

ЦИФРОВОЕ КОДИРОВАНИЕ ЦВЕТА

К.х.н. Г.Н. Варсеев, М.В. Крылова, ген. директор ООО «ПроХим»

ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА

Цвет — это достаточно субъективное понятие. Восприятие цвета определяется спектральным составом электромагнитного излучения, цветовым и яркостным контрастом с окружающими предметами или освещением, а также индивидуальными особенностями человека. Общие для всех особенности в восприятии цвета обусловлены строением зрительного аппарата человека. В сетчатке человека содержатся два типа светочувствительных клеток (фоторецепторов): высокочувствительные палочки и менее чувствительные колбочки. Палочки, которые отвечают за ночное зрение, функционируют в условиях низкой освещенности и обеспечивают восприятие различных оттенков серого цвета. Колбочки работают при высокой освещенности и ответственны за механизм дневного зрения, отличительной особенностью которого является способность различать цвета. Чувствительность палочек и колбочек к световому потоку в зависимости от длины волны описывается кривыми спектральной чувствительности человеческого глаза (рис. 1), при этом максимум цветового восприятия приходится приблизительно на 550 нм.

Из анализа этих кривых следует, что человек очень хорошо способен воспринимать зеленые и зелено-желтые цвета, в то время как его чувствительность к синим и красным цветам заметно ниже. В сумерках, когда чувствительные к яркому световому излучению колбочки начинают терять свою эффек-

тивность, максимум спектральной световой эффективности несколько смещается в сторону синих излучений (палочковое зрение) и располагается на 510 нм. Поскольку при удалении от точки максимума чувствительность падает до нуля постепенно, указать точные границы спектрального диапазона видимого излучения невозможно. Обычно в качестве коротковолновой границы принимают участок 380–400 нм, а в качестве длинноволновой — 760–780 нм. Таким образом, диапазон электромагнитного излучения в этой области принято называть видимым светом.

Заметно, что цвета видимого диапазона, начинаясь с красного и проходя через оттенки противоположные красному (зеленый, циан), затем переходят в фиолетовый цвет, снова приближающийся к красному. Такая близость видимого восприятия фиолетового и красного цветов связана с тем, что частоты, соответствующие фиолетовому спектру, приближаются к частотам, превышающим частоты красного ровно в 2 раза. Но сами эти последние указанные частоты находятся уже вне видимого спектра, поэтому мы не видим перехода от фиолетового снова к красному цвету, как это происходит в цветовом круге, в который включены несpekтральные цвета и где присутствует переход между красным и фиолетовым через пурпурные оттенки (рис. 2). Мозг человека воспринимает комбинированную информацию от разных рецепторов, что обеспечивает различное восприятие света с разной длиной волны. Именно поэтому мозг может воспринимать цвета, которых нет в спек-

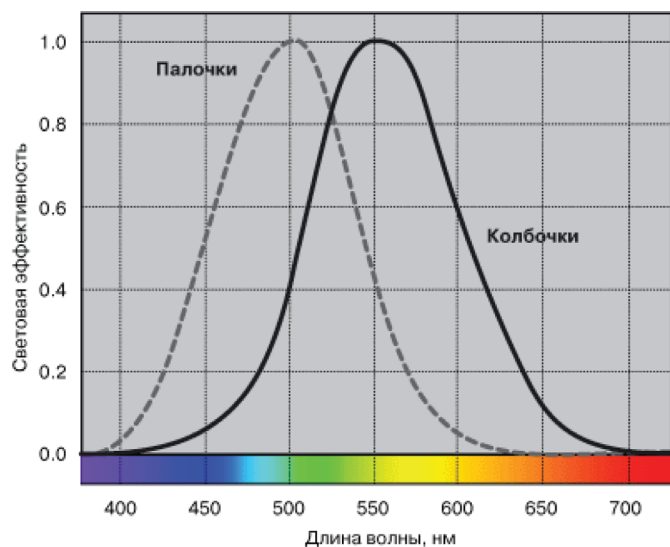


Рис. 1. Спектральная чувствительность палочек и колбочек



Рис. 2. Цветовой круг

тре видимого излучения, например, пурпурный или маджента, и которые образуются путем смешения других цветов.

Основная задача цветовых моделей — унифицировано задавать цвета. По сути, цветовые модели задают определенные системы координат, которые позволяют однозначно определить цвет. Наиболее популярными на сегодняшний день являются следующие цветовые модели: RGB (используется в основном в мониторах и камерах), CMY(K) (используется в полиграфии), HSB (широко используется в машинном считывании и дизайне). Существует множество других моделей, например, CIE XYZ, YCbCr и др., но по сути это незначительные видоизменения нескольких основных цветовых моделей, которые мы рассмотрим в этой статье.

ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА В МОДЕЛИ RGB

Светочувствительные рецепторы человека, колбочки, подразделяются на три типа в зависимости от того, к излучению какого спектрального состава они чувствительны, и обозначаются греческими буквами β (бета), γ (гамма) и ρ (ро). Первый тип (β) имеет максимум чувствительности к световым волнам с длиной от 400 до 500 нм (условно — «синяя» составляющая спектра), второй (γ) — к световым волнам от 500 до 600 нм (условно — «зеленая» составляющая спектра) и третий (ρ) — к световым волнам от 550 до 700 нм (условно — «красная» составляющая спектра). В зависимости от того, световые волны какой длины и интенсивности присутствуют в спектре света, те или иные группы колбочек возбуждаются сильнее или слабее.

С такой особенностью человеческого зрения связано явление метамерии, когда два цвета, имеющие разные спектральные распределения, будут казаться одинаковыми за счет одинакового суммарного возбуждения глазных рецепторов. Человеческое зрение является трехстимульным анализатором, т.е. спектральные характеристики цвета выражаются всего в трех значениях. Если сравниваемые потоки излу-

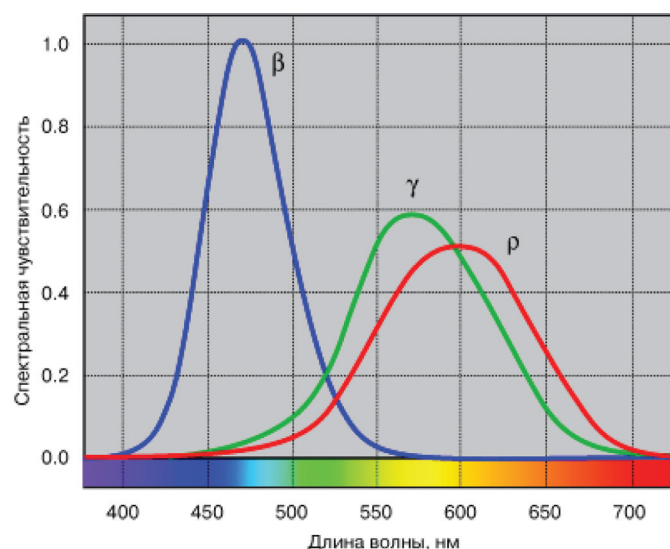


Рис. 3. Светочувствительность различных типов колбочек



Рис. 4. Аддитивность базовых цветов в модели RGB

чения с разным спектральным составом одинаково воздействуют на колбочки, цвета воспринимаются как одинаковые. На метамерии основано воспроизведение цвета в полиграфии, фотографии, кино, телевидении, живописи. Благодаря ей из смеси разных по характеристикам спектрального поглощения наборов пигментов (или разных по спектру излучения наборов люминофоров в случае с телевизорами и мониторами) могут быть составлены цвета, воспринимаемые глазом как одинаковые.

В цветовой модели **RGB** выбор базовых цветов (красный, зеленый и синий) обусловлен особенностями физиологии восприятия цвета сетчаткой человеческого глаза. **RGB** модель очень удобна для технической реализации в устройствах, которые излучают свет (мониторы и проекторы). Модель RGB называется аддитивной потому, что цвета получаются путем добавления (англ. *addition*) к черному цвету. Иначе говоря, если цвет экрана, освещенного цветным прожектором, обозначается в **RGB** как (r_1, g_1, b_1) , а цвет того же экрана, освещенного другим прожектором, — (r_2, g_2, b_2) , то при освещении двумя прожекторами цвет экрана будет обозначаться как $(r_1+r_2, g_1+g_2, b_1+b_2)$.

МОДЕЛЬ CMY(K)

В полиграфии и цветной печати, поскольку бумага и прочие печатные материалы являются поверхностями, отражающими свет, создание цвета связано не с добавлением базовых цветов к черному, а с вычитанием определенного спектрального диапазона из белого цвета. Таким образом, если вычесть из белого три первичных цвета **RGB**, мы получим тройку дополнительных цветов **CMY** (Cyan, Magenta, Yellow). Смешивание этих трех цветов в равной пропорции теоретически должно давать черный цвет, однако в реальности при смешивании этих типографских красок получается цвет, отличающийся от черного или серого. Так как чистота и насыщенность черного цвета, а также стабильность оттенка нейтральных (серых) областей чрезвычайно важны в пе-

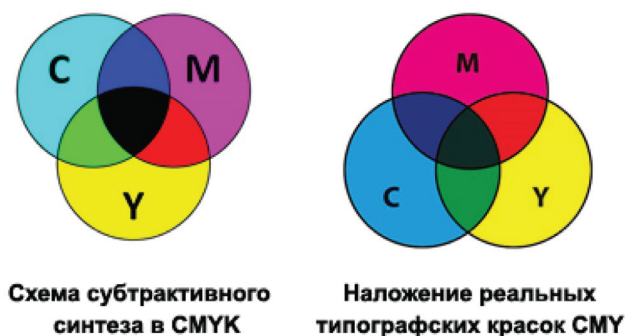


Рис. 5. Наложение красок в модели CMY

чатном процессе, был введен еще один цвет **К** (key), или ключевой цвет, задающий тон нейтральных оттенков. Обычно это черный цвет. В качестве нейтрального черного пигмента обычно используется сажа, низкая стоимость которой позволяет снизить себестоимость печати.

Каждое из чисел, определяющее цвет в CMYK, представляет собой процент краски данного цвета, составляющей цветовую комбинацию. Например, для получения цвета «хаки» следует смешать 30 частей голубой краски, 45 частей пурпурной, 80 желтой и 5 черной. Это можно обозначить следующим образом: 30,45,80,5 или C30M45Y80K5. Важно отметить, что числовое значение краски в CMYK не может само по себе описать цвет. На практике реальный цвет будет сильно зависеть от технологии печатного процесса, а также от свойств поверхности, на которую наносится краска. Кроме того, цветовой охват CMYK значительно более узок, чем весь спектральный диапазон, воспринимаемый человеком, так как с помощью смешивания типографских красок CMYK физически невозможно его воссоздать, особенно очень яркие и насыщенные цвета.

Эти особенности модели CMYK привели к тому, что производители красок не могут ее использовать для обозначения своих палитр. Таким образом, они создали свои палитры и цифровые кодировки для них. Существует две основных системы для обозначения цвета красок: германская система RAL и американская система PANTONE. Каждая из них использует, как правило, четырехзначный код для обозначения цвета, а также приставку, обозначающую на какой поверхности нанесена краска. Цветовая па-

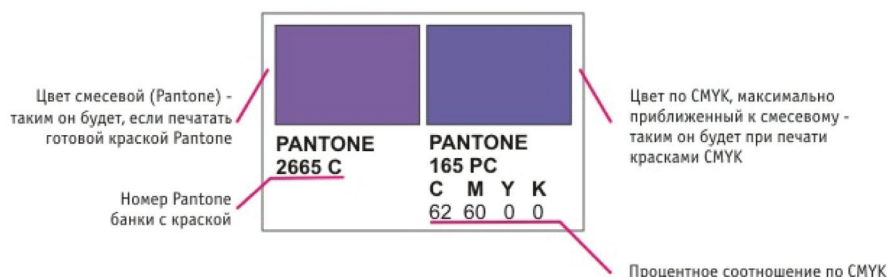


Рис. 6. Невозможность точного соответствия красок CMYK и PANTONE

литра RAL содержит 213 классических цветов, цветовой веер PANTONE может содержать более 1000 различных цветов и оттенков. На рисунке 6 изображен цвет краски № 2665 в системе PANTONE, которой только приблизительно можно сопоставить цвет в модели CMYK.

Важно отметить, что числовое значение в модели RGB или CMYK не может само по себе описать цвет. Цифры— это лишь набор аппаратных данных, используемых в печатном процессе для формирования изображения. В случае с отраженным или проходящим через прозрачные оригиналы светом ощущение одинакового цвета при использовании разных наборов пигментов зависит и от окружающего освещения. Из-за этого два образца, воспринимающиеся одинаково при дневном свете, могут различаться на глаз при искусственном освещении и наоборот. Для сопоставления данных RGB или CMYK с реальными цветами

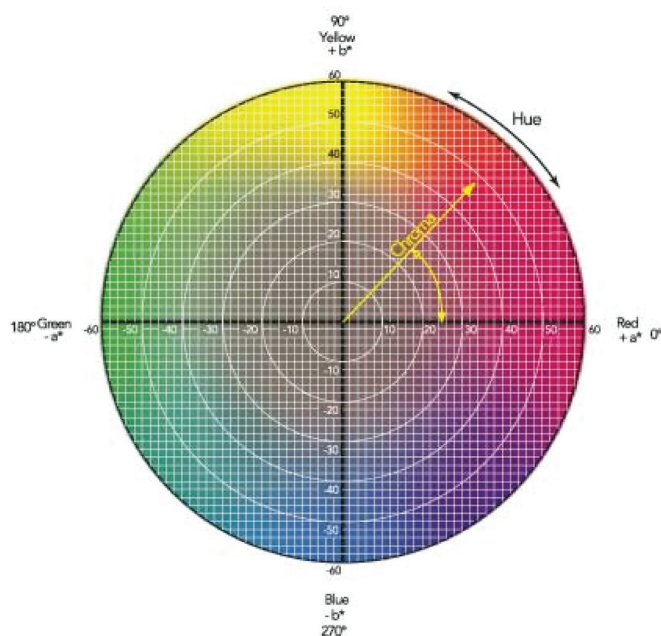


Рис. 7. Горизонтальный срез модели LAB

используют системы пересчета (профили), различные для каждого типа устройства вывода изображения.

МОДЕЛИ LAB И HSV

Рассмотренные ранее цветовые модели RGB и CMY(K) весьма просты в плане аппаратной реализации, но у них есть один существенный недостаток. Человеку очень тяжело оперировать цветами, заданными в этих моделях, т.к. человек, описывая цвета, пользуется не содержанием в описываемом цвете базовых составляющих, а несколькими иными категориями.

Также, поскольку не все смеси красок можно передать в системе CMY(K), возникла необходимость в системе более точного соответ-

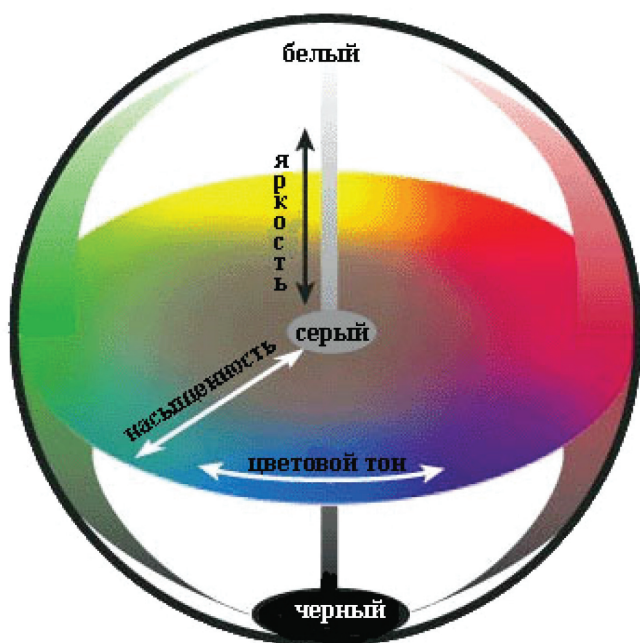


Рис. 8. Цветовое пространство HSB

ствия цвета. Для этого была создана модель LAB, которая позволяет однозначно определить цвет по трем параметрам. Канал L отвечает за яркость. Канал A содержит цвета от Magenta через серый до Green, т.е. цвета-антагонисты. Канал B содержит цвета от Blue через серый до Yellow, т.е. также цвета-антагонисты (рис. 7).

В отличие от цветовых пространств RGB или CMYK, которые являются по сути набором аппаратных данных для воспроизведения цвета на бумаге или на экране монитора, LAB однозначно определяет цвет. Поэтому LAB нашел широкое применение в программном обеспечении для обработки изображений в качестве промежуточного цветового пространства, через которое происходит конвертирование данных между другими цветовыми пространствами (например, из RGB сканера в CMYK печатного процесса). При этом особые свойства LAB сделали редактирование в этом пространстве мощным инструментом цветокоррекции. Но все же модель LAB достаточно

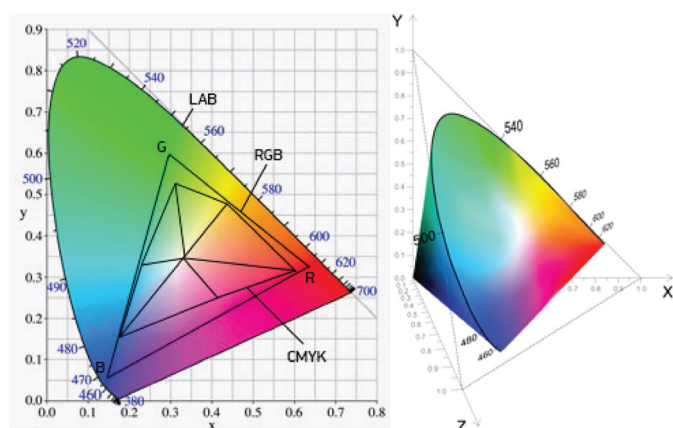


Рис. 9. Треугольник и цветное тело CIE

трудна для восприятия. Поэтому на ее основе была создана модель HSB (сокращенно Hue, Saturation, Brightness), в которой цветовое пространство представлено в трех координатах, адаптированных для непосредственного восприятия человеком,—тон (длина волны), насыщенность (чистота цвета) и яркость (или светлота цвета).

ЦВЕТОВОЕ ПРОСТРАНСТВО CIE XYZ

В 1931 г. Международная комиссия по освещению (International Commission on Illumination—CIE) разработала цветовую систему XYZ, называемую также «нормальная цветовая система». Эта система часто представляется в виде двумерного графика, который более или менее похож на парус. Чистые спектральные или монохроматические цвета находятся на кривой линии, которая ограничивает эту область по периметру и имеет разрыв между красным и фиолетовым цветом (рис. 9а). Для описания яркости вводят дополнительную ось, проходящую через точку с координатами (1/3;1/3) (так называемую точку белого). В результате получают цветное тело CIE (см. рис. 9б), которое содержит все цвета, видимые среднестатистическим наблюдателем. Обычно используют двумерное изображение этой фигуры, отбрасывая яркость. Получающаяся диаграмма имеет одно замечательное свойство: если выбрать на ней три основных (primary) цвета, то внутри образуемого ими треугольника окажутся все цвета, которые можно представить при помощи этих основных. Вообще, это распространяется на любой n-угольник. На этом

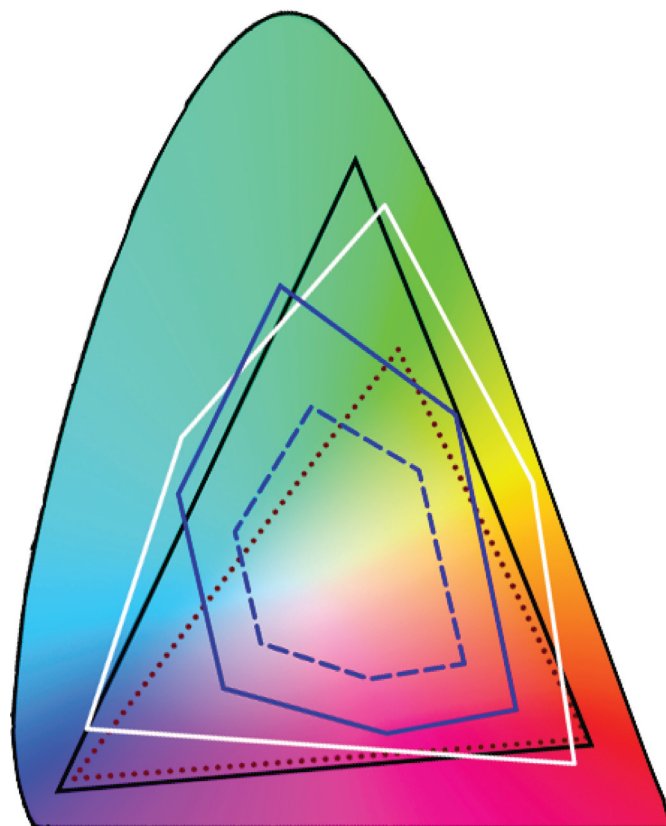


Рис. 10. Цветовой охват различных цветовых пространств

свойстве и основана RGB модель.

Используя эту модель, можно сравнить цветовой охват различных систем. На рисунке 10 показаны области цветового охвата различных средств цветовоспроизведения:

1) белый контур отражает диапазон фотографической эмульсии различного назначения;

2) черный пунктирный контур — пространство sRGB, приблизительно соответствующее гамме большинства распространенных мониторов, являющееся, по сути, стандартом представления графики в сети Интернет;

3) черный сплошной контур — пространство Adobe RGB, включающее цвета, воспроизводимые на печатных машинах, но с использованием первичных цветов;

4) синий сплошной контур соответствует высококачественной офсетной печати;

5) синий пунктирный контур отражает охват обычного бытового принтера.

КОДИРОВКА NCS

Из рисунка 10 видно, что с помощью типографской модели CMYK невозможно задать числовую форму для всех возможных цветов и оттенков, воспринимаемых человеческим глазом, поэтому появилась необходимость в создании более совершенной кодировки цвета, и в 1979 г. Скандинавским институтом цвета (Skandinaviska Färginstitutet AB, Стокгольм, Швеция) была разработана номенклатура NCS (англ. Natural Color System — естественная система цвета).

При описании цвета по NCS используются 6 простых цветов: белый, черный, красный, желтый, зеленый и голубой. Все остальные цвета представлены сочетанием основных (например, оранжевый — одновременно красноватый и желтоватый). Это облегчает интуитивное понимание цвета из его кодированной записи, в то время как в таких системах, как RGB, мысленная визуализация цвета по трем цифрам довольно сложна. В описании цвета учитывается близость к черному — темнота цвета, чистота

цвета (насыщенность) и процентное соотношение между двумя основными цветами. Рассмотрим кодирование цвета в системе NCS на примере шведского флага.

Желтый —

NCS058–Y10R (5% темноты, 80% насыщенности, 90% желтого и 10% красного — слегка темный, практически насыщенный желтый с легким оттенком оранжевого).



Рис. 11. Глиттеры на фотографии

Синий — NCS4055–R95B (40% темноты, 55% насыщенности, 5% красного, 95% голубого — скорее темный, достаточно ненасыщенный голубой с легким оттенком фиолетового).

Система NCS используется в 19 странах и принята в качестве стандарта для определения цвета в Швеции, Норвегии и Испании. Она также принята в качестве стандарта Международным управлением по цвету (International Colour Authority), ведущим учреждением, публикующим последние тенденции в дизайне интерьеров и на рынке текстиля. Последняя редакция цветового веера содержит 1950 цветов.

ГЛИТТЕРЫ

Все рассмотренные ранее цветовые модели кодируют цветовую информацию в трех координатах (как правило, это тон, насыщенность и яркость). Эти модели могут быть успешно применимы лишь к однородным монотонным поверхностям. Однако глиттеры, или блески, за счет видимых размеров частиц (вкрапления) и за счет поверхностных и других эффектов (иридизация, голография, перламутр, флюор) содержат дополнительные цветовые измерения. Следовательно, невозможно закодировать глиттер в трех измерениях и также невозможно подобрать цвет глиттера по каталогу PANTONE, RAL, RGB, CMYK, NCS и т.д. Кроме того, отсутствует необходимость в системе точного соответствия цветов глиттеров, подобной PANTONE, RAL, LAB и т.д. просто потому, что ей невозможно было бы пользоваться, так как глиттеры невозможно скопировать и воспроизвести на мониторе или бумаге. Таким образом, производители и дистрибьютеры столкнулись с необходимостью в создании собственной номенклатуры для глиттеров, а также для других эффектовых добавок.

В компании ООО «ПроХим», которая является основным российским дистрибьютером различных эффектовых добавок, пигментов и блесков, была разработана собственная система кодирования цве-

1	☉	(Солнце) Золотой, оранжевый
2	☾	(Луна) Серебряный
3	♃	(Юпитер) Желтый
4	♄	(Раху) Чёрный
5	☿	(Меркурий) Зелёный
6	♀	(Венера) Синий
7	♁	(Кету) Серый
8	♄	(Сатурн) Фиолетовый
9	♂	(Марс) Красный
0		Белый

Цифровое кодирование базовых цветов в номенклатуре ПроХим

та, которая может быть применима для различных декоративных продуктов, отличающихся от простых однородных цветовых решений. Так, цвет продукта, имеющего множество цветовых измерений, в компании «ПроХим» нашли как закодировать всего в нескольких цифрах. В отличие от систем RGB, CMYK или NCS, где применяется, как правило, 8–12-значная кодировка цвета, и в отличие от систем RAL и PANTONE, где применяется четырехзначные порядковые номера продуктов в каталоге, в кодировке «ПроХим» применяются как правило 2–3-значные номера, которые можно легко конвертировать в цвет, и наоборот. Для этого необходимо запомнить всего 10 базовых цветов, которые обозначаются 10 цифрами от 0 до 9. Кроме того, в отличие от кодировки RAL, выбор цифр для кодирования основных цветов был не придуман нами лично, а взят

из восточной астрологии, в которой каждой планете соответствует как число (от 1 до 9), так и цвет. Так, Солнцу соответствует число 1 и цвет золотой или оранжевый; Луне — цифра 2 и серебряный цвет и т.д. (таблица). Первая цифра означает преобладающий основной цвет, вторая и последующие цифры — оттенки и другие присутствующие цвета и эффекты в приблизительной последовательности убывания их значимости (по субъективной оценке). Белый цвет не соответствует никакой планете и обозначается цифрой 0.

Как уже было показано ранее, в системе точного соответствия цвета глиттеров и других эффектовых добавок нет возможности и необходимости, так как эффекты глиттеров невозможно скопировать и воспроизвести в полной мере на устройствах вывода изображений. К тому же восприятие эффектов глиттеров сильно зависит от окружающего освещения и угла обзора, поэтому субъективное кодирование цвета глиттеров — это подходящее решение, кроме того, большинство людей может более-менее точно конвертировать кодировку «ПроХим» в цвет и обратно.

Рассмотрим применимость колеровки «ПроХим» на примере палитры RAL (рис. 12). Обозначим ярко-оранжевый цвет как 1, тогда красно-оранжевый будет обозначаться числом 19, а желто-оранжевый — 13, при этом оранжево-желтый уже обозначится как 31, так как желтого цвета в нем больше. Таким образом, для каталогов, где представлены не более нескольких сотен различных цветовых решений, такая кодировка может вполне успешно применяться, при этом для кодирования любого цвета не требуется большое количество знаков.

Таким образом, номер артикула в каталоге глиттеров «ПроХим» будет состоять из двухбуквенного кода, означающего материал и тип глиттера (полиэстр, алюминий, иридисцентный, голографический и т.д.), затем следуют 2 цифры, которые обозначают размер частиц, и последующие 2–4 цифры,

обозначающие цвет глиттера. Например, код **SP02–0** будет означать: устойчивый полиэстровый (Stable Polyester), размер частиц 0,2 мм, цвет белый. Код **SF10–503** будет означать: устойчивый флуоресцентный (Stable Fluorescent), размер частиц 1,0 мм, цвет ярко-салатовый. Кроме кода для облегчения восприятия и запоминания в каталоге компании «ПроХим» добавлено название цвета для каждого артикула. Таким образом, компанией «ПроХим» предложена удобная и простая кодировка для каталогов глиттеров, которая может быть успешно применима и для многих других цветовых эффектов и добавок.

31 RAL 1037 · Sönnengelb	194 RAL 3004 · Purpurrot	91 RAL 3031 · Orientrot
13 RAL 2000 · Geldorange	149 RAL 3005 · Weinrot	80 RAL 4001 · Rotlila
1 RAL 2001 · Rotorange	948 RAL 3007 · Schwarzrot	90 RAL 4002 · Rotviolett
19 RAL 2002 · Blutorange	14 RAL 3009 · Oxidrot	09 RAL 4003 · Erikaviolett

Рис. 12. Кодировка палитры RAL в системе «ПроХим»