

УДК 655.001

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ НА ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА

© Н. С. Гурьева, ХНУРЭ, Харьков, Украина

**У роботі розглянуто процес апаратно-незалежного кольоровідтворення, проведено моделювання реальних умов перегляду, розраховано координати кольору і кольоровості для об'єктів, що самі світяться (люмінесцентне і змішане освітлення у супермаркетах).**

**There was considered the process of device-independent color imaging, there was carried out modeling the real viewing condition, color coordinates of primaries for artificial lighting of the supermarkets was computed.**

### Введение

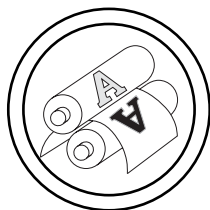
Цвет — это ощущение, которое возникает в сознании человека при воздействии на его зрительный аппарат электромагнитного излучения (с длиной волны от 380 до 760 нм). При рассмотрении процесса цвето-воспроизведения печатной полиграфической продукции для предсказуемого воспроизведения цветов необходимо учитывать следующие факторы: особенности восприятия цвета зрительной системой человека, спектральные характеристики полиграфических красок, отражательную способность подложки, условия просмотра.

В данной работе исследуется влияния одного из вышеперечисленных факторов — условий просмотра при рассматривании полиграфической продукции.

Наилучшими условиями освещения для визуальной оценки *цветопередачи* являются конечные условия, в которых в итоге будет рассматриваться тот или иной продукт. В тех случаях, ког-

да такие условия известны и воспроизводимы, большинство специалистов, безусловно, согласятся использовать их для оценки и сравнения. Однако необходимо, чтобы эти условия были оговорены и описаны заранее, поскольку они не определены ISO-стандартом [1].

Сам термин «цветопередача» отражает влияние различных источников освещения на цветовое восприятие объектов. К примеру: два источника могут иметь почти одну и ту же цветность, но первый источник — это источник естественного белого дневного света, а другой — флуоресцентный двухлюминофорный светильник, в котором узкоспектральные потоки смешиваются для получения почти такого же белого. Несмотря на то, что цветовое ощущение, вызываемое обоими источниками, практически одинаково, результат цветового восприятия освещенных ими объектов будет принципиально разным [2].



## ТЕХНОЛОГИЧНІ ПРОЦЕСИ

### Аппаратно-независимое цветовоспроизведение

При аппаратно-независимом цветовоспроизведении для учета изменений точки белого устройства, уровня освещения, окружения, носителя используются модели цветового восприятия.

Внедрение моделей восприятия в работу цветовоспроизводящих систем позволяет настроить их так, что можно контролировать процесс визуализации на каждой его стадии, то есть сохранять восприятие элементов изображения или целенаправленно управлять им. К примеру, пользователи, глядя на изображение, воспроизведенное экраном монитора, манипулируют им по своему усмотрению, а затем при участии той или иной модели цветового восприятия выводят отпечатки, по восприятию воспроизводящие оригинал, отображенный на экране монитора.

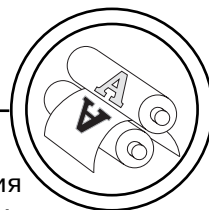
На рис. 1 дана общая схема процесса аппаратно-независимого

цветовоспроизведения: на входе — оригинал изображения, представленное неким устройством ввода. Колориметрическая характеристика устройства ввода позволяет выполнить преобразование аппаратных координат (например, RGB) в колориметрические координаты (такие, как CIE XYZ или CIELAB), которые принадлежат т.н. аппаратно-независимому цветовому пространству (device-independent color space), т.е. пространству, в котором колориметрические координаты не зависят от какого-либо специфического устройства цветовоспроизведения. Следующий этап — учет информации об условиях просмотра оригинального изображения и применение к колориметрическим данным процедуры учета смены хроматической адаптации и/или модели цветового восприятия. Последнее выполняется с целью преобразования XYZ-значений в размерности, коррелирующие с атрибутами



Рис. 1. Схема процесса аппаратно-независимого цветовоспроизведения

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



восприятия (светлотой, цветовым тоном и насыщенностью).

По выполнении такого преобразования цветовые координаты отражают влияние на восприятие специфики устройства и условий просмотра, то есть они принадлежат т.н. *просмотро-независимому пространству* (viewing-conditions-independent space). На данной стадии процесса изображение описывается исключительно его изначальным восприятием, и эта стадия более всего подходит для манипуляции цветами изображения (если в таковых есть необходимость). Манипуляции эти могут представлять собой компрессию охвата, цветокоррекцию, управление тонопередачей, пространственные операции, подавление шумов и пр. Отметим, что на данном этапе атрибуты цветового восприятия элементов изображения принимают свои окончательные значения.

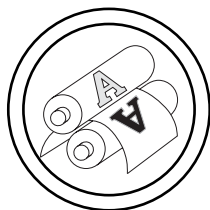
Далее начинается обратный процесс. Условия просмотра выходного изображения (наряду с окончательными данными о его восприятии) используются для инверсии модели цветового восприятия с целью обратного преобразования от просмотро-независимого пространства к пространству аппаратно-независимому, например, пространству CIE XYZ-значений. Последние на основе данных колориметрической характеристики выводного устройства преобразовываются в аппаратные координаты (например, СМУК), необходимые для воспроизводства стимулов желаемого выходного изображения.

Программная реализация процесса аппаратно-независимого цветовоспроизведения — система управления цветом, включает в себя следующие компоненты: Color Management Module модуля, производящего конвертацию между цветовыми пространствами, ICC-профилей, пространства связи профилей Profile Connection Space и алгоритмов преобразования цветовых охватов Rendering Intents.

### *Условия просмотра*

С тех пор как началось активное внедрение технологии управления цветом в полиграфию, вопросы правильного подбора освещения и проблема метамерии при оценке печатной продукции приобрели особое значение. В результате целый ряд компаний (GretagMacbeth, GTI, DataColor, VeriVide, Just Normlicht) занимаются поставкой на полиграфический рынок специальных устройств для визуальной оценки оттисков при различном освещении — просмотровых камер. Для количественной оценки цветовых характеристик оттиска используют спектрофотометры, которые также при помощи программно-аппаратных средств могут имитировать различные стандартные условия освещения при измерении спектральных характеристик и преобразовании их в цветовые координаты.

Как правило, просмотровые камеры и спектрофотометры имеют большие возможности в моделировании освещения и позволяют имитировать следующие стандартные источники излучения [2]:



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

1. Источники освещения А, В и С (были стандартизированы в 1931 году):

— источник А — лампа накаливания с температурой 2865 К;

— источники В и С моделируют дневной свет — источник В с коррелированной цветовой температурой около 4870 К моделирует дневное освещение рассеянным и прямым солнечным светом, источник С с цветовой температурой 6774 К моделирует усредненное дневное освещение;

2. Источники освещения D (были стандартизированы в 1964 году с целью более точного моделирования солнечного освещения):

— D50 — вольфрамовая галогенная лампа с температурой 5000 К, соответствующей полуденному свету;

— D65 — вольфрамовая галогенная лампа с температурой 6504 К, соответствующей равномерному дневному освещению;

— D75 — вольфрамовая галогенная лампа с температурой 7500 К, соответствующей яркому дневному свету;

3. Источники излучения F (применяются для моделирования люминесцентных ламп с различными спектральными характеристиками):

— F2 (CWF) — широкополосная флуоресцентная лампа с температурой 4150 К;

— F11 (TL84) — узкополосная флуоресцентная лампа с температурой 4000 К.

— F12 — узкополосная флуоресцентная лампа с температурой 3000 К.

Указанный набор источников излучения позволяет учитывать метамеризм при естественном освещении, характерном для различного времени суток, и при полностью искусственном освещении люминесцентными источниками. Однако, использование просмотровых камер и спектрофотометров не стало пока общей практикой. Кроме того, применение стандартизованных спектров источников освещения не в полной мере обеспечивает точную цветопередачу. К сожалению, конечный потребитель крайне редко рассматривает полиграфическую продукцию в свете источника, близкого к какому-либо стандартному осветителю CIE. То есть реальные условия освещения не соответствуют стандартным, и существенно искажают цвета изображений (или иных цветных объектов) при восприятии.

### *Моделирование реальных условий просмотра*

Для подтверждения необходимости учета «реальных» условий наблюдения было проведено исследование отличия нескольких цветов в координатах CIELAB, вычисленными с использованием стандартного CIE-осветителя D50 (используемого по умолчанию при работе системы управления цветом), с теми же цветами, рассчитанными с учетом фактических условий просмотра.

В данной работе исследован ряд спектров освещения — искусственные люминесцентные источники освещения в магазинах, естественное дневное ос-

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

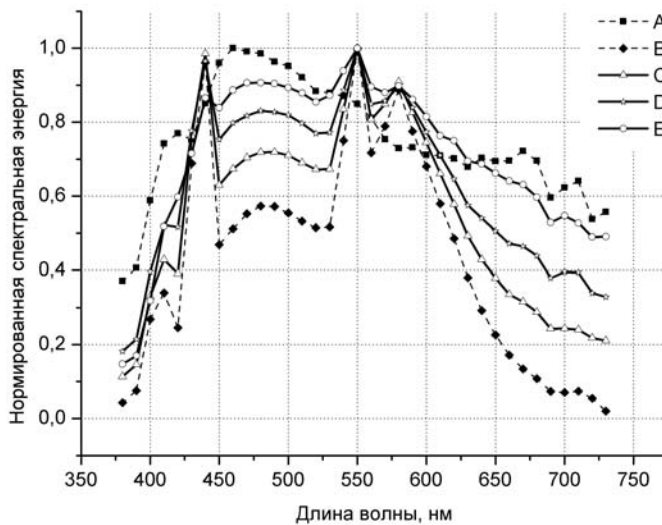
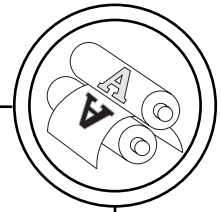


Рис. 2. Измеренные спектры излучения А — естественное освещение — экв. D65; В — люминесцентное освещение витрин — экв. F1; С, D, E — смешанное освещение с различной долей люминесцентного и естественного освещения

вещение, смешанные типы освещения (люминесцентное освещение витрин + естественный дневной свет).

При анализе приведенных в работе спектральных характеристик смешанного освещения (графики С, D, E; рис. 2) были установлены доли спектров базовых источников излучения (графики А, В; рис. 2) в суммарном спектре. Предполагалось, что спектр смешанного излучения является линейной комбинацией базовых спектров и может быть описан следующим уравнением:

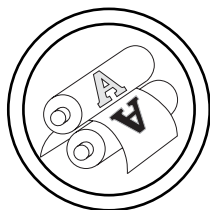
$$Y(\lambda)_{\text{смеш}} = a \cdot Y(\lambda)_{\text{естеств}} + b \cdot Y(\lambda)_{\text{искусств}} \quad (1)$$

Для случая С весовые коэффициенты  $a$  и  $b$  в уравнении (1) составляют 0,18 и 0,9 соответственно и были найдены итера-

ционным методом. Максимальное отклонение рассчитанных спектров от практически измеренных составляет 7 %.

Далее спектральные коэффициенты отражения шести различных патчей, выполненных цифровым фотопринтером Epson Stylus Pro 4880, были измерены и использованы для вычисления CIELAB-координат с использованием спектра стандартного осветителя D50 и спектра фактического смешанного освещения (спектральное распределение рис. 2 случай С). Результат сравнения приведен в таблице 1.

Таким образом, условия освещения вносят существенные искажения при восприятии цвета, а также было установлено, что моделирование реальных условий освещения возможно



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

Таблица 1

СIELAB-координаты и отклонения Eab для полей, рассчитанных с использованием спектра D50 и фактического смешанного освещения

Образец	Lab-координаты, D50			Lab-координаты, фактическое освещение			Eab
Голубой	52,62	-34,13	-48,67	52,3	-21,4	-49,22	12,74
Малиновый	46,25	70,57	-2,19	43,38	67,38	-10,51	8,94
Желтый	86,67	-3,09	94,41	86,59	-8,93	96,84	6,32
Синий	22,22	22,71	-42,87	21,86	28,88	-45,38	6,66
Красный	44,78	65,16	46,39	41,64	58,34	40,36	9,10
Зеленый	47,85	-64,11	25,91	47,63	-60,38	27,49	4,05
Среднее отклонение							7,9

путем линейной комбинации стандартных источников излучения.

*Исследование точности имитации CIE-осветителя D50 в просмотровых кабинах*

Также в работе были исследованы отличия между цветами, вычисленными с использованием CIE-осветителя, и теми же цветами, воспринимаемыми в

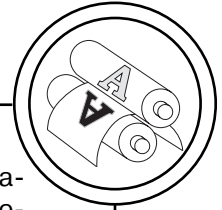
свете источника просмотровой кабины (имитирующего стандартный осветитель D50). Результат сравнения приведен в таблице 2, спектральные коэффициенты отражения шести патчей были измерены и использованы для вычисления CIELAB-координат с использованием стандартного осветителя CIE D50 и фактического спектра флуоресцентных ламп просмотр-

Таблица 2

СIELAB-координаты и отклонения Eab для полей, рассчитанных с использованием спектра D50 и флуоресцентных ламп просмотровой кабины

Образец	Lab-координаты, D50			Lab-координаты, флуоресцентные лампы			Eab
Голубой	52,62	-34,13	-48,67	52,38	-30,27	-49,05	3,87
Малиновый	46,25	70,57	-2,19	46,00	71,38	-6,03	3,92
Желтый	86,67	-3,09	94,41	86,86	-4,93	95,85	2,33
Синий	22,22	22,71	-42,87	22,06	25,77	-44,97	3,71
Красный	44,78	65,16	46,39	44,55	64,74	45,35	1,12
Зеленый	47,85	-64,11	25,91	47,93	-63,35	27,14	1,44
Среднее отклонение							2,7

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



ровой кабины Just Normlicht Proof Top Multi 5000, имитирующих D50-осветитель.

Как видно из таблицы среднее отклонение между стандартным осветителем, использованным для вычислений, и фактическим источником света, используемым для наблюдения  $E_{ab}^* = 2,7$ . Такая величина отличий примерно соответствует величине цветовых отличий между стандартным наблюдателем CIE и конкретным человеком, оценивающим результат. Отличия между отдельными наблюдателями могут быть весьма выраженными: считается, что при цветовоспроизведении среднее отклонение CIELAB  $E_{ab}$  между визуально одинаковыми стимулами для разных наблюдателей приблизительно равно 2,5 с максимально возможным разбросом до 20 единиц.

Итак, отклонение между стандартным осветителем, использованным для вычислений, и фактическим источником света, используемым для наблюдения можно учесть за счет использования при колориметрических

вычислениях спектрального распределения энергии фактического просмотрового источника, однако цветовые отличия между стандартным наблюдателем CIE и конкретным человеком — это принципиальное ограничение колориметрии (неизбежное следствие любого усреднения), которое невозможно устранить.

### Выводы

Приведенные в работе спектральные характеристики показывают, что реальные условия освещения не соответствуют стандартным и существенно влияют на восприятие цвета. Рассчитанные координаты цветности и точки белого для самосвещающихся объектов — люминесцентное и смешанное освещение в супермаркетах, спектр люминесцентных ламп просмотровой кабины — использованы для имитации реальных условий просмотра при расчете координат CIELAB. Эти данные могут быть использованы в дальнейшем при расчете хроматической адаптации в профилях отображения и вывода.

1. Международный стандарт ISO 3664: 2000. Условия просмотра — полиграфия и фотография. Перевод А. Шадрина. 2. Mark D. Fairchild. Color Appearance Models Addison Wesley Longman, 1998. 3. R. W. G. Hunt. The Reproduction of Colour. Fountain Press, Kingston-upon-Thames, UK, 5-th edition, 1995. 4. Gaurav Sharma. The Digital Color Imaging Handbook. CRC Press, New York, 2003. — 764 p. 5. Michael DiCosola. Understanding Illuminants. X-Rite World Headquarters, 1995.

Рецензент — В. П. Ткаченко, к.т.н.,  
профессор, ХНУРЕ

Надійшла до редакції 16.09.08