

1.4 Качество печати

1.4.1	Цвет. Теория цвета	70	1.4.4.1	Измерения цвета	103
1.4.2	Синтез цветного изображения	80	1.4.4.2	Приводка красок	112
1.4.3	Растровые процессы. Способы растривания	93	1.4.4.3	Измерение глянца	114
1.4.4	Контроль качества. Методы оценки	102	1.4.5.	Отделка печатной продукции	114
			1.4.5.1	Облагораживание печатной продукции	115
			1.4.5.2	Способы отделки	117

1.4.1 Цвет. Теория цвета

Цвет – это оптическое явление, чувственное ощущение, создаваемое глазом и мозгом. Цвет не является физической переменной и, следовательно, не имеет физических единиц измерения. Сами по себе предметы не являются цветными: ощущение цветности возникает как результат воздействия световых излучений. Видимый солнечный свет, который воспринимается как белый, освещает предмет и частично отражается. Следовательно, объект, который находится в красной зоне видимого спектра, воспринимается окрашенным в красный цвет. Объект, полностью отражающий излучение всего видимого спектрального диапазона, как правило, кажется белым, а объект, полностью поглощающий излучение, – черным.

При рассмотрении вопросов ощущения и описания цвета всегда выделяют физические и физиологические аспекты. Физические параметры определяются объективными методами, а физиологические – нет. С помощью колориметра можно определить физические характеристики цвета (цветового возбуждения), но как их интерпретирует мозг человека (восприятие цвета), можно только рассчитать. Различные научно-исследовательские группы и институты работали над созданием моделей, описывающих измерительный инструмент «глаз» и восприятие цвета мозгом. До последнего времени действуют исключительно важные для описания цвета постановления CIE – международ-

ной комиссии по освещению (CIE – Commission Internationale de l'Eclairage), принятые в 1931 г. Они регламентируют измерения цвета на основе введения эталонного наблюдателя в колориметрию.

Дальнейшее изложение не ставит целью заменить специальный учебник по теории цвета или колориметрии, а является коротким введением в проблему. Прежде всего остановимся на свойствах цвета, которые рассматриваются и играют важную роль в современной репродукционной технологии. Детальный обзор колориметрии и ее применения в полиграфии дан в [1.4-1].

Для того, чтобы легче было различать отдельные составляющие, используемые для описания цвета в системе восприятия «глаз и мозг», вводятся понятия:

- *цветового стимула* как физически измеримого излучения, отражаемого наблюдаемым предметом, и
- *спецификации цветовых стимулов* как результата визуального восприятия наблюдателя.

Поскольку нельзя сказать, что мозг функционирует лишь как «устройство отображения» спецификации цветовых стимулов, то *восприятие цвета* принято также определять как чувственное ощущение, инициированное цветом в сознании.

Приборы для измерения цвета (колориметр, спектрофотометр) изначально измеряют только цветовые стимулы, по которым посредством соответст-

вующих моделей могут быть численно выражены спецификации цветовых стимулов, а возможно также и восприятие цвета. Для этого применяются, например, стандартные колориметрические системы, принятые CIE как CIELAB и CIELUV.

В полиграфии и технологии репродукционных процессов цвет играет важную роль в качестве параметра, описывающего изображение. Поскольку мониторинг качества репродукций проводится на базе *колориметрических* измерений цвета (раздел 2.1.4.2) и привлечения системы управления цветом (раздел 3.2.10), оператору необходимы знания основ колориметрии.

Часто цвет предстает перед наблюдателем в цветном окружении. Цветовое восприятие можно описать лишь методом сравнений контрастов. Так, например, нейтрально-серое цветовое поле на красном фоне приобретает зеленоватый, а на зеленом фоне красноватый оттенок (рис. 1.4-1).

Это явление и другие подобные эффекты зрительного восприятия являются факторами, оказывающими влияние на технологию обработки. Хотя практик редко обладает системным подходом в вопросах оценки цвета, он действует интуитивно верно и всегда создаст цветное изображение, кажущееся, например, нейтрально-серым на каком-то цветном фоне, хотя колориметр четко обнаружит на этом изображении наличие цветного оттенка. Следовательно, остается только отметить, что глаз человека, как правило, – исключительный инструмент сравнения цветов. Однако практически невозможно точно описать, каким покажется цвет.

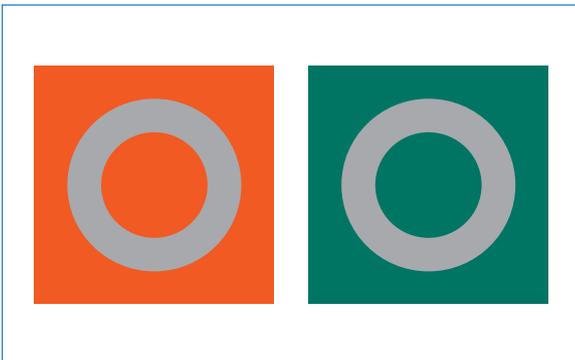


Рис. 1.4-1

Эффект одновременного контраста; пример визуального восприятия искажения цвета одного и того же серого тона за счет окружающих цветов

Исходя из этого, можно четко сформулировать цель применения теории цвета в репродукционной технологии. Все, что предназначено для решения технологических задач или применения колориметрических систем, должно быть приведено в соответствие со зрительным восприятием цвета «конечным измерительным прибором» – глазом наблюдателя. Модель зрительного восприятия цвета в соответствии с [1.4-21] изображена на рис. 1.4-14,а. На рис. 1.4-15 представлен диапазон спектра электромагнитных волн, видимых глазом человека.

В современной технологии многокрасочной репродукции применяется как аддитивный, так и субтрактивный

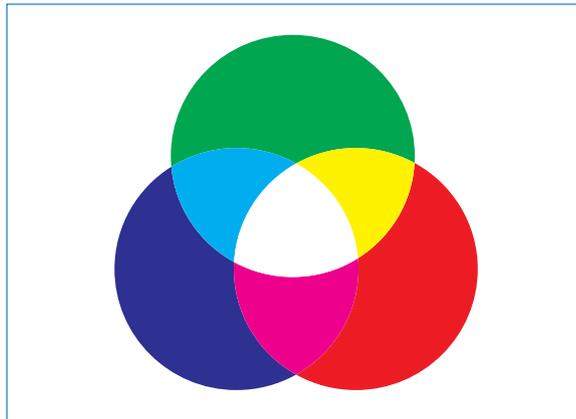


Рис. 1.4-2

Аддитивный синтез цвета с применением трех основных излучений: красного, зеленого и синего

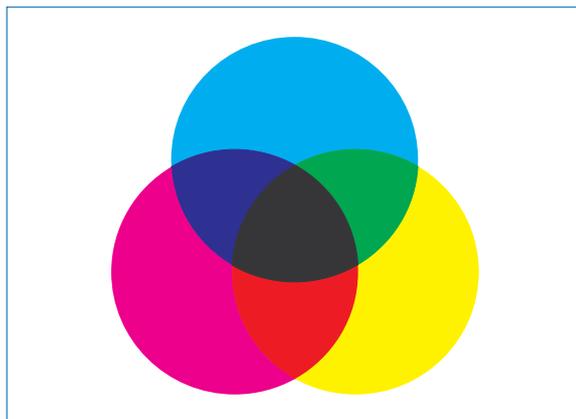


Рис. 1.4-3

Субтрактивный синтез цвета с применением трех основных красок: голубой, пурпурной, желтой

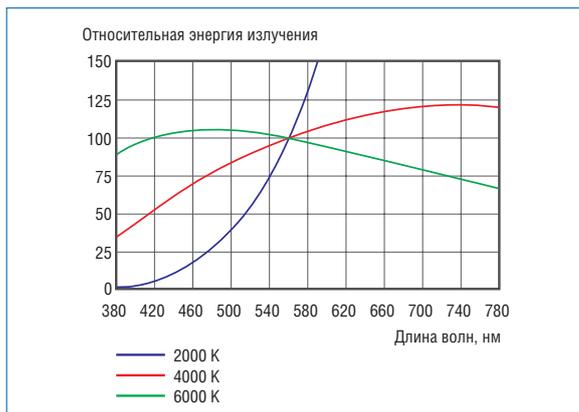


Рис. 1.4-4

Распределение энергии излучения абсолютно черного тела в зависимости от температуры (К – абсолютная температура по Кельвину)

ный синтез цвета. Формирование яркостной составляющей с помощью сложения отдельных излучений называют аддитивным синтезом цвета (рис. 1.4-2). При субтрактивном синтезе цвета наблюдается уменьшение яркости (рис. 1.4-3). Классификации аддитивного и субтрактивного смешения цветов не существует, хотя часто полагают, что основные цвета, например, для аддитивного синтеза – это красное, зеленое и синее излучение, а для субтрактивного – голубая, пурпурная, желтая и черная краски. Важнее то, что в различных процессах синтеза наблюдается либо увеличение светлоты, либо ее уменьшение. Так, при аддитивном синтезе цвета лучи, испускание которых соответствует нескольким цветам, одновременно достигают сетчатки глаза. При этом цветовые ощущения складываются. В случае субтрактивного синтеза цвета никакого смешения цветов не происходит, а специальный состав цвета формируется последовательным наложением отдельных цветов (красочных слоев) подобно тому, как это происходит при сложении стеклянных светофильтров, формирующим кривые спектрального пропускания.

В репродукционных процессах редко встречаются чисто аддитивный или чисто субтрактивный синтез цвета. Например, в многокрасочной репродукции имеет место как аддитивный, так и субтрактивный синтез (рис. 1.4-18). При изображении цвета на мониторе наблюдается почти идеальный аддитивный синтез цвета, а при наложении различных цветных прозрачных материалов – практически идеальный субтрактивный синтез цвета.

Чтобы, например, определить основную настройку монитора, на практике часто используется термин «цветовая температура». Введение этого термина следует из того, что во многих искусственных источниках света видимое излучение получается нагреванием материала (например, раскаленная металлическая нить в лампе накаливания). В тепловых источниках энергия излучения и ее спектральное распределение зависят от температуры и поглощающей способности. Вообще считается, что чем в большей степени тело поглощает видимое излучение, тем больше энергия его излучения при данной температуре.

Теоретически наибольшую энергию излучения имеет «абсолютно черное тело», при этом энергия излучения, в свою очередь, рассчитывается как функция температуры. Теоретически черное тело, известное как излучатель Планка, часто на практике используется в качестве эталона сравнения цветовой температуры, поскольку многие реальные источники света имеют спектральный состав, подобный спектральному составу излучения черного тела. Температура абсолютно черного тела, при которой цвета излучателя Планка и реального источника наиболее близки друг другу, называется цветовой температурой или наиболее подобной цветовой температурой. Распределение излучения абсолютно черного тела показано на рис. 1.4-4. Можно видеть, что вместе с повышением температуры не только увеличивается общая энергия излучения, но также изменяется и ее спектральное распределение.

Предпринимались многие попытки описать цвет источника излучения одним числом, а именно цветовой температурой в кельвинах. В целом считается, что самые низкие цветовые температуры, например на мониторе, соответствуют красно-желтым цветам (по ощущению теплым), а высокие цветовые температуры приводят к голубоватым цветам (по ощущению холодным). Конечно, величина цветовой температуры не заменит точного описания цветовых стимулов, однако является опробованным и проверенным способом приближенного описания свойств источников излучения и источников трех основных цветов. Верно также и то, что с помощью цветовой температуры возможно описать относительно малое количество цветов.

Для более точного описания источников света CIE были введены *стандартные источники света*. Прежде всего, была выбрана лампа накаливания с относитель-

но постоянными характеристиками излучения. Распределение излучения этой лампы было принято как стандартный источник А. Посредством использования стандартного светофильтра из спектра этого стандартного источника выделяют излучение, соответствующее спектральному распределению дневного света, т.е. стандартному источнику С (искусственный дневной свет). Так как свет лампы накаливания очень беден ультрафиолетовым излучением, то искусственный дневной свет стандартного источника С также характеризуется незначительной долей УФ (ультрафиолетовых) лучей. Но так как эта УФ-часть играет решающую роль во многих процессах обеспечения цветового тождества (особенно в полиграфии), СIE дополнительно ввела стандартный источник D65 (естественный дневной свет), где число 65 означает, что цветовая температура составляет 6500 К. Поскольку стандартный источник света D65 был задан СIE только теоретически, его очень трудно смоделировать реальными осветительными приборами. Более того, в печатных и репродукционных процессах используют стандартный источник света D50 (5000 К), который также применяется для приближенного описания естественного дневного света.

Как уже упоминалось, цветовая температура не является точным описанием цвета. С целью более точного его описания была разработана международная система, построенная на известных *эталонных цветах*, которые также называют *основными цветами*. В соответствии с экспериментально установленными характеристиками среднестатистического наблюдателя в 1931 г. СIE определила кривые сложения основных цветов R, G и B (R – red, G – green, B – blue). В этой системе некоторое соотношение основных цветов соответствует каждой из длин волн видимого спектра. При этом существуют как положительные, так и отрицательные количества основных цветов. Чтобы получить только положительные значения, СIE ввела *нереальные основные цвета*, которые обозначают буквами X, Y и Z. Причем, X соответствует мнимому (реально не существующему) красному, Y – мнимому зеленому и Z – мнимому синему цвету. Спектральные составляющие, относящиеся к данной *стандартной колориметрической системе*, называют стандартными трехкомпонентными основными возбуждениями, а рассчитанные по ним цветовые координаты – *стандартными цветовыми координатами*. Стандартные кривые



Рис. 1.4-5

Стандартные кривые сложения

сложения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ и $\bar{z}(\lambda)$ описывают зависимость энергии излучения от длины волны и определяют спектральную чувствительность глаза среднестатистического наблюдателя СIE (рис. 1.4-5 и 1.4-14).

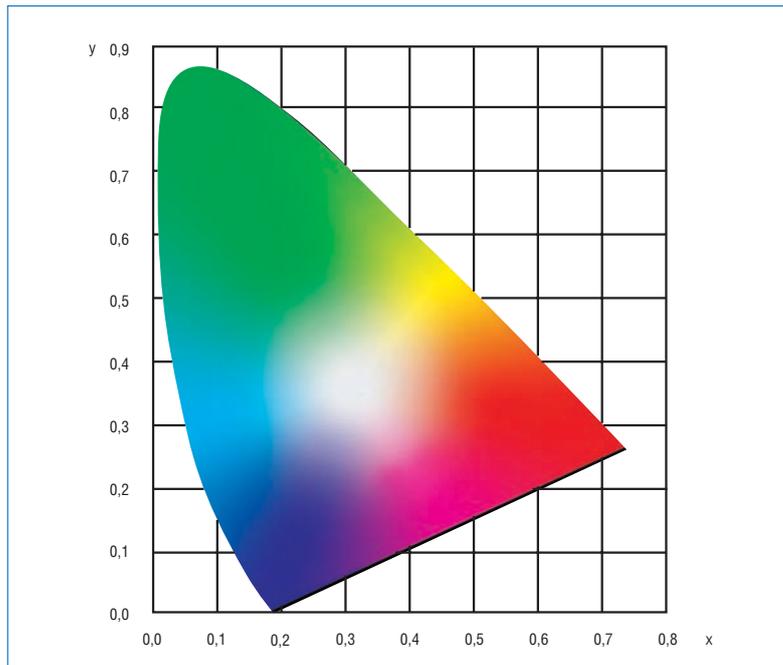
Из определения стандартных трехкомпонентных возбуждений по СIE следуют некоторые особенности. Так, например, идеальный белый цвет (при идеальном освещении, т.е. энергетически равномерном, не зависящим от длины волны) имеет координаты $X=Y=Z=100$, а яркость можно вычислить по мнимой координате Y.

В современной технологии репродукционных процессов колориметрическая система XYZ представляет важное эталонное цветовое пространство. Как постановления Международного консорциума по цвету (ICC – International Color Consortium) [1.4-3], так и определение цвета на языке описания страниц PostScript [1.4-4], используют XYZ как опорное цветовое пространство при стандартном источнике D50 и угле зрения 2° .

Представления об основных цветах связаны с понятием относительных цветовых координат x, y, z, сумма значений которых равна единице. Соответственно не обязательно задавать все три значения, так как задание любой пары относительных цветовых координат достаточно для однозначного определения третьей составляющей. На основе этой колориметрической системы получается лишь новый вариант однозначного описания цвета на базе основных цветов СIE. Вместо стандартных цветовых координат X, Y и Z задаются только координаты цветности x и y, которые позволяют определить чистоту цвета и *цветовой тон*. Кроме того, с помощью дополнительного задания в третьем из-

Рис. 1.4-6

Цветовой треугольник CIE [1.4-1]



мерении цветовой координаты Y можно определить яркость. Многообразие цветов, получаемое в соответствии с таким подходом, называют стандартной цветовой таблицей, цветовым треугольником CIE, на практике известном как диаграмма цветности CIE – «подкова» CIE. На такой диаграмме отмечают реальные цветковые координаты (вспомним, что координаты X , Y , Z соответствуют мнимым, а не реальным основным возбуждениям). В результате получают фигуру подковообразной формы, граница которой называется *локусом* спектральных цветов (рис. 1.4-6).

В цветовом треугольнике CIE точка с координатами цветности $x=y=0,33$ называется точкой белого. Для несветящихся тел, отражающих свет, цвет можно описать только, приняв во внимание *спектральный состав* падающего на них света. Для стандартного источника D65, например, относительные цветковые координаты составляют $x=0,313$ и $y=0,329$.

Чтобы наряду с чистотой цвета и цветовым тоном графически визуализировать и яркость, необходимо ввести дополнительную ось. Ось Y , проведенная через точку белого, превращает цветовой треугольник CIE в цветное тело CIE (рис. 1.4-7). Если максимально достижимую яркость добавить к насыщенности и цветовому тону, то *цветовое тело* CIE будет представлять собой

асимметричную «гору». Необходимо отметить, что в области желтого и зеленого цветов при высокой насыщенности можно достичь значительно большей яркости, чем в зоне синих и красных цветов. Поэтому цветное тело CIE является явно асимметричным.

Цветовое тело, представленное на рис. 1.4-7, отображает все цвета, воспринимаемые глазом среднестатистического наблюдателя для стандартного источника света. Однако оно не позволяет определить визуальное различие между двумя цветами.

Численное цветовое различие между двумя цветами в колориметрической системе оценивается, как правило, в ΔE . Эта величина адекватно восприятию оценивает цветовой контраст. При оценке цветовых различий важное значение имеет вид колориметрической системы, а также формула, используемая для расчета цветового различия. Чем меньше значение ΔE , тем меньше *цветовое различие*.

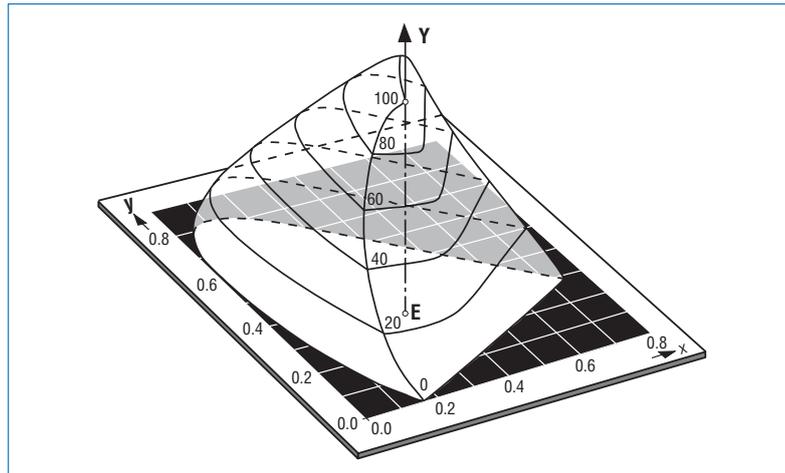
Например, расчет расстояния между двумя точками в пространстве трех векторов X , Y , Z оценивается простой формулой Евклида:

$$e = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2},$$

где X , Y , Z – координаты трехмерной системы. Однако оказывается, что числовые значения здесь не со-

Рис. 1.4-7

Цветовое тело CIE [1.4-8]



ответствуют зрительно-регистрируемому различию между парой цветов.

Поэтому были предприняты различные попытки с тем, чтобы получить равноконтрастную колориметрическую систему, которая давала бы лучшее соответствие с визуальной оценкой. Решение проблемы, с одной стороны, можно осуществить посредством простых математических преобразований системы XYZ в новую колориметрическую систему (математическая аппроксимация). При этом, возможно, не будет учтен критерий идеальной визуальной равноконтрастности. С другой стороны, можно разработать отдельную систему классификации цветов, в которой преобразования отдельных значений будут осуществляться путем учета критерия визуальной равноконтрастности (табличный метод или метод атласа цветов). Наиболее известной является эталонная система Манселла «Munsell Book of Colors» 1915 г. Однако этим атласом редко пользуются.

Другое решение проблемы заключается в том, чтобы путем простых математических преобразований, получаемых посредством введения новой колориметрической системы, достичь существенного усовершенствования критерия равноконтрастности. При этом необходимо, чтобы полученные соотношения позволяли получить достаточно хорошее описание различий между цветами (например, CIE94).

Теперь цветовой треугольник CIE (т.е. цвет описывается с помощью x и y) преобразуют таким образом, что выполняется первый критерий равноконтрастности (компенсация так называемых пороговых эллипсов Мак-Адама). Получают координаты цветового

пространства CIELUV (рис. 1.4-8). Преобразование координат проводится с помощью линейных уравнений так, что переход к координатам u' и v' является простым. Однако при этом критерий равноконтрастности выполняется не до конца.

В схему преобразований необходимо также включить яркостную составляющую Y . В результате, по приведенным на рис. 1.4-8 уравнениям, получается тройка значений L^* , u^* , v^* для полного описания цветковых координат в цветовом теле CIELUV.

Цветовое различие в системе CIELUV определяется по формуле Евклида:

$$\Delta = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta u^{*2} + \Delta v^{*2}}$$

Кроме того, можно отдельно определить цветовые контрасты по осям или уровням трехмерной колориметрической системы (например, ΔE_{uv} , ΔE_u , ΔE_v , ΔE_L).

Независимо от колориметрической системы с цветовым треугольником CIE были использованы и другие идеи создания равноконтрастных колориметрических систем. Была получена формула для расчета цветового контраста с применением так называемой «теории дополнительных цветов» [1.4-5, с. 38 и далее].

Очевидно, что самое популярное и в настоящее время самое важное цветовое пространство, базирующееся на теории дополнительных цветов, — это пространство CIELAB (рис. 1.4.-11). В 1976 г. CIE приняла LAB-формулу для определения цветового различия. Прежде всего, она оказалась незаменимой для унификации различных LAB-моделей, появившихся до этого.

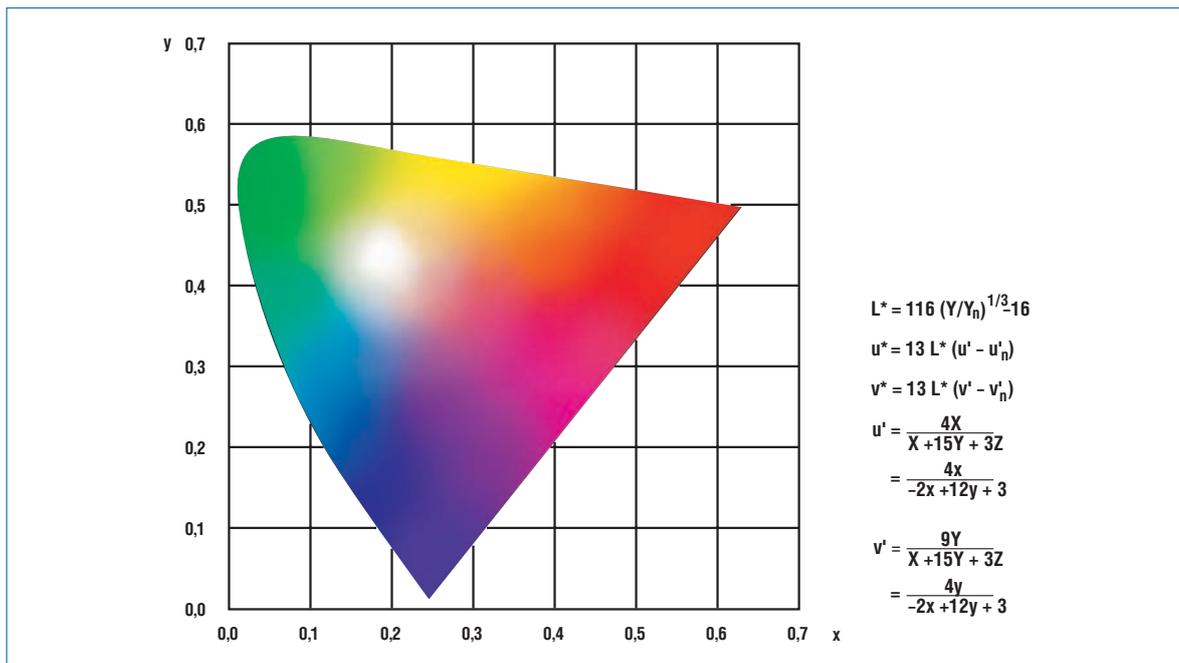


Рис. 1.4-8

Цветовое пространство CIELUV [1.4-1]

Координаты L^* , a^* , b^* можно вычислить из цветковых координат XYZ, как представлено на рис. 1.4-9. В результате преобразования цветового пространства CIELAB оказалось невозможным представить цветовой тон и насыщенность двухмерной диаграммой цветности (по аналогии с цветовым треугольником CIE). На рис. 1.4-10 изображено цветовое тело LAB, а на рис. 1.4-11 – плоскость его сечения для определенного значения светлоты L. В цветовом круге CIELAB (рис. 1.4-9) насыщенность (chroma), а не чистота цвета (saturation) как параметр изменяется от центра к краю круга. Это приводит к тому, что в цветовом круге (в противоположность u' , v' -диаграмме или цветовому треугольнику) невозможно рационально изобразить locus (границы) спектральных цветов.

Из цветового круга CIELAB простым преобразованием получается популярная форма отображения цвета, так называемая LCH. При этом насыщенность C^* (Chroma) и цветовой тон h^* (hue) определяют из значений a^* и b^* соответственно рис. 1.4-9 и 1.4-12.

На рис. 1.4-12 указаны координаты синего и зеленого, соответствующие цветам на рис. 1.4-13. Расчеты выполнены на основе спектральных кривых, пока-

занных на том же рисунке. Спектральные кривые отражают физический состав – «отпечаток пальца» этих цветов. По этим данным методами колориметрии можно вычислить цветковые координаты, коррелирующие со зрительным восприятием.

При использовании колориметрически управляемой репродукционной системы (системы управления цветом) для неопытного пользователя значительно проще описать и отредактировать данные LAB в координатах LCH. Поэтому сегодня информация хранится преимущественно как данные LAB, а редактирование осуществляется в пространстве LCH.

На рис. 1.4-14 в обобщенном виде представлено, каким образом осуществляется восприятие цвета человеком и каким образом с учетом зрительного восприятия строится физическая модель метрологически правильной оценки измерения и математического описания. Здесь же приведены ссылки на различные колориметрические системы.

В целом можно заметить, что идеальной равноконтрастной колориметрической системы на сегодняшний день не существует. Были предприняты многочисленные попытки показать основные преимуще-

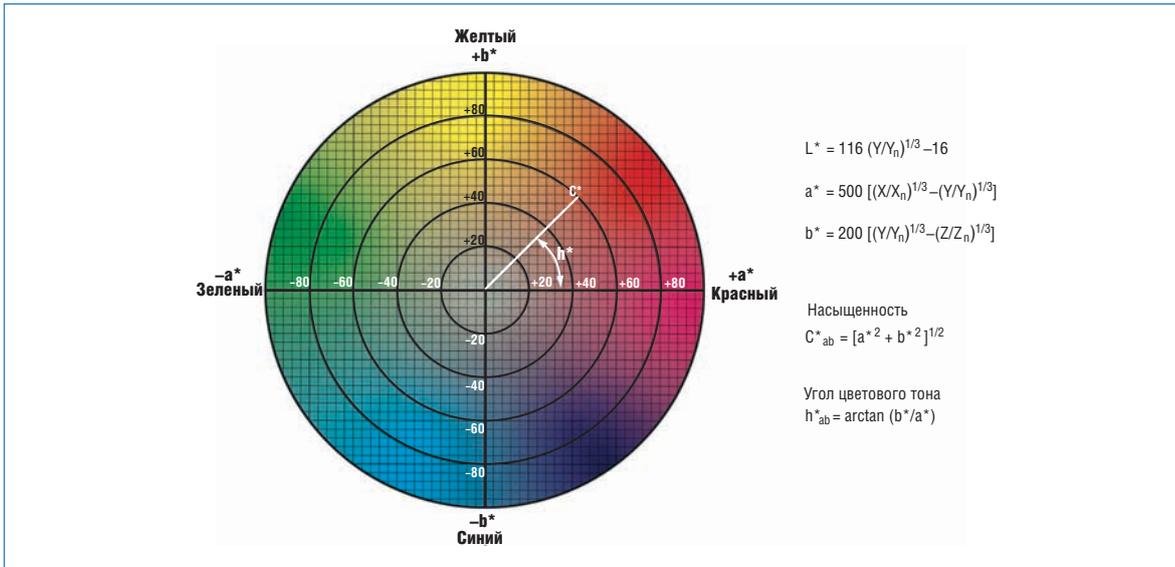


Рис. 1.4-9

Цветовой круг CIE LAB [1.4-1]

ства CIE LAB по сравнению с CIE LUV, и наоборот. В связи с соответствующей «фактической» стандартизацией, возникшей на основе постановлений Международного консорциума по цвету (International Color Consortium – ICC), в настоящее время можно считать, что цветовое пространство CIE LAB, по-видимому, является важнейшей системой колориметрической классификации.

Дальнейшая оптимизация визуальной равноконтрастности последовала с введением новой формулы цветового различия CIE94, которая основывается на параметрах LCH – варианта представления цветового пространства CIE LAB [1.4-6].

Актуальным объектом исследований в области цвета является, прежде всего, включение эффектов цветовых различий (например, одновременного контраста) в систематическое описание цвета. В так называемых *перцептуальных* моделях описания цвета предпринимается попытка определить систематическую связь между значениями цветовых стимулов и цветовосприятием. Обобщенные итоги дискуссий приведены в [1.4-7].

Среди особых форм классификации цвета следует упомянуть *каталоги образцов цвета*, такие, как Pantone, HKS или RAL, которые, однако, не служат для систематического описания всех цветов, разли-

чимых среднестатистическим наблюдателем. В этих случаях применяют лишь наборы отдельных красок и используют их для визуального сравнения цветов.

Например, некоторый цвет Pantone поставляется производителем на определенном запечатываемом материале в опорной таблице с тем, чтобы сделать возможным его воспроизведение красками устройства вывода. При этом вполне возможно, что для этого цвета Pantone нельзя будет подобрать пару в цветовом пространстве CMYK реального полиграфического синтеза. Наилучшее приближение обычно достигают методом проб и ошибок или с помощью *системы управления цветом*.

Для измерения цвета наиболее часто используют спектральные измерительные приборы (*спектрофотометры*) и приборы (*колориметры*) измерения цвета по трем каналам, моделирующим кривые сложения (раздел 1.4.4 и рис. 1.4-48–1.4-50). С помощью *денситометра* (рис. 1.4-17) измерить цвет невозможно. Это можно объяснить на примере двух цветов – синего и зеленого, представленных на рис. 1.4-13. При денситометрических измерениях за светофильтром, который дает максимальное значение плотности, для обоих цветов они одинаковы: $D=1,38$. С другой стороны, измерения, основанные на использовании методов колориметрии, показывают цветное различие

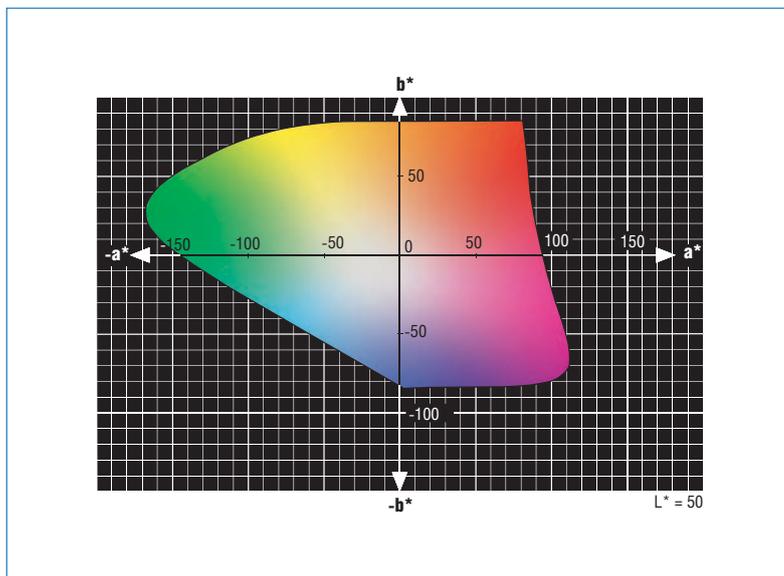


Рис. 1.4-10

Цветовое тело CIELAB [1.4-2]

Рис. 1.4-11

Цветовое пространство (поперечное сечение цветового тела) CIELAB [1.4-1]



на уровне $\Delta E_{ab}=39$, которое реально отражает большую разницу между синим и зеленым цветами. На рис. 1.4-12 дополнительно изображены положения обоих цветов в цветовом круге CIELAB.

Модель цветного зрения и система колориметрических измерений в соответствии с рис. 1.4-14 вобрали в себя оба описанных ранее способа измерения цвета: спектрофотометрию и методы, основанные на трехкомпонентных возбуждениях. Основное различие между методами заключается в том, что при спектрофотометрических измерениях спектр интенсивности цвета обрабатывается посредством цифровой фильтрации, моделирующей кривые сложения. При способе измерения с помощью фотоприемников для моделирования кривых сложения фильтрация осуществляется подбором спектральных характеристик оптических светофильтров [1.4-8].

В основу спектрофотометрических измерений положен принцип, в соответствии с которым каждый цвет можно описать посредством аддитивного смешения спектральных цветов. Видимый спектр (рис. 1.4-15) разделяют на малые интервалы, а интенсивность света измеряется отдельно в каждом интервале длин волн (также рис. 1.4-50). Большинство спектрофотометров, применяемых на практике, работает в интервалах 10 или 20 нм, так что в видимой части спектра измеряются около 30 значений интенсивности света (видимый диапазон от 380 до 730 нм). При проведении специаль-

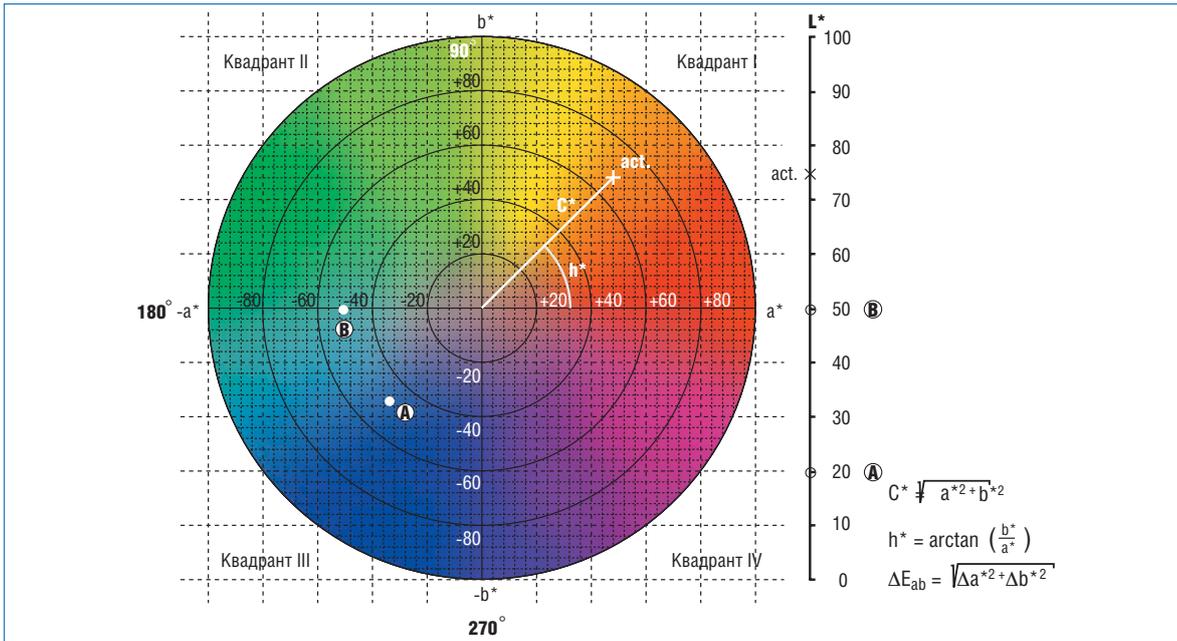


Рис. 1.4-12

Цветовой круг CIE LAB с насыщенностью C^* , углом цветового тона h^* (координаты цветности А и В – в соответствии с рис. 1.4-13) [1.4-2] (Примечание: перед изображениями на рис. 1.4-12 и 1.4-13 не ставилась цель точной передачи цвета, они должны показать лишь принципиальную проблематику)

ных исследований с помощью уникальных технических систем можно осуществить измерения со значительно меньшим шагом (до 1 нм).

Данные спектрофотометрических измерений затем, как правило, подлежат обработке с использованием методов *математического моделирования трех рецепторов* стандартного наблюдателя CIE при заданном источнике света и определенном угле зрения. Таким образом, например, 30-канальный сигнал преобразуется в соответствии с правилами колориметрического анализа с целью определения значений X, Y и Z в системе XYZ, а также для конвертирования цветовых координат при последующих переходах в другие колориметрические системы (рис. 1.4-14). Программное обеспечение спектрального колориметрического прибора обычно позволяет производить прямой перевод спектральных данных в данные, используемой в работе, колориметрической системы и учитывает при этом уравнения соответствующего стандарта (например, CIE).

При преобразовании спектральных данных в данные колориметрической системы среди других факторов учитывается источник света. Поэтому пос-

ледующий переход к другим условиям освещения (например, от D50 на D65 или наоборот) становится невозможным или, в лучшем случае, может быть осуществлен только посредством математической аппроксимации.

Базовый принцип, положенный в систему измерения цвета по трем цветовым стимулам (кривым сложения), основан на хорошем описании CIE спектральной чувствительности трех цветовых рецепторов глаза. Соответственно цвет можно также измерять с использованием трех фотоприемников, ход кривых спектральной чувствительности которых соответствует кривым чувствительности глаза. Аналогичным образом можно представить три цветных светофильтра, которые отвечают соответствующим стандартным кривым сложения при условии, что и фотоприемник, и источник света имеют идеально выровненную спектральную характеристику во всем видимом диапазоне (рис. 1.4-49). Идея измерения цвета в соответствии с кривыми сложения кажется особенно привлекательной потому, что нужно измерить только три величины, а затем на основе полу-

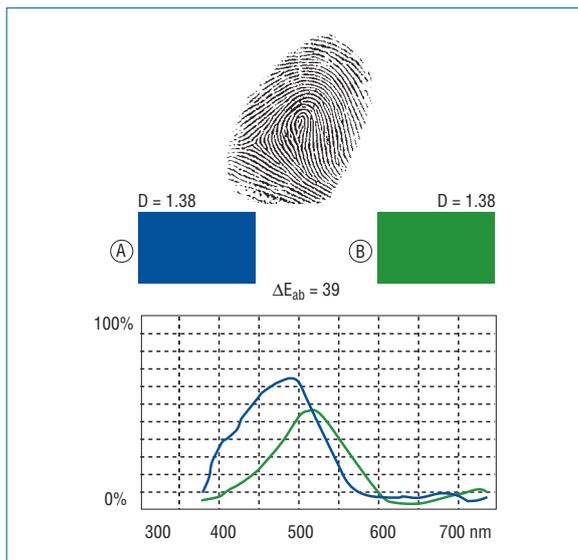


Рис. 1.4-13

Спектральные кривые интенсивности в виде «отпечатка пальца» на примере двух цветов А и В (при одинаковой оптической плотности) [1.4-2] (Примечание: перед изображениями на рис. 1.4-12 и 1.4-13 не ставилась цель точной передачи цвета, они должны показать лишь принципы)

ченных значений непосредственно перейти к стандартным значениям СИЕ.

До настоящего времени в практике существуют трудности получения светофильтров, характеристики которых точно соответствовали бы стандартным кривым сложения. Подробная схема прибора дана в [1.4-2].

Спектральное распределение излучения используемого источника освещения является в особенности критическим параметром, так как оно должно соответствовать тому или иному стандартному источнику. Колориметры лишь тогда действительно совершенны, когда все условия в приборе (источник излучения, цветные светофильтры, фотоприемник, геометрия изображения) идеально отвечают стандартным условиям измерений. Только в этом случае критерии упрощения прямых преобразований стандартных цветовых координат СИЕ окажутся достаточно приемлемыми.

С целью дальнейшего более полного описания свойств колориметра следует упомянуть, что цветовые величины, полученные в результате измерений, достоверны только в определенных исходных условиях (источник света и угол наблюдения обычно D50 и 2°). Учи-

тывается только интегральная мощность света по спектру. В спектрофотометре, напротив, интенсивность света измеряется в малых интервалах и, следовательно, может быть преобразована применительно к другим основным условиям, установленным СИЕ. По данным спектрофотометрических измерений можно рассчитать координаты СИЕ для различных источников света и углов наблюдения.

На практике использование спектрофотометра имеет ряд дополнительных преимуществ, так как на основе данных спектральных измерений часто можно определить некоторые цветовые эффекты, искажающие результаты измерений (например, *метамерия* – два цвета при одних условиях освещения могут казаться одинаковыми, при других условиях освещения различными; *флуоресценция* – в зависимости от освещения цвет может обнаруживать особый эффект сияния), или же можно оценить недостатки измерительной оптики. Отклонения могут быть устранены соответствующими компенсирующими пересчетами перед переводом цветовых значений в стандартные СИЕ. Кроме того, с помощью спектрофотометра возможно вычислить оптические плотности; при этом пропускание оптических фильтров денситометра (синий, зеленый, желтый светофильтры, фильтр видности) моделируется цифровым методом.

При простом сравнении оказывается, что колориметр лучше подходит для определения цветовых различий, чем для полного измерения цвета. На практике спектрофотометры всегда рекомендуются для выполнения точных и более гибких измерений цвета.

1.4.2 Синтез цветного изображения

Воспроизведение цвета

В общих словах, технология цветовоспроизведения в полиграфии представляет собой такое преобразование сюжета или объекта в печати, при котором они остаются по возможности близкими к оригиналу. Часто в качестве промежуточного носителя информации используется фотография (на фотобумаге или на позитивной/негативной фотопленке). В общей технологической цепочке полиграфического воспроизведения свою роль играют фотографические процессы, а также всевозможные преобразования изображения,

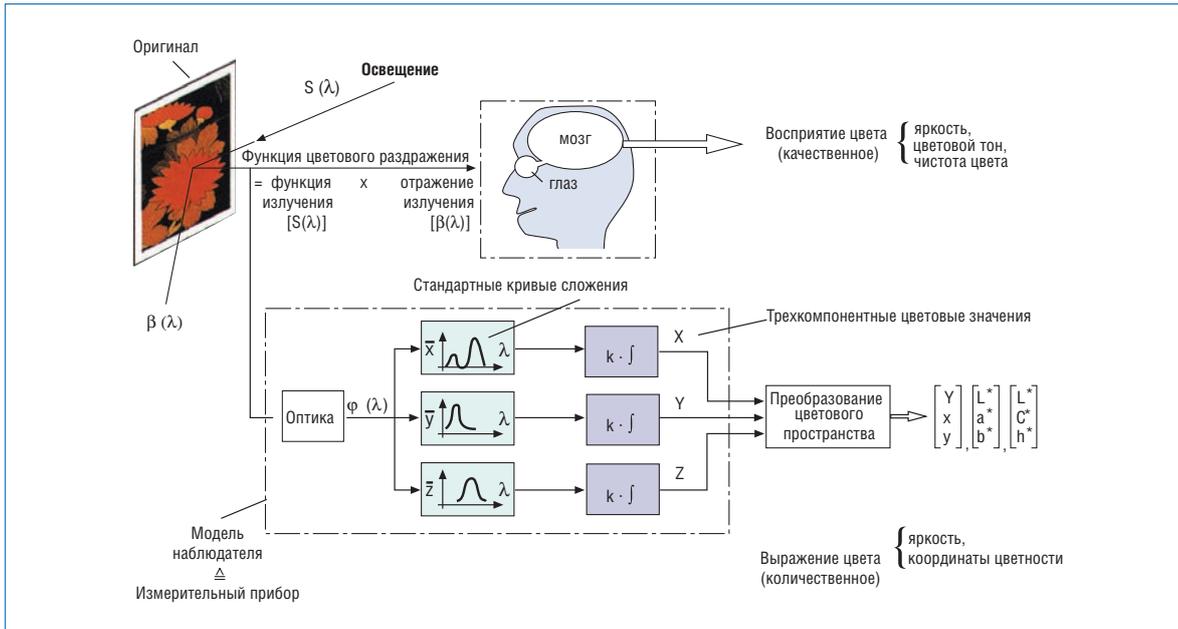


Рис. 1.4-14

Модель восприятия и колориметрического описания цветов [1.4-2]

процесс растривания, материалы, передаточные характеристики и многие другие параметры. Что означает выражение «идеальное воспроизведение цвета» и по каким критериям можно оценить качество в технологии *репродукционных процессов*?

Параметры качества в современной технологии зависят, прежде всего, от целей репродуцирования, т.е. от того, продукцию какого качества желает видеть заказчик. Например, при печати объявлений в газетах и журналах основное правило – чтобы напечатанное объявление точно соответствовало образцу, который предоставлен рекламным агентством. В этом случае можно говорить о точном воспроизведении оригинала.

В источнике [1.4-1] в сжатой форме описывается физически точное воспроизведение оригинала, при котором возможно идентичное воспроизведение даже его спектрального состава. В этом редко достижимом на практике случае гарантируется, что при всех условиях освещения оттиск выглядит одинаково с оригиналом. Это условие является очень важным в отношении приемлемости цветопробы для печати.

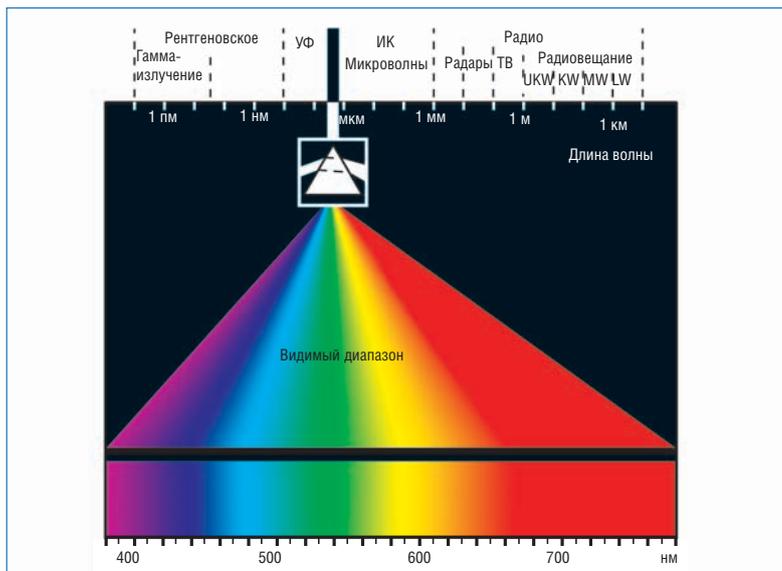
В противоположность *физически точному воспроизведению* в редакциях газет и журналов часто

преследуют цель воспроизвести изображения так, чтобы сделать их привлекательными. В этом случае принято говорить о редакционном воспроизведении (по желанию или по замыслу). В связи с этим понятие качества репродукции по замыслу можно понимать различным образом. Предоставляемые фотоагентствами диапозитивы часто имеют значительно больший цветовой охват, чем это обеспечивает используемый способ печати. Отсюда следует необходимость в компромиссе, который должен быть найден в *преобразовании изобразительной информации* на оттиске (рис. 1.4-16).

Оператор сканера решает (при необходимости после переговоров с заказчиком), где находятся участки с сюжетно важной изобразительной информацией (например, рисунок), воспроизведением чего можно пренебречь, а какую часть, если необходимо, даже выделить. Особенно велики компромиссы в газетном производстве, так как в нем, с одной стороны, доступным является очень маленький цветовой охват, а с другой стороны, данные об изображении часто поставляются (например, агентствами) записанными в неадекватной цветовой метрике (чаще всего в неопределенной системе RGB). В этом примере, когда по

Рис. 1.4-15

Видимый диапазон спектра электромагнитных волн [1.4-8]



корректным данным о цвете необходимо получить «красивое изображение», критерий оптимизации в значительной степени субъективен.

При направленно оптимальном или точном воспроизведении оригинала необходимо добиться, чтобы представленные в каталогах или объявлениях материалы точно соответствовали свойствам, заявленным изготовителем. С целью удовлетворения требований, возникающих при воспроизведении дизайнерских оригиналов, часто проводят визуальный подбор по цветным образцам специальных каталогов (например, Pantone, HKS). Если, например, дизайнерские цвета (специальные цвета) не могут быть воспроизведены в достаточной степени удовлетворительно основными красками полиграфического синтеза, то добавляют дополнительные краски, которые еще называют *внутриадными*.

Внутриадная краска, как правило, не учитывается при цветоделении и применяется исключительно для оформления отдельных элементов.

В случае *точного цветовоспроизведения* оригинала сегодня широко применяются процессы автоматической обработки (раздел 3.2.10). При получении репродукции, оптимизированной по желанию, чаще всего неизбежно ручное вмешательство квалифицированных специалистов по обработке изображений. Методы автоматического анализа и оптимизации изображения развиваются лишь в течение нескольких

последних лет и, как правило, еще не могут заменить ручную корректировку.

Другие факторы, которые определяют качество цветной репродукции, зависят, прежде всего, от свойств печатных красок, запечатываемого материала, применяемого способа печати, условий проведения печатного процесса, вида оригинала и параметров цветоделения. *Колориметрические характеристики* используемых печатных красок и запечатываемого материала оказывают значительное влияние на воспроизводимый цветовой охват. Так, например, большое значение имеет то, какой пурпурный пигмент применяется в краске. Относительно дорогой родамин пурпурный расширяет цветовое пространство, прежде всего, в области синих и пурпурных цветов.

Запечатываемый материал также является существенным фактором, определяющим максимально воспроизводимый интервал плотностей, и поэтому также влияет на цветовой контраст. Обычный интервал плотностей для немелованных бумаг при наложении основных красок составляет около 1,5 ед., а для мелованных – около 2,0 ед.

В дополнение к пояснениям по измерениям цвета (раздел 1.4.1), где было описано применение спектральных методов, основанных на колориметрии, на рис. 1.4-17 кратко дается *денситометрия*. В сущности, здесь происходит измерение толщины красочного слоя посредством оценки оптического поглощения

света для краски известного цветового тона. Измерения производятся с помощью светофильтра, спектральная характеристика которого позволяет получить максимальные измеряемые значения и, следовательно, обеспечить высокую чувствительность измерений.

Следующий фактор, влияющий на качество воспроизведения, это применяемый *способ растривания*. Линиатура при традиционном, амплитудно-модулированном растривании зависит от размера наименьшей, надежно передаваемой точки (в офсетной печати от 10 до 20 мкм). Это позволяет обеспечить в офсетной печати передачу значительно меньших деталей, чем в других способах (например, флексографской или трафаретной печати). Обычно линиатура раstra составляет при изготовлении высококачественной продукции 60–80 лин/см (период находится в пределах 125–167 мкм). Такая линиатура раstra оптимальна, конечно, только для «нормального» расстояния рассматривания от 25 до 30 см. Большие иллюстрированные плакаты воспроизводятся грубыми растрами, так как их обычно рассматривают с соответственно больших расстояний.

Когда необходимо воспроизвести цвет определенного объекта (например, автомобиля), на процесс репродукции оказывают влияние освещение объекта при фотосъемке, возможные отражения, контрасты и цветовая температура источника света. В этом случае при решении задач репродукционного процесса фотография служит лишь промежуточным носителем информации. С появлением цифровой фотоаппаратуры (раздел 3.2.3) в комбинации с системами цифровой печати (например, NIP-системы) стало возможным создание полностью цифровых репродукци-

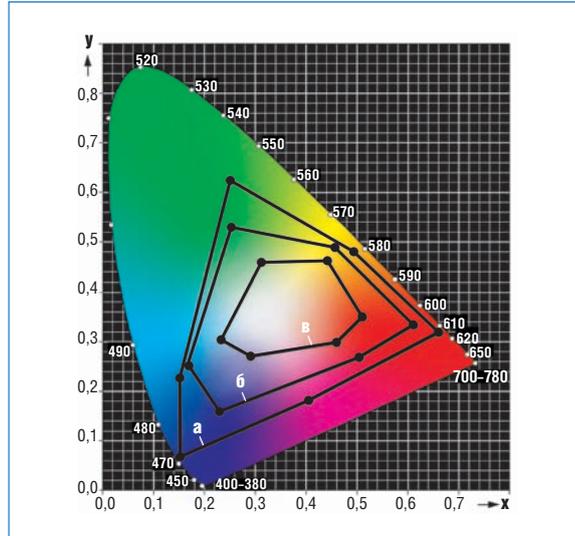


Рис. 1.4-16

Цветовые пространства в системе CIELAB для различных способов репродукции:

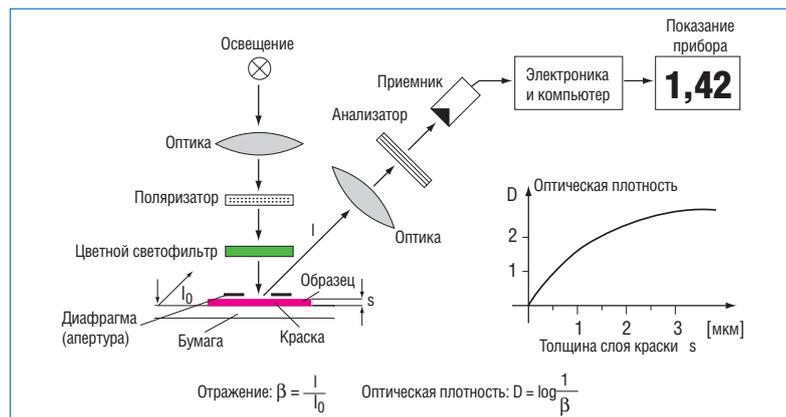
- а** цветная фотография (диапозитив);
- б** высококачественная офсетная печать;
- в** газетная печать

онных систем, технологический процесс в которых начинается фотографированием оригинала, а заканчивается выходом отпечатанной репродукции.

Важнейшим фактором, определяющим качество цветной репродукции, является собственно *цветоделение*. При этом нужно учитывать, что в преобладающем большинстве случаев многоцветная печать – это трехцветный репродукционный процесс, т.е. все цвета получают смешением трех основных красок. Даже, когда

Рис. 1.4-17

Измерение оптической плотности слоя краски с помощью денситометрии (принцип измерения)



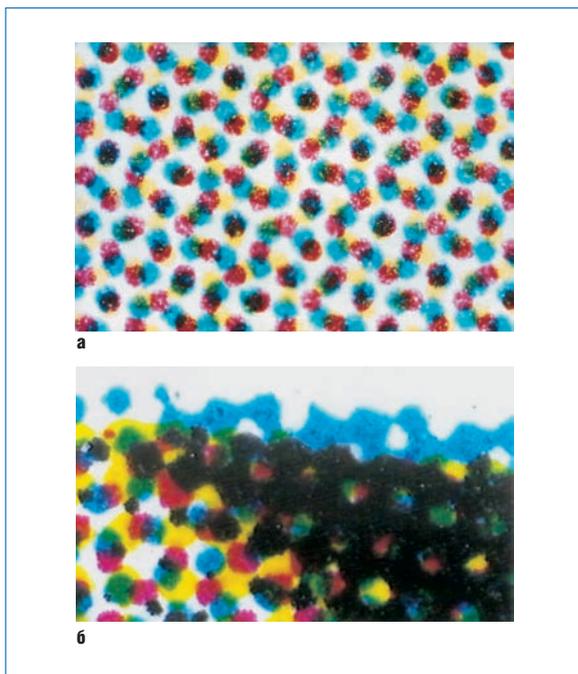


Рис. 1.4-18

Автотипная многокрасочная печать (микрофотографии оттиска), расстояние между растровыми точками около 167 мкм:

- а** равномерный участок цветного изображения (3-красочный оттиск);
- б** мелкая деталь цветного изображения (4-красочный оттиск)

на практике в качестве четвертой краски добавляется черная, это не изменяет того факта, что в полиграфическом репродукционном процессе все многообразие цветов получают посредством *трех основных красок*. При этом имеет принципиальное значение, насколько при цветоделении, необходимом для изготовления цветоделенных изображений, используемые светофильтры соответствуют печатным краскам, чтобы получить максимально точное цветовоспроизведение. Если светофильтры подобраны не оптимальным образом, то становятся необходимыми дополнительные преобразования цвета (управление цветом изложено в разделе 3.2.10).

Цветоделение

Цветоделение, необходимое для получения цветного изображения, рассчитано на субтрактивное смешение цветов, несмотря на то, что цветовой синтез в полиграфии является по существу *автотипным синтезом* цвета.

Растровые точки в многокрасочной печати располагаются как отдельно одна от другой, так и одна поверх другой. На печатном оттиске имеют место два вида смешения: *субтрактивное* (последовательное наложение растровых точек для разных красок) и *аддитивное* (объединение рядом стоящих разноцветных растровых точек глазом наблюдателя). На рис. 1.4-18,а это показано на примере трехкрасочного оттиска. На рис. 1.4-19 представлены *цветоделенные изображения* и последовательное наложение красок при печати на четырехкрасочной офсетной машине.

Достаточно мелкие, лежащие непосредственно одна рядом с другой растровые точки соответствуют аддитивному синтезу цвета, подобно тому, как это происходит в случае возбуждения элементов люминесцентного покрытия цветного монитора. На репродукции в сравнении с этим растровые точки (окрашенные участки) освещаются, и рассеянный (отраженный) свет попадает в глаз наблюдателя, где соответствующие цветовые раздражения складываются.

Красочные слои, наносимые на запечатываемый материал, должны быть прозрачными, т.е. действовать как цветные светофильтры для того, чтобы осуществлялся физический принцип субтрактивного синтеза цвета.

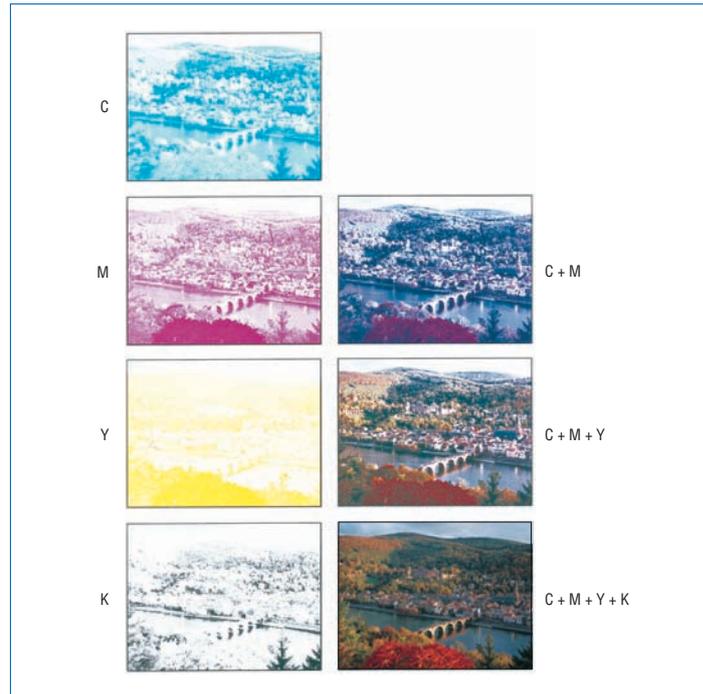
Исключительно субтрактивный синтез цвета наблюдается при последовательном наложении красок на больших по размерам запечатываемых участках. В чисто субтрактивном синтезе яркость цвета убывает с толщиной красочного слоя.

В автотипном процессе при многокрасочной репродукции растровая структура и регулировка приводки красок при их последовательном наложении неизбежно приводят к появлению сложного, изменяющегося сочетания субтрактивного и аддитивного смешения цвета. Отсюда следует важное требование к спектральным свойствам печатных красок. Это требование сводится к тому, что как при синтезе цвета за счет расположения окрашенных растровых точек на запечатываемой поверхности одна рядом с другой (аддитивный синтез), так и при размещении этих точек одна поверх другой (субтрактивный синтез) цветовая смесь должна восприниматься наблюдателем как один и тот же цвет.

Это требование к идеальным основным печатным краскам выполняется только тогда, когда их спектральные кривые соответствуют П-образным, при этом зна-

Рис. 1.4-19

Цветоделенные изображения и последовательное наложение красок репродукции (в четырехкрасочной офсетной печати)



чения спектральных величин находятся между 0 и 1, и не должно быть более двух скачков функции (особые эффекты, проявляющиеся в растровой репродукции, такие, как поглощение света [1.4.9], здесь не учитываются). Более того, *П-образные спектральные кривые* всех трех красок должны идеальным образом примыкать друг к другу. Далее, участки переходов *П-образных кривых* необходимо выбирать таким образом, чтобы получить максимально возможный цветовой диапазон по сплошным красочным слоям. Различные опыты показали, что первый идеальный перепад должен быть между 489 и 495 нм, а второй – между 574 и 575 нм. Соответствующие спектральные распределения изображены на рис. 1.4-20. Основные краски, отвечающие перечисленным требованиям, называют также *идеальными* или *оптимальными красками* [1.4-1].

Расчет многокрасочного репродукционного процесса для идеальных красок был бы достаточно простым. В качестве печатных красок используют пурпурную, голубую и желтую, а красный, зеленый и синий цвета получают субтрактивным синтезом основных красок. Если отметить на u',v' -диаграмме координаты цветности идеальных основных красок и синтезируемые ими субтрактивные цвета первого порядка (крас-

ный, зеленый, синий), то окажется, что цвета основных красок лежат точно на линиях, соединяющих точки смешанных цветов. *Ахроматическая точка* (E) получается соединением лежащих друг напротив друга основных и смешанных цветов. Смешение в одинаковых соотношениях количеств основных красок дает идеальный нейтральный серый цвет. Расположение и величина треугольника на u',v' -диаграмме характеризуют цветовой охват (рис. 1.4-21). В противоположность рис. 1.4-16 здесь имеет место отображение не в x,y -системе, а в u',v' -системе (как описано в разделе 1.4.1, эти отображения равнозначны, так как могут быть однозначно преобразованы друг в друга).

Для идеальных красок преобразование значений RGB в CMY становится действительно несложной операцией. В соответствии с данной простой моделью спектральных кривых печатных красок в первых версиях языка описания страниц PostScript [1.4-4] метод преобразования цвета базировался на соотношениях:

голубой=1,0-красный,
пурпурный=1,0-зеленый,
желтый=1,0-синий.

Черный цвет (обозначают буквой «К», от «Key Color») воспроизводится, как известно, смешением или нало-

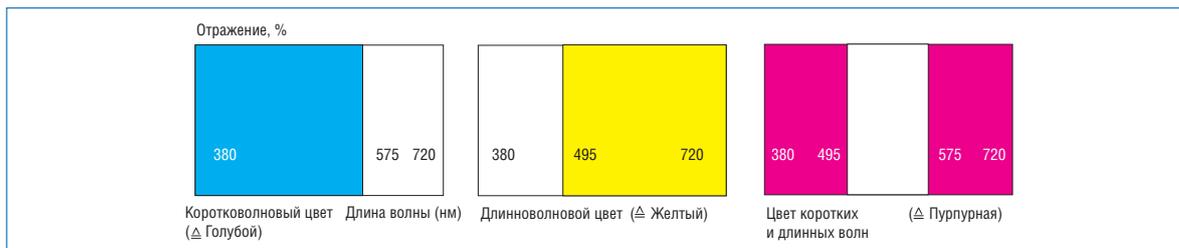


Рис. 1.4-20

Спектральные распределения (относительное отражение) для «идеальных» красок

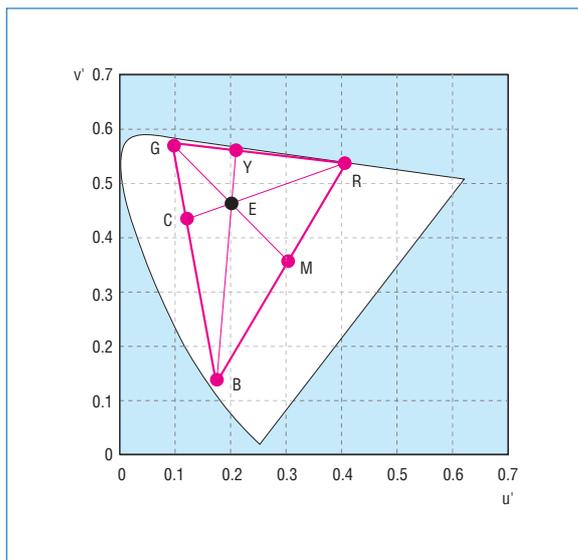


Рис. 1.4-21

Координаты цветности основных цветов (идеальных красок согласно рис. 1.4-20) и цветов, полученных при их субтрактивном смешении («идеальная многокрасочная печать») [1.4-1]

жением красок: красной (R), зеленой (G), синей (B) или голубой (C), пурпурной (M), желтой (Y). Создатели PostScript считали, что одинаковые количества трех основных красок должны давать идеальный нейтральный серый цвет. Следовательно, максимально возможное количество черной краски на цветоделенном изображении можно рассчитать по наибольшему количеству основных красок (раздел [1.4-4]). Эти допущения были настолько далеки от практики, что при использовании в технологии многокрасочной репродукции систем PostScript первого поколения результаты цветовоспроизведения оказались неудовлетворительными. Это было исправлено в дальнейших версиях системы.

По аналогии с выбором идеальных основных красок для репродукционных процессов осуществляется подбор идеальных цветоделительных светофильтров, которые должны быть согласованы с основными красками. Это требование, по меньшей мере, приложимо к аналоговому фотомеханическому репродуцированию, в котором невозможны другие глубокие преобразования цвета (такие, например, как в системе управления цветом). Тем не менее, поскольку приближение к идеальным основным краскам не реализуется на практике, теоретическое рассмотрение идеальных цветоделительных светофильтров можно этим и ограничить.

В действительности, применяемые на практике печатные краски – лишь несовершенное приближение к идеальным. На рис. 1.4-22 показаны характерные спектральные кривые реальных основных красок многокрасочного полиграфического синтеза вместе с П-образными профилями идеальных красок. Можно видеть, что реальные основные краски отражают или поглощают не в отдельной части спектра; имеются также нежелательные побочные спектральные эффекты. Из этого следует, что в многокрасочной репродукции теоретически возможный цветовой охват недостижим.

Кроме того, аддитивное и субтрактивное смешение дает на репродукции неодинаковый цвет, что ведет к дисбалансу в автотипном (растровом) синтезе изображения. Фактом является и то, что нейтральный серый цвет нельзя получить одинаковыми количествами основных цветов (в цветоделенных изображениях), а значения RGB нельзя перевести в значения CMY простым преобразованием.

На практике оказалось, что определенная комбинация неравных частей основных красок в стандартизированной офсетной печати дает нейтральный серый (например, в плоской офсетной печати



Рис. 1.4-22

Спектральное распределение (коэффициент спектрального отражения) печатных красок многокрасочной печати [1.4-1]

относительные площади растровых точек цветоделенных фотоформ для относительно темно-серого цвета составляют: голубая – 70%, пурпурная – 60%, желтая – 60%, или для более светло-серого цвета: голубой – 24%, пурпурный – 18%, желтый – 18%). Эти данные принимаются во внимание как характерные колориметрические свойства реальных печатных красок и полезны для контроля специфического параметра – *баланса по серому* (рис. 1.4-42). Конечно, эти данные нельзя непосредственно переносить на другие триады и способы печати, что было бы возможно при использовании идеальных красок.

Оптимальное использование основных (триадных) красок обобщенно должно удовлетворять следующим требованиям [1.4-1]:

- спектральные свойства, относящиеся к отражению или поглощению основных красок, должны максимально приближаться к свойствам идеальных красок;
- цветовые координаты основных красок должны выбираться так, чтобы получить возможно наибольший цветовой охват;
- равные количества основных красок должны давать при аддитивном и субтрактивном смешении цвета в печати ахроматические тона, которые бы максимально приближались к нейтральному серому (при идеально белом запечатываемом материале);
- цвета, получаемые в результате смешения первого порядка (дополнительные), должны находиться в цветовом круге как можно ближе к середине отрезков, соединяющих точки цветов основных красок в цветовом круге (цветовом пространстве).

Репродукционный процесс

В технологии многокрасочной репродукции наряду с выбором идеальных основных красок и цветоделительных светофильтров главное значение имеет согласование технологических стадий и применяемых материалов. Когда реальный сюжет посредством промежуточного фотографического процесса переносится на печатный оттиск, то речь идет о *многоступенчатой цепи передачи информации*. Участки сопряжения звеньев и параметры этой цепи, как правило, могут контролироваться и управляться направленными действиями оператора.

Если некоторые свойства процесса преобразования изображения (репродукции) являются практически неизменными (статическими), как константы режима работы машины, то другие управляемые звенья передаточной цепочки должны быть подстроены под эти константы. Так, например, в печатных красках могут использоваться лишь определенные реальные пигменты. Однако их спектральные характеристики сильно отличаются от характеристик идеальных красок. Следовательно, цветоделительные светофильтры, которые используются при изготовлении цветоделенных фотоформ (раздел 3.1.3.6), должны быть в соответствии с оптимальной схемой технологического процесса и подобраны таким образом, чтобы компенсировать эту неидеальность.

Испытанный на практике способ согласования отдельных модулей в репродукционной технике – это преобразование *градационных* или *характеристических кривых* (раздел 3.1-3 и рис. 3.1-15). Действительно, у пользователя едва ли остается другая воз-

возможность точного согласования компонентов в аналоговой информационной цепи. Именно по этой причине на практике особенно распространено использование уже цветоделенных данных СМΥК.

Несмотря на то, что обработка изобразительной информации в цветовых системах RGB или Lab, с точки зрения теории информации, дает значительные преимущества (например, обеспечивает более широкий цветовой охват), опытный специалист по репродуцированию предпочитает выбирать для обработки цветовую систему конечных цветов печати (чаще всего СМΥК), так как здесь он имеет прямой доступ к конечным градациям основных красок. И напротив, почти невозможно без использования системы управления цветом с помощью градационных преобразований значений RGB направленно воздействовать на результат репродуцирования красками СМΥК.

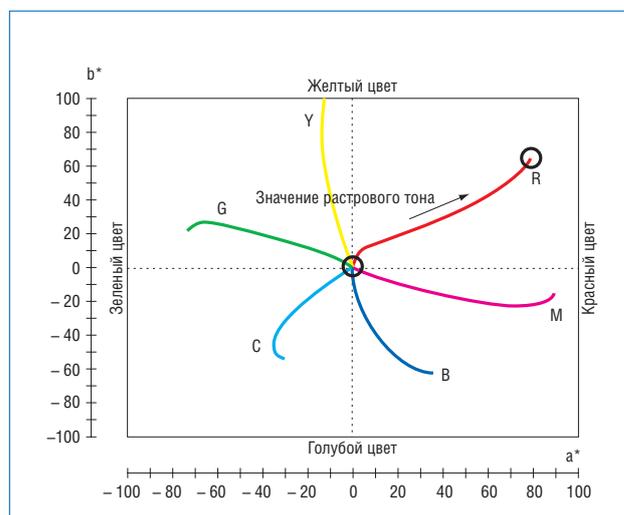
Опыт реализации современных репродукционных процессов ведет к предположению, что градаций основных красок достаточно для удовлетворительного отображения градационных характеристик репродукционной системы. Это предположение неверно лишь для случая, предполагающего использование несоответствующих технологий конечного вывода (например, офсетная печать и другие традиционные способы, но, прежде всего, бесконтактная печать). В действительности градации синтезированных цветов изменяются непропорционально градациям основных красок.

Рис. 1.4-23

Градационные кривые при изменении относительного размера растровой точки (от 0 до 100%) для основных цветов СМΥ и получаемых из них дополнительных цветов RGB при наложении красок в системе CIELAB (термопереводная система цветопробы ThermoTransfer Proof System «Rainbow», Imation)

Для понимания проблемы полезно обратиться к равноконтрастной системе (например, CIELAB). Для этого с помощью колориметра определяют цветовые координаты (относительная площадь растровых точек 100% при определенной толщине красочного слоя) основных красок – голубой, пурпурной, желтой, а также цветов двойных наложений – красного, зеленого, синего и, наконец, цветовые координаты незапечатанной бумаги. Получают семь координат в плоскости a^*, b^* -диаграммы Lab. Определяют также реальные координаты Lab для шести градаций (растровых тоновых шкал) и получают шесть кривых, которые выходят из точки белого (цвет бумаги) и заканчиваются в точках для плашек. На примере репродукционных характеристик термосублимационного печатающего устройства (рис. 1.4-23) можно установить, что градационные характеристики по основным и двойным наложениям на a^*, b^* -диаграмме изменяются не линейно.

При предположении, что передача градации в системе Lab является равноконтрастной, можно сделать вывод, что система градационных кривых по основным цветам не полностью отображает характеристики репродукционного процесса. Эти характеристики свойственны для систем вывода (подобные данные получаются и в плоской офсетной печати). Соответственно вызывают сомнения возможности улучшения качества изображения путем градационных преобразований. За отсутствием подходящих методов их использование оп-



равдывает себя в аналоговых репродукционных процессах и, разумеется, едва ли оправдано в цифровой обработке информации. Это подтверждается практическим опытом. Специалисты по репродуцированию при градационной коррекции действуют чаще интуитивно, чем на основе числовых данных.

Приведение в соответствие отдельных модулей обработки аналоговых и цифровых репродукционных систем посредством градационных кривых можно назвать «*связью по градационным кривым*». Она может осуществляться с помощью денситометра или посредством другой подобной оценки (например, в программах обработки изображений). Строго говоря, это возможно только там, где:

- в обоих отдельных модулях используется одно и то же цветовое пространство (например, СМΥΚ);
- цветовые координаты основных красок одинаковы;
- оба отдельных модуля имеют тождественные градационные характеристики.

Только при выполнении всех перечисленных требований возможно добиться соответствия оборудования по градационным кривым. Во всех других случаях должны проводиться более сложные преобразования цветового пространства (например, могут использоваться многомерные таблицы или функции). Для определения параметров подобного преобразования цветового пространства, как правило, требуется колориметр.

Использовать градационные кривые для управления процессом можно лишь тогда, когда имеются две одинаковые цветовые системы. Это первое требование обычно обеспечивается соответствием фотоформы печатной формы или печатной формы печатному процессу, так как здесь речь идет о четырех отдельных каналах, а переход к цветовому пространству СМΥΚ печатной системы произошел еще раньше, на допечатной стадии. В этом случае цветовые координаты основных красок не изменяются. При управлении цифровыми печатными системами, например из массивов данных PostScript, чаще имеет место другая ситуация. Когда принтер управляется с помощью данных RGB, нельзя перейти к СМΥΚ только заданием информации о градациях – первое требование по соответствию через градационные кривые не выполняется.

Даже если цветовое представление в обоих модулях информационной цепи одинаково, не всегда возможно обеспечить согласование на основе градационных кривых. При настройке, например, цветного копировального устройства (электрофотография с сухим тонером) под процесс офсетной печати, хотя системы вывода и основаны на СМΥΚ, но цветовые координаты их основных красок заметно отличаются, т.е. не выполняется второе требование.

При разработках способов аналоговой цветопробы (например, Cromalin, Matchprint; раздел 3.1.6) создавали порошковые тонеры или переводную цветную фольгу, для которых цветовые координаты основных красок соответствовали бы координатам стандартных триадных красок, измеренным при стандартном источнике света. К тому же эти красители должны иметь те же самые характеристики (эффект растискивания), как и обычные печатные краски. За отсутствием подходящего красящего материала или пигмента были найдены лишь наиболее близкие заменители печатных красок. Поэтому, строго говоря, эти материалы также не отвечают всем требованиям идентичности градационных характеристик. Тем не менее подобные приближенные решения широко применяются на практике.

В современных *цифровых системах цветопробы*, основанных на бесконтактном способе печати (глава 5), больше не пытались подбирать колориметрические градационные характеристики под соответствующий способ печати с помощью выбора наиболее подходящего красящего вещества. Здесь для обеспечения соответствия оборудования проводят многомерные преобразования цвета при помощи систем управления цветом и методов колориметрии.

Черная краска

Выше черная краска упоминалась лишь как составная часть цветовой системы СМΥΚ, но не были даны конкретные сведения, касающиеся получения *цветоделенного изображения для черной краски* (рис. 1.4-19).

Черная краска в основном используется в многокрасочной репродукции для того, чтобы уменьшить технологические издержки печати тремя цветными красками для получения черных или серых тонов. Для формирования ахроматической шкалы непосредствен-

но используется черная краска, что позволяет сэкономить дорогостоящие цветные и стабилизировать печатный процесс, т.е. сделать его менее чувствительным к колебаниям количества отдельных красок.

Существует много способов управления цветоделенным изображением для черной краски, т.е. замены сочетания голубой, пурпурной и желтой четвертой краской – черной:

- UCR – хроматическая комбинация с вычитанием цветных красок в темных участках;
- GCR – ахроматические тона печатаются либо полностью, либо частично вычитанием цветных красок из под черной;
- UCA – ахроматические тона печатаются с добавлением цветной краски.

Эти процессы будут описаны ниже в примерах хроматических композиций (на рис. 1.4-24 приведены условные для наглядности примеры, не претендующие на метрологическую точность).

Хроматическая комбинация. В этом случае все цветовые оттенки получают цветными красками: голубой (C), пурпурной (M) и желтой (Y). Черная краска (K) также может использоваться для улучшения передачи градации в тенях изображения и для лучшей проработки контуров. Темные цветовые тона получают смешением трех основных цветных красок.

Если, например, необходимо получить более темный голубой оттенок, то добавляют в соответствии с необходимой степенью потемнения определенное количество пурпурной и желтой красок. Однако их количество должно быть заметно меньше, чем голубой. Это количество пурпурной и желтой красок, добавленных к определенному количеству голубой, придает голубому участку темный оттенок. Дополнительные пояснения можно дать с помощью примеров. Коричневый цвет, изображенный на рис. 1.4-24,а, был получен с помощью 70% голубой, 80% пурпурной и 90% желтой красок. Суммарное количество красок составляет 240%. Черная краска не используется. Однако из-за большого количества цветных красок достаточно трудно стабилизировать баланс по серому.

Коричневый цвет, показанный на рис. 1.4-24,а имеет хроматическую и ахроматическую составляю-

щие. Ахроматическая составляющая сформирована голубой, пурпурной и желтой красками, взятыми в количестве 70% каждая. При наложении эти краски дают цвет, близкий к серому. Оставшееся количество пурпурной (10%) и желтой (20%) красок образуют хроматическую составляющую.

Хроматическая комбинация с вычитанием цветных красок. Вычитание цветных красок (UCR – Under Color Removal) – это один из вариантов хроматической комбинации, в которой ахроматическую составляющую частично заменяют черной краской.

Предположим, что на данном (рис. 1.4-24) примере должно быть проведено 30%-ное вычитание цветных красок для получения коричневого цвета. При этом ахроматическая составляющая, состоящая из голубой, пурпурной и желтой красок, по отношению к 70, 80 и 90 уменьшается на 30% и заменяется соответствующим количеством черной краски. В результате общее количество красок составляет не 240%, как ранее, а лишь 180% при сохранении цветового тона. Это существенным образом облегчает работу печатника, так как уменьшается риск отмарывания (перехода краски на обратную сторону оттиска в стопе, раздел 1.7) и становится легче поддерживать цветовой баланс (рис. 1.4-24,в).

Ахроматическая комбинация. В противоположность рассмотренному выше случаю вся ахроматическая составляющая заменяется черной краской (GCR – замена ахроматической составляющей). Таким образом, темные цвета формируются не за счет использования дополнительных красок, а исключительно посредством черной краски. В приводимом примере коричневый цвет при использовании этой технологии образован только пурпурной, желтой и черной красками (рис. 1.4-24,с). Общее количество красок составляет 100%. В результате значительно уменьшается количество голубой, пурпурной и желтой красок по всему изображению, печатный процесс становится стабильнее, закрепление краски значительно улучшается.

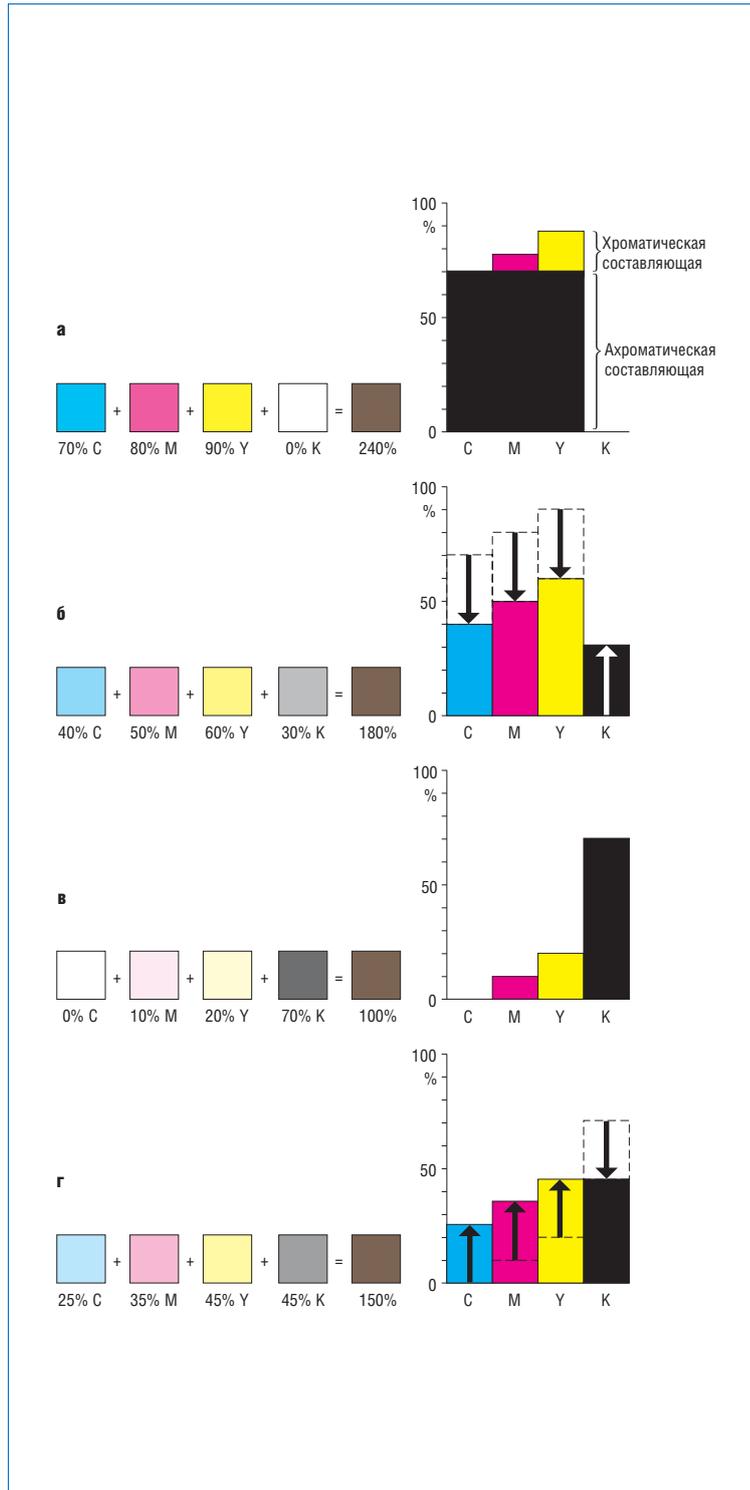
Ахроматическая композиция с добавлением цветных красок. Добавление цветных красок (UCA – Under Color Addition) – вариант ахроматической композиции. Если плотность черной краски недос-

Рис. 1.4-24

Примеры получения цветоделенного изображения на примере коричневого цвета в многокрасочной печати:

- а** хроматическая композиция;
- б** хроматическая композиция с вычитанием цветных красок из-под черной (UCR);
- в** ахроматическая композиция (с полным вычитанием ахроматической составляющей GCR);
- г** хроматическая композиция с добавлением цветных красок (UCA).

Примечание: изображение служит для объяснения принципов и не является метрологически точным [1.4-8]



таточно для усиления нейтрально-серых теней изображения, в ахроматическую составляющую вновь вводят голубую, пурпурную и желтую краски. При этом уменьшают количество черной краски (например, на 25%, как показано на рис. 1.4-24,г). Эта технология сегодня широко распространена и оправдала себя на практике. При использовании данного метода качество печати соответствует качеству изображения.

Многокрасочная HiFi-репродукция

Для расширения цветового охвата в многокрасочной печати с целью максимального приближения к охвату, который доступен зрительному восприятию человека, а также к охвату цветного высококлассного монитора или цветной фотографии, в некоторых случа-

ях вдобавок к голубой, пурпурной, желтой и черной (C, M, Y, K) применяют краски дополнительных к ним цветов, т.е. красную, зеленую и синюю.

Печать, полученную, например, в семикрасочной листовой офсетной машине, называют HiFi-репродукцией (высококачественной многоцветной репродукцией). На рис. 1.4-25 для сравнения в стандартизованном цветовом пространстве CIE показан достижимый при использовании данной технологии цветовой охват (рис. 1.4-6, 1.4-16).

Использование даже шести красок, т.е. двух дополнительно к голубой, пурпурной, желтой и черной, приводит к заметному увеличению цветового охвата. Поэтому к HiFi-репродукции относится также и технология «Hexachrome», использующая такие специальные краски, как оранжевая и зеленая.

Рис. 1.4-25

Цветовой охват HiFi-печати на диаграмме цветности CIE (x, y, z) (система: голубой, пурпурной, желтой + красной, зеленой и синей красок в сравнении с охватом обычной многокрасочной печати).

Примечание: изображение служит для принципиального объяснения и не является метрологически точным [1.4-8]

