контрольные объекты, выводимые на экран монитора или печатаемые в виде прямоугольных полей в составе контрольных шкал на оттиске [8].

Упомянутые технические средства измерения цвета обеспечивают контроль цветопроизводства и тем самым позволяют количественно охарактеризовать особенности цветопередачи того или иного устройства. Для обеспечения же точности цветопроизводства изображений необходимо на этапе допечатной подготовки программно выполнять цветовые преобразования изобразительной информации с учетом особенностей цветопроизводства используемых устройств. Для решения этих задач на допечатной стадии нужно использовать следующие программные средства: 1) цветовые профили устройств ввода, отображения и вывода изобразительной информации, характеризующие их цветопроизводство; 2) систему управления цветом, собственно выполняющую цветовые преобразования.

Система управления цветом [5, 7] – это встроенный в операционную систему или приложение специализированный программный модуль, который выполняет преобразования цветов из одного цветового пространства в другое, например из цветового пространства RGB в цветовое пространство CMYK.

Преобразование цветов осуществляется с использованием цветовых профилей, которые характеризуют особенности цветопередачи того или иного устройства ввода / вывода информации (сканера, монитора, принтера). Широкое применение в компьютерных системах управления цветом получили ICC-профили [5, 9].

ICC-профиль – это технический файл, который устанавливает однозначное соответствие значений цветовых координат аппаратно-зависимой цветовой модели (RGB, CMYK) значениям цветовых координат колориметрической системы ($L^*a^*b^*$). В этом случае $L^*a^*b^*$ используется как центральное цветовое пространство при преобразованиях цветовых координат между аппаратно-зависимыми цветовыми моделями.

К профилям RGB-устройств относятся профили мониторов, сканеров, цифровых фотокамер и тех цветных принтеров, которые не поддерживают язык описания страниц PostScript. Также профилями RGB-типа может быть описана цветопередача цифровых устройств печати, использующих расширенный перечень базовых цветов и имеющих широкий цветовой охват. Помимо описания цветопередачи конкретных устройств ввода / вывода, практикуется использование профилей абстрактных RGB-устройств для нормализации цвета обрабатываемых RGB-изображений. В качестве примера можно привести профили, соответствующие цветовым пространствам sRGB, Adobe RGB [10, 11], которые сопоставляются с обрабатываемыми изображениями и таким образом позволяют решить проблему аппаратной зависимости цветовой модели RGB.

Профили CMYK-устройств – это профили цветных PostScript-принтеров, а также профили, характеризующие процесс традиционной печати с печатными форм красками голубого, пурпурного, желтого и черного цветов. Например, CMYK-профилями характеризуется цветопроизведение в плоской офсетной печати.

На основе современных стандартов, регламентирующих требования к качеству традиционных видов печати, в частности стандарта офсетной печати ISO 12647-2 [12], построены унифицированные цветовые профили печатного процесса. В них учитываются цветовые свойства печатных красок, градационные искажения на оттиске, метод генерации черного цвета (метод цветоделения).

В случае же цифровых устройств печати (принтеров, цифровых печатных машин) их цветовой охват не регламентируется стандартами, так как и перечень базовых цветов основных красителей, используемых в различных цифровых устройствах, и их колористические свойства могут заметно отличаться. Стандарты ISO 12647-7 [13, 14], ISO 12647-8 [14, 15], относящиеся к цифровой печати, содержат требования к точности цветопроизведения, выражающиеся допустимыми цветовыми отклонениями от номинальных цветовых координат, но не сами номинальные цветовые координаты. В этом случае для характеристики реального цветового охвата на оттиске и обеспечения точности цве-

товопроизведения требуется создавать персональные цветовые профили цифрового печатающего устройства в привязке к используемому типу бумаги.

Специализированное программное обеспечение, создающее цветовые профили по результатам аппаратных измерений цветных контрольных образцов, может отличаться по функциональности. Существуют программно-аппаратные комплексы, позволяющие создавать цветовые профили печатающих устройств только RGB-типа. В то же время есть и более функциональные программные средства, формирующие профили печатающих устройств на базе цветовых моделей RGB, CMYK, а также многокоординатных цветовых моделей. При этом менее функциональные программно-аппаратные средства создания профилей RGB-типа более доступны с экономической точки зрения, а результаты их работы могут быть применимы и к CMYK-устройствам. В последнем случае при использовании профилей RGB-типа можно предложить рассматривать CMYK-устройство как «черный ящик», на вход которого поступает информация о цвете в цветовой модели RGB, а преобразование числовых данных RGB в CMYK происходит внутри «черного ящика» по неизменному алгоритму. Конечно, при таком подходе будет сложнее обеспечить полиграфическое воспроизведение безрастровых однородных цветовых областей, образованных 100%-ными первичными цветами модели CMYK, но при решении задачи воспроизведения фотоизображений и художественных иллюстраций с тоновыми деталями предложенный подход может быть вполне эффективным.

При ограниченном доступе к настройкам системы управления цветом цифрового печатающего устройства или отсутствию у программного обеспечения устройства соответствующих функций можно выполнить необходимые цветовые преобразования изображений с использованием RGB-профиля средствами графического редактора, например Adobe Photoshop. В этом случае для учета особенностей цветопередачи принтера в графической программе предварительно выполняется корректировка аппаратно-зависимых цветовых координат RGB-изображения путем преобразования изображения из унифицированного цветового пространства, например sRGB, в цветовое пространство принтера, описываемое RGB-профилем. Такой подход был реализован на практике применительно к цифровой струйной печати. В качестве печатающего устройства выступал 6-цветный струйный принтер Epson Stylus Photo 1410. Печать осуществлялась на матовой фотобумаге Lomond. Для цветового профилирования принтера использовался программно-аппаратный комплекс

Datacolor Spyder 3 Studio SR, включающий в себя программное обеспечение для создания RGB-профилей устройств печати и спектроколориметр SpyderPRINT. В результате проведения эксперимента был создан цветовой профиль принтера, а затем выполнены цветовые преобразования тестовых RGB-изображений в Adobe Photoshop и их печать.

Для оценки достигнутой точности цветопроизведения образцы печати были подвергнуты колориметрическому контролю. Номинальные значения цветовых координат контрольных полей, результаты измерений контрольных полей на оттиске и степень цветового различия результатов печати от номинальных значений приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты воспроизведения цветных контрольных полей

Цвет поля	Координаты цвета			Цветовое различие ΔE^*_{ab}
	L^*	a^*	b^*	
Номинальные значения				
Голубой	86	-27	-9	0
Пурпурный	64	40	-24	0
Желтый	91	-12	82	0
Красный	55	67	51	0
Зеленый	79	-45	48	0
Синий	49	16	-45	0
Печать без цветовых преобразований				
Голубой	81,7	-27,2	-14,3	6,8
Пурпурный	60,8	43,9	-21,5	5,6
Желтый	91,5	-6,0	88,0	8,5
Красный	49,2	70,7	37,8	14,9
Зеленый	76,2	-44,7	36,4	11,9
Синий	43,8	-8,7	-53,8	26,8
Среднее значение ΔE^*_{ab}				12,4
Печать с цветовыми преобразованиями				
Голубой	82,9	-26,3	-8,7	3,2
Пурпурный	61,3	37,4	-24,3	3,7
Желтый	89,1	-12,7	81,1	2,2
Красный	52,6	65,8	47,2	4,7
Зеленый	76,8	-43,7	41,1	7,3
Синий	51,5	11,3	-42,2	6,1
Среднее значение ΔE^*_{ab}				4,5

Значения ΔE^*_{ab} , характеризующие степень цветового различия, были рассчитаны исходя из номинальных значений цветовых координат L^* , a^* , b^* , соответствующих ICC-профилю, и значений, соответствующих оттиску. Значения ΔE^*_{ab} , рассчитанные по цветным контрольным полям оттиска, в среднем составили 4,5. Для ахроматических контрольных полей среднее значение

ΔE^*_{ab} оказалось еще ниже – 3,0. Аналогичная оценка результатов печати без выполнения цветных преобразований на основе ICC-профилей показала существенно большие отклонения: $\Delta E^*_{ab} = 12,4$ для цветных полей и $\Delta E^*_{ab} = 11,4$ для ахроматических полей.

Таблица 2

Результаты воспроизведения ахроматических контрольных полей

Значение тона, %	Координаты цвета			Цветовое различие ΔE^*_{ab}
	L^*	a^*	b^*	
Номинальные значения				
20	84	0	0	0
40	67	0	0	0
50	57	0	0	0
60	47	0	0	0
80	25	0	0	0
Печать без цветовых преобразований				
20	86,4	-1,3	-4,2	5,0
40	72,4	-3,9	-4,3	7,9
50	65,7	-5,5	-4,6	11,3
60	57,5	-7,3	-5,6	13,9
80	32,3	-12,7	-11,7	18,7
Среднее значение ΔE^*_{ab}				11,4
Печать с цветовыми преобразованиями				
20	81,5	-1,6	-0,7	3,1
40	65,8	-2,6	0,1	2,9
50	57,3	-1,7	-0,3	1,8
60	48,3	-1,3	-1,1	2,1
80	29,7	-1,5	-0,9	5,0
Среднее значение ΔE^*_{ab}				3,0

Сопоставляя результаты колориметрической оценки контрольных шкал, можно констатировать, что использование цветового профиля RGB-типа для описания особенностей цветопередачи струйного печатающего устройства позволило уменьшить цветовые искажения на оттиске в несколько раз.

Заключение. Цвет является важным атрибутом воспроизведения изобразительной информации. Возможность инструментальной оценки воспроизводимых цветов позволяет количественно охарактеризовать особенности цветопередачи используемых устройств ввода / вывода изобразительной информации в виде цветовых профилей. Применение программно-аппаратных средств цветового профилирования и выполнение цветных преобразований на допечатной стадии позволяют существенно повысить точность воспроизведения цвета в печатном процессе.

Список литературы

1. Шашлов Б. А. Цвет и цветопроизводство. М.: Мир книги, 1995. 316 с.
2. Теория цвета и цветопроизводства / С. М. Назарбаева [и др.]. Алматы: Дзуир, 2014. 224 с.
3. Нюберг Н. Д. Теоретические основы цветной репродукции. М.: Советская наука, 1948. 176 с.

4. Артюшина И. Л., Винокур А. И., Митрякова О. Л. Улучшение точности цветовоспроизведения на этапе цифровой регистрации оригинала // Вестник научно-технического развития. 2019. № 8 (144). С. 3–11.
5. Домасев М. В., Гнатюк С. П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. СПб.: Питер, 2009. 224 с.
6. Горбунова Е. В., Чертов А. Н. Типовые расчеты по колориметрии источников излучения. СПб.: Университет ИТМО, 2014. 90 с.
7. Самарин Ю. Н., Сапошников Н. П., Синяк М. А. Допечатное оборудование. М.: МГУП, 2000. 200 с.
8. Сипайло С. В., Болобосова А. А. Система тест-объектов для оценки качества цифровой печати // Эпоха науки. 2022. № 31. С. 29–33.
9. Филд Г. Фундаментальный справочник по цвету в полиграфии. М.: ЦАПТ, 2007. 376 с.
10. Черевань Л. В., Тозик В. Т. Оценка возможности экранной репродукции насыщенных пигментов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 1 (89). С. 123–129.
11. Пухова Е. А., Вервейко А. Ю. Сопоставление цветовых охватов изображений из фотобанков с цветовыми охватами печатных процессов с целью выявления проблемных цветов при использовании таких оригиналов // Вестник Московского государственного университета печати. 2012. № 12. С. 47–52.
12. Сартаков М. ISO 12647-2:2013: глобальные перемены // PrintBusines. 2014. № 6. С. 30–37.
13. Гурьева Н. С., Кулишова Н. Е. Особенности построения контрактной цветопробы при работе с RGB-output устройствами // Вестник НТУ «ХПИ». Информатика и моделирование. 2008. № 49. С. 42–50.
14. Солонец В. И., Ваганов В. В., Мовчан А. В. Проблемы стандартизации в цифровой печати // Вестник Московского государственного университета печати. 2013. № 9. С. 120–126.
15. Пашкова О. В. Стандартизация печатных процессов // Вестник Московского государственного университета печати. 2011. № 11. С. 182–185.

References

1. Shashlov B. A. *Tsvet i tsvetovosproizvedeniye* [Color and color reproduction]. Moscow, Mir knigi Publ., 1995. 316 p. (In Russian).
2. Nazarbaeva S. M., Surashov N. T., Vavilov A. V., Elemen D. E. *Teoriya tsveta i tsvetovosproizvedeniya* [Theory of color and color reproduction]. Almaty, Deuir Publ., 2014. 224 p. (In Russian).
3. Nyuberg N. D. *Teoreticheskiye osnovy tsvetnoy reproduksii* [Theoretical foundations of color reproduction]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1948. 176 p. (In Russian).
4. Artyushina I. L., Vinokur A. I., Mitryakova O. L. Improving the accuracy of color reproduction at the stage of digital registration of the original. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya* [Bulletin of scientific and technical development], 2019, no. 8 (144), pp. 3–11 (In Russian).
5. Domasev M. V., Gnatyuk S. P. *Tsvet, upravleniye tsvetom, tsvetovyye raschety i izmereniya* [Color, color management, color calculations and measurements]. St. Petersburg, Piter Publ., 2009. 224 p. (In Russian).
6. Gorbunova E. V., Chertov A. N. *Tipovyye raschety po kolorimetrii istochnikov izlucheniya* [Typical calculations for the colorimetry of radiation sources]. St. Petersburg, Universitet ITMO Publ., 2014. 90 p. (In Russian).
7. Samarina Ju. N., Saposhnikov N. P., Sinyak M. A. *Dopechatnoye oborudovaniye* [Prepress equipment]. Moscow, MGUP Publ., 2000. 200 p. (In Russian).
8. Sipailo S. U., Bolobosova A. A. A system of test objects for assessing the quality of digital printing. *Epokha nauki* [Age of Science], 2022, no. 31, pp. 29–33 (In Russian).
9. Fild G. *Fundamental'nyy spravochnik po tsvetu v poligrafii* [Fundamental guide to color in printing]. Moscow, TsAPT Publ., 2007. 376 p. (In Russian).
10. Cherevan' L. V., Tozik V. T. Reliability estimation for screen reproduction of saturated pigments. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics], 2014, no. 1 (89), pp. 123–129 (In Russian).
11. Pukhova E. A., Verveiko A. Ju. Comparison of color gamuts of images from photo banks with color gamuts of printing processes in order to identify problem colors when using such originals. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta pechati* [Bulletin of the Moscow State University of Printing], 2012, no. 12, pp. 47–52 (In Russian).
12. Sartakov M. ISO 12647-2:2013: global changes. *PrintBusines* [PrintBusines], 2014, no. 6, pp. 30–37 (In Russian).
13. Gurieva N. S., Kulishova N. E. Particularities of the building contract color proof relative to RGB-output devices. *Vestnik NTU "KhPI"* [Herald of the National Technical University "KhPI"], series Information Science and Modelling, 2008, no. 49, pp. 42–50 (In Russian).

14. Solonets V. I., Vaganov V. V., Movchan A. V. Problems of standardization in digital printing. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta pechaty* [Bulletin of the Moscow State University of Printing], 2013, no. 9, pp. 120–126 (In Russian).

15. Pashkova O. V. Standardization of printing processes. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta pechaty* [Bulletin of the Moscow State University of Printing], 2011, no. 11, pp. 182–185 (In Russian).

Информация об авторе

Сипайло Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: svsip@yandex.by

Information about the author

Sipaila Siarhei Uladzimiravich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svsip@yandex.by

Поступила 11.09.2023