



# **Дмитрий Феликсович Миронов**

## **Компьютерная графика в дизайне**

*Текст предоставлен издательством*

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=645155](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=645155)*

*Компьютерная графика в дизайне: БХВ-Петербург; СПб; 2008*

*ISBN 978-5-9775-0181-1*

### **Аннотация**

Рассмотрены фундаментальные понятия и концепции компьютерной графики, информационные модели цвета, модели векторного и пиксельного изображений и приемы работы с ними. Основное преимущество учебника в том, что изложение материала не привязано к конкретным программным продуктам. Подробное описание практических методов векторной и пиксельной графики дополнено многочисленными примерами и иллюстрациями, приведен словарь основных терминов компьютерной графики.

*Для студентов и преподавателей вузов и пользователей, интересующихся компьютерной графикой.*

# Содержание

Введение	6
Структура учебника	8
Аппаратные и программные средства	10
Обращение к студентам	11
Благодарности	12
Часть I	13
1.1. Предмет компьютерной графики, ее инструментарий и прикладные области	13
1.1.1. Предмет компьютерной графики	13
1.1.2. Объектная диаграмма предметной области компьютерной графики	13
1.1.3. Информационные модели	14
1.1.4. Программные средства	14
1.1.5. Аппаратные средства	16
Процессор и оперативная память	17
Накопители	17
Видеокарты	17
Мониторы и видеопроекторы	18
Печатающие устройства	19
Устройства графического ввода	19
1.1.6. Области, в которых широко используется компьютерная графика	21
Дизайн и художественное творчество	21
Массмедиа и полиграфия	22
Анимация	22
Кинематография	23
Трехмерное моделирование	23
Фотография	23
Автоматизация проектирования	24
Деловая графика	24
Список новых терминов	25
Контрольные вопросы	25
Темы для обсуждения	26
1.2. Информационные модели изображений	27
1.2.1. Концепция информационной модели изображения	27
1.2.2. Схема работы с информационной моделью изображения	28
1.2.3. Векторная информационная модель	33
1.2.4. Пиксельная информационная модель	37
Список новых терминов	40
Контрольные вопросы	40
Темы для обсуждения	41
1.3. Информационные модели цвета	43
1.3.1. Природа цвета и физиологические основы его восприятия	43
Функции цвета в изображении	43

Свет	44
Спектральное распределение	45
1.3.2. Излученный и отраженный свет	47
Излученный свет	47
Отраженный свет	48
Роль внешнего источника света	50
1.3.3. Ахроматические модели	50
Штриховая модель	50
Монохромная модель	51
1.3.4. Модель индексированного цвета	53
Имитация цвета	54
1.3.5. Аддитивная модель	55
Модель RGB	56
Цветность и треугольник цветности	57
Цветовой круг	58
Достоинства и недостатки модели цвета RGB	59
Стандартные цветовые пространства RGB	59
Модели XYZ и xyY	60
1.3.6. Субтрактивная модель	66
1.3.7. Модели HSB и HSL	67
1.3.8. Модель Lab	69
1.3.9. Системы цветосовмещения	70
1.3.10. Цветовые модели повышенной точности	71
1.3.11. Системы управления цветом	72
Причины, вызывающие необходимость управления цветом	72
Состав и функции систем управления цветом	73
Процесс сохранения семантики цвета	74
1.3.12. Методы преобразования цветовых пространств	75
Перцептивный метод преобразования цветовых пространств	76
Преобразование цветовых пространств с сохранением насыщенности цвета	76
Относительный колориметрический метод преобразования цветовых пространств	76
Абсолютный колориметрический метод преобразования цветовых пространств	77
Преобразование цветовых пространств и потеря визуальной информации	77
1.3.13. Профили ICC и калибрование устройств графического ввода и вывода	77
Профилирование устройств графического ввода	78
Профилирование мониторов	79
Профилирование устройств графического вывода	80
Список новых терминов	80
Контрольные вопросы	81
Темы для обсуждения	84
Часть II	85
2.1. Объектно-ориентированное графическое моделирование	85

2.1.1. Графические объекты и их классы	85
2.1.2. Атрибуты класса графических объектов	87
2.1.3. Методы класса графических объектов	88
2.1.4. Форматы графических файлов векторных графических документов	88
Формат графического редактора CorelDRAW (CDR)	89
Формат графического редактора Adobe Illustrator (AI)	89
Форматы системы AutoCAD	89
Формат PostScript	90
Формат Encapsulated PostScript (EPS)	90
Формат Computer Graphics Metafile	90
Формат Scalable Vector Graphics	91
Формат Windows Metafile	91
Список новых терминов	91
Контрольные вопросы	91
2.2. Параметрические примитивы	93
2.2.1. Параметризация графического объекта	93
Конец ознакомительного фрагмента.	95

# Дмитрий Феликсович Миронов

## Компьютерная графика в дизайне

*С любовью и благодарностью посвящается супруге автора  
Ирине Мироновой*

### Введение

Настоящее издание представляет собой базовый учебник по дисциплине «Компьютерная графика», которая появилась в учебных программах вузов сравнительно давно, но раньше преподавалась только студентам технических специальностей. В современных условиях компьютерная графика стремительно превращается в базовый курс, ее приемы и концепции интенсивно используются во многих смежных дисциплинах, в том числе и считавшихся до последнего времени сугубо гуманитарными. Поэтому ее изучение стало необходимым и для студентов, не имеющих достаточной подготовки по циклам точных наук, на знании которых обычно основывался курс компьютерной графики. Настоящая книга адресована в первую очередь студентам, обучающимся по специальности 351400 «Прикладная информатика в дизайне». Ее структура соответствует разделу «Компьютерная графика» Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по данной специальности.

Эта книга может также оказаться полезной всем, кто имеет дело с применением компьютерной графики в самых разных сферах деятельности: школьникам, студентам, специалистам по рекламе и по связям с общественностью, работникам издательств, фотографам (как любителям, так и профессионалам), разработчикам публикаций, размещаемых в компьютерных сетях.

Всем перечисленным специалистам необходимо владеть программными средствами и приемами работы с объектами компьютерной графики, в первую очередь с изображениями, представленными в цифровой форме. Эти средства и приемы чаще всего осваивают с помощью учебника-самоучителя по той или иной программе. На сегодняшний день издано множество таких учебников, но в подавляющем большинстве этих книг не рассматриваются фундаментальные понятия компьютерной графики. По этой причине у многих практиков нет понимания основных концепций дисциплины, из-за чего часто возникает недостаточное владение приемами и навыками, что неизбежно влечет за собой очень низкое качество всей работы. Усугубляет ситуацию отсутствие стандартной терминологии, – компьютерная графика еще сравнительно молода, постоянно развивается, и среди ее терминов встречается много неологизмов и транслитерированных слов, об использовании которых даже у авторитетных специалистов в области компьютерной графики еще нет общего мнения. Процесс снижения уровня профессионализма во владении средствами компьютерной графики сегодня зашел настолько далеко, что даже сам термин "компьютерная графика" зачастую трактуется как синоним низкого качества и дурного вкуса.

Безусловно, качество объектов визуальной коммуникации в первую очередь определяется степенью креативности автора, его талантом и вкусом. Но для реализации своего замысла автору необходимо воспользоваться техническими приемами. Недостаточное знание и понимание этих приемов или концепций, лежащих в их основе, увеличивает долю рутинных операций, оставляя меньше времени для творческого процесса. Кроме того, зачастую именно понимание возможностей технических приемов может подсказать новую идею, нетривиальное творческое решение.

Наличие самого современного компьютера с огромными ресурсами и новейшими версиями графических программ само по себе не обеспечивает высокого качества результатов труда их владельца – для этого нужны еще талант, вкус и знания. Но при достаточно хорошем понимании основ компьютерной графики можно в полной мере овладеть арсеналом технических приемов работы с графическими программами. Это, в свою очередь, позволит не только резко повысить эффективность творческого труда (за счет сокращения объема рутинных операций и ускорения их выполнения), но и перевести его на новый качественный уровень, высвобождая время автора для решения творческих задач, давая ему возможность сравнить множество вариантов реализации своих замыслов.

Во многих областях человеческой деятельности компьютерная графика обслуживает искусство, беря на себя роль его "технического арсенала". Сегодня пренебрежение этим арсеналом средств влечет за собой низкую эффективность труда, зачастую полную невозможность решения профессиональных задач в отведенные сроки. В настоящее время для большинства дизайнеров компьютер и программные средства работы с изображениями стали главными рабочими инструментами. То же можно сказать о полиграфистах, кинематографистах и художниках.

Приведенные соображения со всей очевидностью доказывают необходимость изучения основ компьютерной графики как отдельной дисциплины.

## Структура учебника

Как уже упоминалось, эта книга представляет собой учебник по компьютерной графике для дизайнеров и информатиков-дизайнеров. В ней рассмотрены общие концепции компьютерной графики, информационные модели, в соответствии с которыми изображения представляются в памяти компьютеров, и приемы работы с этими моделями, позволяющие создавать и изменять изображения по замыслу автора.

Книга состоит из трех частей. В *части I* рассмотрена прикладная область, предмет, фундаментальные понятия и процессы компьютерной графики, а также ее применение.

В *главе 1.1* дано определение предмета компьютерной графики, сформулированы понятия информационной модели изображения, графического проектирования, программного и аппаратного инструментария компьютерной графики. Кратко описаны прикладные области, в которых широко используются методы и средства компьютерной графики.

В *главе 1.2* рассмотрена классификация информационных моделей изображений, обобщенный процесс графического проектирования, а также особенности векторной и пиксельной моделей.

В *главе 1.3* изложены вопросы, связанные с применением информационных моделей цвета в компьютерной графике. Приведено описание устройства и назначения основных моделей цвета, концепции системы управления цветом, профилирования и калибрования графических устройств.

В *части II* рассмотрена реализация информационной модели векторного изображения и приемы, составляющие ядро всех современных программных средств работы с векторными изображениями.

В *главе 2.1* сформулированы концепция объектно-ориентированного графического проектирования, понятия методов и атрибутов классов графических объектов, лежащие в основе большинства программных средств векторной графики.

В *главе 2.2* описаны параметрические примитивы, широко применяющиеся в графическом моделировании.

В *главе 2.3* рассмотрена информационная модель линии, составляющие ее подобъекты и приемы работы с ними, а также логические операции над графическими объектами.

*Глава 2.4* содержит описание обводок и заливок – важнейших способов модификации внешнего вида векторных графических объектов.

*Глава 2.5* посвящена векторной информационной модели текста, разновидностям векторного текста, основным операциям его верстки и преобразования.

*Глава 2.6* посвящена неспецифическим операциям над объектами: аффинным преобразованиям, выравниванию, распределению, копированию, дублированию, клонированию и др.

В *главе 2.7* рассмотрены операции построения и разрушения структурных единиц векторного графического изображения, объединяющих в единые объекты совокупности графических объектов.

*Глава 2.8* посвящена составным графическим объектам, обеспечивающим большую гибкость в создании графических объектов произвольной формы и их преобразовании.

В *главе 2.9* описаны приемы работы, применяемые в графических проектах, включающих в себя как пиксельные, так и векторные объекты.

*Глава 2.10* посвящена выводу векторных изображений на печать.

В *части III* рассмотрены реализация информационной модели пиксельного изображения, ее прикладные аспекты, концепции и приемы, на основе которых построены все программные средства пиксельной графики и цифровой фотографии.



В *главе 3.1* описан растр – основа пиксельной информационной модели изображения и наиболее важные характеристики пиксельного изображения.

В *главе 3.2* приведен обзор источников пиксельных изображений и даны рекомендации по работе с этими источниками.

В *главе 3.3* перечислены наиболее распространенные форматы графических файлов на основе пиксельной информационной модели.

В *главе 3.4* обсуждается устройство графических документов на основе пиксельной информационной модели, рассматриваются ее важнейшие расширения: слои, прозрачность и каналы цвета.

*Глава 3.5* содержит концепцию выделенной области, основные методы ее построения и работы с ней.

*Глава 3.6* описывает базовые приемы работы с пиксельными изображениями в контексте задач, наиболее часто возникающих при графическом проектировании. Рассмотрена техника работы со штриховыми и монохромными изображениями, концепция и приемы выполнения их тоновой коррекции, особенности работы с цветными изображениями, приемы построения коллажа из нескольких изображений.

В *главе 3.7* изложены основы цветовой коррекции изображений, описаны приемы диагностики цветовых искажений, универсальная схема коррекции, селективная коррекция запоминающихся цветов.

*Глава 3.8* посвящена особенностям работы с текстами в составе пиксельных графических документов.

В *главе 3.9* рассмотрены некоторые частные приемы работы с пиксельными изображениями: фильтры эффектов, гипертрофия контраста, обесцвечивание, раскрашивание и перекрашивание, дуплексы, текстуризация, соляризация и постеризация. Обширные разделы посвящены приемам имитации традиционной техники живописных и графических работ.

*Глава 3.10* посвящена ретуши пиксельных изображений. В ней приведены специфические приемы, позволяющие устранять или подавлять дефекты фотографий и сканированных изображений.

В *главе 3.11* рассмотрены аспекты допечатной подготовки изображений методами компьютерной графики.

В *гlossарии* приведены определения важнейших терминов компьютерной графики.

## Аппаратные и программные средства

В отличие от учебных курсов по программным средствам, для работы с этим учебником нет необходимости сразу садиться за компьютер – это можно и нужно будет сделать, когда придет осознание того или иного понятия, метода или приема и возникнет необходимость разобраться, как они реализованы в конкретной программе компьютерной графики.

Так что собственно *этот* учебник не накладывает дополнительных требований на конфигурацию и характеристики вашего компьютера. Данные ограничения приведены в учебниках по программным средствам компьютерной графики.

Что же касается необходимого программного обеспечения, то здесь требуются дополнительные разъяснения. Выбрав в качестве основы учебного курса те или иные графические редакторы, автор значительно упростил бы свою работу, но, увы, за счет снижения универсальности ее результата. Современные программные средства компьютерной графики сложны и ориентированы на практическое применение, у них обширные и изощренные интерфейсы пользователя, очень мало похожие один на другой. Из-за этого описание работы с программой А бесполезно для того, кто пользуется программой Б. Да и различные версии программы А могут довольно существенно отличаться друг от друга.

Вдобавок, описаний интерфейсов графических программ и методов работы с ними вполне достаточно – полки книжных магазинов и библиотек заполнены учебными курсами по конкретным графическим редакторам, некоторые из них весьма удачные. В каждом из курсов авторы подробно и с примерами показывают, как и в какой последовательности нужно действовать тем или иным инструментом. Но очень редко где написано, для чего эти действия нужны при графическом проектировании.

Автор ставил перед собой задачу создания такого учебника, который был бы полезен всем, начинающим заниматься компьютерной графикой и собирающимся применять ее методы в своей профессиональной деятельности – в первую очередь, конечно, дизайнерам. При этом не имеет значения, какими программами они пользуются сегодня или собираются воспользоваться завтра, поскольку везде, где это возможно, объекты компьютерной графики, ее концепции и приемы описаны инвариантно по отношению к конкретным программным средствам.

Последовательный отказ от привязки концепций и приемов к конкретным программным средствам привел к определенным сложностям с выбором терминов. К сожалению, одни и те же графические объекты и средства в различных программных пакетах называются по-разному. Дополнительную путаницу вносят переводчики. Автор старался пользоваться наиболее употребительными терминами, в отдельных случаях приводятся несколько терминов, все сколь либо важные понятия определены явным образом, и все определения сведены в приведенный в конце книги глоссарий.

Поэтому наиболее эффективной стратегией работы с этим учебником представляется его совместное изучение с двумя другими курсами: одним – по редактору векторных, другим – пиксельных изображений. Выбор конкретных программных средств остается за читателем.

## Обращение к студентам

Компьютерная графика – удивительный симбиоз науки, творчества и технических достижений. В ее пространстве сегодня существует много специализаций, огромен перечень профессий, в которых применяются ее методы. Даже для не слишком глубокого ознакомления с компьютерной графикой может потребоваться очень много времени и усилий. А чтобы добиться в ней настоящего профессионализма, необходимо потратить на освоение теории и практики многие годы.

Автор надеется, что данная книга поможет вам взять хороший старт на этом пути. Он настаивает на том, что освоение теории компьютерной графики должно идти одновременно с освоением соответствующих программных средств, и рекомендует работу с этой книгой сопровождать изучением прикладных курсов по программным средствам компьютерной графики, благо в хороших учебниках такого рода недостатка нет.

Искренне желаю вам успехов в обучении и творческой работе.

*Дмитрий Миронов*

*Санкт-Петербург, ноябрь 2007 года*

## Благодарности

Автор благодарен многим людям, без помощи которых эта книга не состоялась бы.

В первую очередь это его коллеги по факультету информационных технологий и медиа-дизайна Санкт-Петербургского университета культуры и искусств, многолетнее сотрудничество с которыми дало автору очень много как в профессиональном, так и в личном плане. Отдельные благодарности декану Т. В. Ляшенко и научному руководителю направления "Медиадизайн" **[Л. Н. Пахомовой]**.

Автор также признателен многим своим студентам, чей искренний интерес к компьютерной графике и энергия сыграли роль мощного стимула в работе над этой книгой.

Выражаю свою благодарность коллегам по Северо-Западной академии государственной службы, в первую очередь ректору А. С. Горшкову и первому проректору А. С. Тургаеву, за поддержку и помощь в многолетней работе.

Отдельные благодарности коллективу издательства "БХВ-Петербург", всем профессионалам, благодаря труду которых вышла в свет эта книга, в первую очередь В. А. Сергееву и Е. В. Кондуковой.

Автор благодарит В. М. Либермана, А. Д. Сухотина, А. С. Федорова, И. О. Крестовского за многолетнюю дружескую помощь и поддержку.

И наконец, я ничего не смог бы сделать без постоянной поддержки и понимания со стороны своей семьи, супруги Ирины и дочерей.

## **Часть I**

### **Информационные модели и цвет**

#### **1.1. Предмет компьютерной графики, ее инструментарий и прикладные области**

В этой главе рассматривается предмет компьютерной графики как научно-прикладной дисциплины, выделяются ее разделы, имеющие непосредственное отношение к дизайну, и сферы практической деятельности, в которых в настоящее время требуется квалифицированный труд специалистов, получивших подготовку в области компьютерной графики.

##### **1.1.1. Предмет компьютерной графики**

Предмет компьютерной графики – автоматизированные информационные процессы, связанные с различными аспектами работы с изображениями, представленными в цифровом виде в соответствии с той или иной информационной моделью. В наиболее общей форме такие информационные процессы можно разбить на три категории:

- создание изображения при автоматическом или автоматизированном построении его информационной модели;
- модификация изображения с помощью воздействия на его информационную модель;
- преобразование изображения, представленного в формате информационной модели в объект визуальной коммуникации.

Первая категория информационных процессов формирует первичную информационную модель изображения, с которой впоследствии можно работать, внося в нее изменения средствами программ для работы с графикой, или сохранять в формате графических файлов для последующего использования. В результате этого будет создан ранее не существовавший файл, содержащий информационную модель, представленную в соответствии с тем или иным форматом. Пример такого процесса – сканирование изображения. Подробнее процессы первой категории рассмотрены в *главе 3.2* и *разд. 2.9.5*.

Вторая категория включает в себя все, что относится к редактированию изображения. Пример такого процесса – составление коллажа из имеющихся изображений. Для процессов этой категории характерно внесение изменений в ранее построенную информационную модель с сохранением полученного результата в исходном или новом файле (файлах). Подобным процессам посвящена большая часть настоящего учебника.

Третья категория информационных процессов преобразует цифровое представление информационной модели изображения в объект, доступный для непосредственного визуального восприятия. Иногда эти процессы называют выводом изображения. Примером может служить печать цифровой фотографии в лаборатории или просмотр той же фотографии на экране компьютера. Подробнее эти процессы рассмотрены в *главе 2.10* и *разд. 3.1.5–3.1.6*.

##### **1.1.2. Объектная диаграмма предметной области компьютерной графики**

Под *предметной областью* понимается совокупность объектов, имеющих существенное отношение к той или иной сфере деятельности и важных для этой сферы связей между

этим объектами. Объектная диаграмма (рис. 1.1.1) представляет собой схематическое графическое изображение этих объектов и связей.



Рис. 1.1.1. Объекты и связи в предметной области компьютерной графики

Семантика объектов и связей, представленных на объектной диаграмме, рассматривается в следующих разделах.

### 1.1.3. Информационные модели

*Информационная модель* объекта или явления – совокупность структурированных данных, достаточно полно описывающая существенные для задач моделирования (релевантные) аспекты этого объекта или явления, и операций, с помощью которых пользователь может изучать модель и вносить в нее изменения. Применение информационной модели взамен реального явления или объекта дает возможность работать с ними с помощью автоматизированных информационных технологий. Преимущества такого подхода по сравнению с традиционной технологией обработки изображений следующие:

- сокращение времени за счет использования быстродействующих компьютеров;
- удешевление благодаря исключению из процесса дорогостоящих материальных объектов;
- упрощение за счет удобной программной реализации сложных операций;
- возможность создания абсолютно точных копий изображений с пренебрежимо малыми затратами времени и средств;
- возможность доступа пользователя к изображениям через современные средства телекоммуникаций.

В приведенном списке перечислены только основные преимущества, но и их вполне достаточно, чтобы сделать очевидный вывод – работа с информационными моделями изображений средствами компьютерной графики позволяет резко увеличить эффективность труда во многих отраслях деятельности, связанной с созданием и обработкой изображений.

Информационная модель тесно связана с другим объектом предметной области компьютерной графики – программными средствами, поскольку только с их помощью можно построить и отредактировать информационную модель изображения, а также получить по этой модели изображение в визуально воспринимаемом виде.

### 1.1.4. Программные средства

*Программным средством* называется совокупность программных модулей, обеспечивающих автоматизацию выполнения операций с данными, представленными в формате той

или иной информационной модели. Программные средства выполняют две основные функции:

- автоматизируют выполнение рутинных операций и их последовательностей за счет алгоритмов, реализованных в программных модулях;
- обеспечивают возможность воздействия пользователя на состав и значения параметров информационной модели через средства интерфейса пользователя (как правило, графического).

Программные средства обычно обеспечивают автоматизацию решения комплекса задач, относящихся к сравнительно четко очерченной прикладной области. В компьютерной графике чаще других встречаются следующие категории программных средств:

- графические редакторы;
- подключаемые модули (плагины);
- драйверы графических устройств;
- средства просмотра изображений;
- архиваторы изображений;
- средства тестирования и настройки аппаратных устройств.

*Графический редактор* представляет собой программное средство для организации работы пользователя по изменению состава и значений параметров информационной модели изображения. Такая работа называется редактированием, что и определяет название данной категории программных средств. Как правило, операции редактирования выполняются в интерактивном режиме. К наиболее известным (на момент написания книги – середину 2007 года) графическим редакторам относятся Adobe Photoshop CS3, CorelDRAW X3, Corel Painter 9.

*Подключаемый модуль* (плагин) представляет собой отдельно разрабатываемое и распространяемое программное средство для выполнения какой-либо специфической операции над информационной моделью изображения, не реализованной в составе графического редактора. Выпускавшиеся ранее подключаемые модули могли работать только совместно с графическими редакторами, но некоторые современные образцы могут функционировать и автономно, являясь, по сути дела, самостоятельными графическими программами и взаимодействуя с графическими редакторами на уровне файлов информационных моделей. К функциям, чаще всего реализуемым в виде подключаемых модулей, относятся:

- добавление графических эффектов (см. разд. 2.9.2 и 3.9.1);
- глобальная коррекция изображения (см. разд. 3.9.2);
- допечатная обработка изображения (см. главу 3.11);
- сложные схемы выделения части изображения (см. разд. 3.5.4);
- генерирование изображений или их отдельных фрагментов (см. разд. 2.9.2).

С некоторой долей условности к автономно работающим подключаемым модулям, реализующим последнюю из перечисленных функций, можно отнести все программные средства, формирующие результат в виде изображения, например, системы трехмерного моделирования.

### ***Примечание***

Во многих публикациях трехмерное моделирование включается в предметную область компьютерной графики. Это представляется не совсем правомерным, поскольку информационная модель трехмерного моделирования описывает не изображение, а объемное тело. Тем не менее, в трехмерном моделировании интенсивно используются информационные модели изображений и приемы работы с ними, поэтому вполне логично

включить его в состав прикладных областей применения компьютерной графики.

*Драйвер графического устройства* – специализированная программа, в функции которой входит управление аппаратными средствами, например, устройствами ввода и вывода. Современные драйверы обычно имеют в своем составе средства интерфейса с пользователем, позволяющие настраивать графическое устройство на желаемый режим работы. Как правило, драйверы работают совместно с графическими редакторами или другими программными средствами компьютерной графики, и их автономное функционирование не предусматривается.

*Средства просмотра изображений* представляют собой программы, позволяющие преобразовывать информационную модель, представленную в формате графического файла, в изображение на экране компьютера с целью визуального анализа. Обычно программные средства этой категории позволяют работать со многими форматами представления изображений и включают в себя большое число дополнительных функций (например, организацию показа изображений в виде слайд-шоу). Наиболее известные программные средства этой категории – ACDSee и Irfan View.

*Средства организации архивов изображений* – программы, осуществляющие хранение большого числа изображений и их эффективный поиск по различным критериям. Такие программы позволяют быстро находить нужные изображения, хранящиеся на различных носителях. Как правило, архивы изображений хранят на CD или DVD. Программа организации архива строит по информационной модели изображения миниатюру (уменьшенную копию изображения, имеющую небольшой размер) и помещает ее в базу данных совместно с именем файла, сведениями о том, где он расположен, и *метаданными* (сведениями, описывающими изображение).

### 1.1.5. Аппаратные средства

К аппаратным средствам, применяющимся в компьютерной графике, относятся:

- Компьютеры, в состав которых входят:
  - процессор;
  - оперативная память;
  - накопители;
  - видеокарта с графическим ускорителем.
- Устройства графического вывода:
  - мониторы;
  - видеопроекторы;
  - печатающие устройства (лазерные, струйные и термосублимационные принтеры, фотонаборные автоматы, слайд-принтеры и цифровые минилабы).
- Устройства графического ввода:
  - манипуляторы;
  - графические планшеты;
  - сканеры;
  - цифровые камеры.
- Специальные устройства (например, устройства для вывода голограмм и стереопар).



## Процессор и оперативная память

В рамках настоящего учебника нет смысла подробно останавливаться на назначении стандартных устройств компьютера, ограничимся рассмотрением специфических требований, которые на них накладывают типовые задачи компьютерной графики.

При работе с информационными моделями сложных векторных или пиксельных изображений с высоким разрешением (*см. разд. 3.1.2*) задачи компьютерной графики становятся очень ресурсоемкими. Поэтому общий принцип выбора процессора: «чем мощнее – тем лучше». На момент написания книги минимальными параметрами для графического компьютера считались тактовая частота процессора не ниже 2,5 ГГц и объем кэш-памяти второго уровня, встроенной в ядро процессора, не менее 512 Кбайт.

Чем больше объем оперативной памяти, тем быстрее выполняются операции над большими по размеру информационными моделями изображений. Это обусловлено тем, что в процессе обработки данные большого изображения не помещаются в оперативную память целиком, и их приходится "подкачивать" по частям. Чем больше размер этих частей, тем реже приходится выполнять подкачку в процессе работы, тем быстрее выполняется обработка. Поэтому для работы с небольшими изображениями (например, с цифровыми фотографиями, снятыми камерами с размерами сенсора до 10 мегапикселей) объем оперативной памяти может составлять 1 Гбайт, для больших изображений желательны большие объемы.

## Накопители

От емкости накопителя на жестком диске (винчестере) зависит объем данных, находящихся в оперативном распоряжении пользователя. Достаточно много дисковой памяти требуется для организации подкачки данных в оперативную память. Обычно компьютеры для графических работ комплектуют накопителями объемом 120–250 Гбайт, но для профессиональной работы нелишним будет и больший объем. Большое влияние на быстродействие оказывает и скорость передачи данных между накопителем и оперативной памятью, она не должна быть менее 100 Мбайт/с – в противном случае подкачка данных сильно замедляется.

## Видеокарты

В отличие от задач трехмерного или имитационного моделирования и компьютерных игр, компьютерная графика не предъявляет очень высоких требований к видеосистеме компьютера, основой которой является видеокарта. Основная задача видеокарты – получение данных пиксельной информационной модели и преобразование их в видеосигнал, формирующий изображение на экране монитора. Причем передача видеосигнала на монитор должна выполняться достаточно быстро, чтобы изображение на нем не мерцало (современные стандарты рекомендуют частоту обновления не ниже 100 Гц). Чтобы выполнить это условие, данные изображения должны полностью помещаться в видеопамять. Подробнее расчеты объема памяти, достаточного для хранения информационной модели пиксельного изображения, представлены в *разд. 3.1.2*. Некоторые данные о минимальном объеме видеопамати приведены в табл. 1.1.1.

**Таблица 1.1.1. Минимальный объем видеопамати для мониторов с различным размером экранного раstra**

Размер раstra монитора		Объем видеопамати, Кбайт
по горизонтали	по вертикали	
640	480	7200
1024	768	18432
1280	1024	30720
1680	1050	41344

Для мониторов наиболее распространенных моделей вполне достаточно видеопамати объемом 64 Мбайта. Однако если в составе видеокарты имеется графический ускоритель (что для современных моделей стало стандартом де-факто), этот объем должен быть, как минимум, в два раза больше, т. е. 128 Мбайт. Для мониторов с большим размером раstra следует рассчитывать объем видеопамати и подбирать соответствующую видеокарту индивидуально. Следует заметить, что современные видеокарты могут по стоимости в несколько раз превышать все остальные устройства компьютера, вместе взятые, поэтому к ее выбору необходимо подходить рационально. Наиболее мощные видеокарты выпускаются для нужд специалистов в анимационном трехмерном моделировании, видеомонтаже и любителей компьютерных игр, а в задачах компьютерной графики их возможности оказываются вос- требованными далеко не полностью.

## Мониторы и видеопроекторы

Не менее важной частью видеосистемы является монитор – устройство для преобразования видеосигнала в визуально воспринимаемое изображение. Наиболее важные характеристики для задач компьютерной графики – размер экрана, размерность раstra, частота обновления изображения и точность воспроизведения цвета. Разработчики программных средств компьютерной графики считают минимальными требованиями к мониторам диагональ экрана не менее 17 дюймов, частоту обновления изображения не ниже 85 Гц, размерность раstra не менее 1024\*768 пикселей, число воспроизводимых цветов не менее 16 777 216.

Точность воспроизведения цвета на экранах больших размеров сегодня несколько выше у мониторов с электронно-лучевой трубкой. По остальным параметрам эти мониторы немного уступают мониторам на жидкокристаллических панелях.

Видеопроекторы предназначены для построения крупноформатных изображений, рассматриваемых со значительно большего расстояния, чем изображения на экране монитора. Они подключаются к той же видеокарте, что мониторы, и получают такой же видеосигнал. При использовании видеопроекторов следует иметь в виду, что они воспроизводят значительно меньше цветов, чем мониторы, и точность воспроизведения цвета у них значительно ниже. Сегодня более качественной, но и более дорогостоящей альтернативой видеопроекторам выступают плазменные панели, функционально не отличающиеся от мониторов.

## Печатающие устройства

*Печатающим устройством* или принтером называется периферийное устройство компьютера, преобразующее информационную модель в визуально воспринимаемое изображение на плоском носителе (бумаге, ткани или полимерной пленке). Принципы, на основе которых на носителе формируется изображение, можно разделить на несколько категорий (рис. 1.1.2).



Рис. 1.1.2. Принципы формирования изображений печатающими устройствами

Приведенные на рис. 1.1.2 способы формирования изображений существенно отличаются друг от друга, поэтому устройства печати сложно сравнивать, пользуясь одной и той же системой показателей. Подробнее эти вопросы будут освещены в *разд. 3.1.4*, посвященном методам расчета параметров изображения в процессе подготовки его к выводу на печать. Там же рассматриваются и существенные для компьютерной графики особенности печатающих устройств каждой категории.

## Устройства графического ввода

*Устройством графического ввода* называется периферийное устройство компьютера, позволяющее формировать новую информационную модель изображения и/или вносить изменения в существующую. Классификация таких устройств приведена на рис. 1.1.3.



Рис. 1.1.3. Классификация устройств графического ввода

Манипуляторы, строго говоря, не являются устройствами графического ввода. Они лишь позволяют перемещать на экране монитора специальный значок (курсор, указатель) и передавать в компьютер его координаты с той или иной частотой. Как правило, манипуляторы снабжены несколькими кнопками, позволяющими передавать в компьютер управляющие сигналы. Однако в подавляющем большинстве графических редакторов манипулятор управляет работой специальных графических инструментов, с помощью которых пользователь и воздействует на графическую модель. Поэтому традиционно манипуляторы относят к устройствам графического ввода.

Автоматические устройства графического ввода позволяют формировать новую информационную модель изображения без вмешательства пользователя и без графического редактора. К этой категории относят сканеры и цифровые камеры. *Сканер* формирует информационную модель пиксельного изображения по физическому оригиналу, в роли которого чаще всего выступают непрозрачные (отпечатки) и полупрозрачные (слайды, пленки) изображения.

### **Примечание**

При работе с планшетными сканерами распространенной практикой является размещение на предметном стекле не изображения, а тех или иных предметов. В этом случае сканер можно рассматривать как вариант цифровой камеры, "фотографирующей" объемные объекты.

Основные характеристики сканера – аппаратное разрешение сканирования и точность восприятия цвета (см. разд. 3.1.4).

Цифровые фото– и видеокамеры обычно работают в автономном режиме, но при прямом подключении к компьютеру их можно рассматривать как устройства графического ввода. Особенно это относится к так называемым "цифровым задникам" – приставкам к традиционным широкоплечным камерам, с которыми работают в условиях фотостудии, формирующим очень большие по размеру информационные модели пиксельных изображений. Многие из них просто не оборудованы промежуточным устройством хранения данных. Основные характеристики цифровых камер – размеры раstra в пикселях и точность восприятия цвета. Подробнее цифровые камеры рассматриваются в разд. 3.2.4.

Интерактивные устройства графического ввода отличаются от манипуляторов тем, что фиксируют на экране координаты не указателя, а кончика специального пера. Например, *сенсорный экран*, представляющий собой гибрид графических устройств ввода и вывода, – монитор, экран которого способен воспринимать касания и степень нажима, а также координаты точки, в которой этот нажим осуществляется. Пользователь имеет возможность «рисовать» по нему пером, может фиксировать силу нажима, а *графический планшет* — не только

силу нажима, но и углы наклона пера к плоскости планшета и разворота пера вокруг своей оси. *Сколка* представляет собой графический планшет больших размеров, приспособленный для кодирования чертежей. Аппаратное и программное обеспечение сколки позволяет формировать векторную информационную модель изображения, но для работы с ней требуется специальная подготовка (см. главу 2.1).

### **1.1.6. Области, в которых широко используется компьютерная графика**

Методы и средства компьютерной графики востребованы в любой сфере человеческой деятельности, где используются изображения. Но в некоторых из них применение компьютерной графики особенно перспективно. Больше всего это касается областей, в которых основную роль играют объекты визуальной коммуникации. *Визуальная коммуникация* представляет собой информационный процесс, при котором информация передается от источника (автора) потребителю через зрительный канал. Объект визуальной коммуникации, несущий в себе эту информацию, называется *изображением*. В последующих подразделах дается краткий обзор некоторых прикладных областей, в которых важность визуальной коммуникации привела к интенсивному применению средств компьютерной графики.

### **Дизайн и художественное творчество**

Для современных условий характерны две тенденции: рост качества жизни и ужесточение конкуренции во всех областях производства и сервиса. Повышаются требования к удобству и эстетическому совершенству всего, что окружает человека, а конкуренция приводит к тому, что преуспевают те, кто уделяет этому фактору значительное внимание. Поэтому значение дизайна (и, в частности, промышленного дизайна) в жизни современного общества сложно переоценить. Возрастание роли дизайна и спроса на продукцию дизайнеров привели к необходимости интенсификации и повышения эффективности этого вида труда.

Из-за того, что творческая составляющая профессиональной деятельности дизайнера не поддается формализации и в этом аспекте эффективность его труда определяется только мерой таланта, радикально увеличить эффективность деятельности можно только за счет сокращения объема и трудоемкости рутинных операций. Компьютерная графика является той базой, на основе которой можно добиться этой цели. Пользуясь программами компьютерной графики, дизайнер может не только быстрее материализовать свои творческие замыслы, но и оперативно проверить несколько вариантов реализации каждого из них. В частности, при работе над шрифтовыми композициями применение программных средств векторной графики позволяет сократить затрачиваемое время в несколько раз. Конечно, рост эффективности возникает только при достаточно профессиональном владении арсеналом компьютерной графики.

Эффективное средство повышения производительности труда дизайнера – трехмерное моделирование, интенсивно использующееся в архитектурном и ландшафтном дизайне, дизайне интерьеров и мебели. Кроме того, в условиях перехода к информационному обществу появились новые области: дизайн мультимедиа, Web-дизайн, дизайн пользовательского интерфейса информационных систем. В этих прикладных областях в силу их специфики традиционные техники дизайна, не связанные с компьютерной графикой, просто неприменимы.

## Массмедиа и полиграфия

Из средств массовой коммуникации сегодня, пожалуй, только на радио не задействованы приемы компьютерной графики (если исключить рекламную поддержку). На телевидении не обойтись без заставок, титров и логотипов, а анимационные ролики занимают значительную часть экранного времени на многих каналах, причем не только в виде рекламы, но и как вставки в новостных программах. Практически всегда прогноз погоды читают на фоне метеорологических карт, подготовленных с помощью графических программ. Все чаще картами и схемами иллюстрируют новостные сообщения.

Служба доступа к гипертексту, более известная как WWW или "Всемирная паутина", ставшая атрибутом повседневного обихода многих людей, требует небывалого в человеческой истории объема графических работ. Причем их качество должно быть достаточно высоким, поскольку успех того или иного информационного ресурса Сети во многом определяется его дизайном, удобством графического интерфейса, добротностью представленных на нем изображений. Развитие WWW приводит к высокому спросу на специалистов-дизайнеров с хорошей подготовкой в области компьютерной графики.

В современных полиграфических технологиях, обеспечивающих выпуск книг и газет, компьютеры и программное обеспечение играют центральную роль. Почти все печатные издания поступают в производство в виде полиграфической оснастки, подготовленной с помощью программ компьютерной верстки. Для ее работы требуется, чтобы и текст, и иллюстрации были представлены на машинном носителе, т. е. в виде информационных моделей. Для иллюстраций это означает не только возможность их включения в макет издания произвольной сложности, но и готовность к обработке с помощью программ компьютерной графики. Многие графические элементы, определяющие стиль оформления издания (такие, как заставки, виньетки, буквицы и линейки), удобно с самого начала разрабатывать с помощью программ векторной графики.

Иллюстрации, подготовленные в традиционной графической технике, а также фотографии (отпечатки, негативы и слайды) в издательстве сканируются и проходят цикл обработки методами компьютерной графики (ретушь, цветокоррекция, доредакционная подготовка). Многие художники-графики, работающие в жанре книжной иллюстрации, с самого начала работы над графическими проектами пользуются программами компьютерной графики.

## Анимация

*Анимация* – создание иллюзии движения за счет демонстрации быстро сменяющихся друг друга изображений. Специфика анимации состоит в том, что изображения, из которых впоследствии составляется анимационный ролик, не снимаются в непрерывном режиме кино– или видеокамерой. Более того, во многих видах анимации они формируются не камерой, а получаются из других источников. В традиционной анимации изображения, из которых составляется анимационный ролик, создаются вручную художниками, прорисовывающими все промежуточные кадры по нарисованным ранее опорным.

Применение для построения опорных кадров методов компьютерной графики позволяет радикально изменить технологию. Если опорные кадры представляют собой два различных состояния информационной модели изображения, то формирование промежуточных состояний той же информационной модели, соответствующих промежуточным кадрам, может выполняться автоматически. Это дает колоссальную экономию труда. Поэтому сегодня методы компьютерной графики представляют собой неотъемлемую часть технического арсенала создателей анимационных фильмов, а анимационный фильм, в работе над которым они не применялись, является редким исключением.

## Кинематография

Внедрение средств компьютерной графики в традиционную кинематографию началось существенно позднее, чем в анимационную. Продолжительное время они применялись, главным образом, для подготовки титров и заставок. Но лавинообразный рост затрат на съемку фильмов потребовал поиска путей экономии, и компьютерная графика оказалась весьма перспективным в этом смысле средством. Технология цифрового видеомонтажа позволила частично отказаться от постройки декораций. Например, в известном фильме «Титаник» большая часть интерьеров роскошного лайнера – виртуальные, существующие только в виде графических изображений. При создании фильмов «Ночной дозор», «Дневной дозор» и «Турецкий гамбит» наряду с приемами трехмерного моделирования широко использовались приемы и эффекты пиксельной графики.

Анализируя современные тенденции развития кинематографии, можно уверенно предположить, что в будущем этой отрасли будет требоваться все больше специалистов по компьютерной графике.

## Трехмерное моделирование

*Трехмерное моделирование* представляет собой большой комплекс методов и средств, предназначенных для создания сеточной информационной модели объекта (совокупности объектов), внесения в нее изменений, и построения по ней как отдельных изображений, так и их последовательностей, составляющих анимационные ролики. Сеточная информационная модель – это обобщение векторной модели изображения, позволяющее описывать не только двумерные объекты (которых достаточно, чтобы описать любое плоское изображение), но и пространственные оболочки. В силу этого сеточная модель включает в себя информационные модели как векторного, так и пиксельного изображений, а программные средства трехмерного моделирования реализуют многие методы работы с этими моделями из арсенала компьютерной графики.

Более того, векторные информационные модели могут служить в качестве исходного материала для трехмерного моделирования. Например, при построении трехмерной модели, соответствующей телу вращения или телу экструзии, образующие кривые могут строиться в программе векторной графики с последующим импортированием в программу трехмерного моделирования.

Методы и средства пиксельной графики незаменимы при формировании текстур и карт, позволяющих имитировать оптические свойства поверхностей объектов при построении изображения по трехмерной модели. Не обойтись без них и при создании фона трехмерной сцены, и при настройке наложения сложных текстур на модель объекта.

Поэтому можно утверждать – чтобы достичь высокой квалификации в трехмерном моделировании, необходимо владеть арсеналом средств и методов компьютерной графики. При работе над крупными проектами трехмерного моделирования (такими, как подготовка архитектурного проекта или трехмерного анимационного фильма) в состав коллектива разработчиков всегда включаются специалисты в области компьютерной графики.

## Фотография

Лавинообразный рост числа цифровых фотокамер во всех секторах рынка фототехники (от камер для начинающих и любителей, в котором пленочная техника вытеснена полностью, до аппаратуры профессионалов, постоянно совершенствующейся) с неизбежностью привел к интеграции средств компьютерной графики в работу фотографов. Фотокамера

автоматически формирует информационную модель пиксельного изображения, поэтому к цифровым фотографиям применимы все методы и приемы пиксельной графики.

На практике фотографы пользуются средствами компьютерной графики для устранения дефектов изображений, их допечатной подготовки, тонирования и фотомонтажа. Множество приемов разработано для компьютерной ретуши фотографий, развившейся в обширную прикладную отрасль компьютерной графики. Большинство профессиональных фотографов размещают информацию о себе и своих работах на собственных и корпоративных сайтах, большая часть фотопродукции продается также через Интернет. Естественно, подготовка фотографий к публикации в Сети также невозможна без средств компьютерной графики.

## **Автоматизация проектирования**

Предмет автоматизации проектирования – автоматическая и автоматизированная подготовка проектно-конструкторской документации, по которой впоследствии может быть изготовлено и проверено на соответствие требованиям некоторое изделие. По своему составу проектно-конструкторская документация разделяется на текстовую и графическую. К последней относятся чертежи и схемы, представляющие собой изображения, построенные в соответствии с общепринятой системой условностей. В России эта система зафиксирована документами ЕСКД (Единой Системы Конструкторской Документации). Эти документы с точки зрения информационного анализа представляют собой сложные информационные модели, достаточно полно описывающие изделия, технологию их изготовления и определяющие содержание и последовательность процессов производства.

Поскольку значительная часть документов представляют собой изображения, информационная модель векторного изображения включается неотъемлемой частью в упомянутые информационные модели. Соответственно, в автоматизации проектирования оказываются удобными многие приемы компьютерной графики, автоматизирующие работу с информационной моделью векторного изображения. Подсистемы компьютерной графики часто выступают в качестве ядра, на основе которого строятся САПР (системы автоматизации проектирования). Наиболее яркий пример такого подхода – система AutoCAD.

Но проектные документы являются лишь конечным результатом труда проектировщиков. Арсенал компьютерной графики применяется не только для их выпуска. Начальные стадии проектирования чаще всего выполняются средствами графического моделирования (двухмерного и трехмерного), в котором также не обойтись без средств компьютерной графики.

## **Деловая графика**

Термином *деловая графика* (бизнес-графика) обозначают специальный класс графических изображений, позволяющих представлять в наглядной форме числовые данные и снабжать своеобразными графическими комментариями изображения различного назначения. Некоторые авторы относят к сфере деловой графики системы указательных, предупредительных и информационных знаков. Наиболее часто деловая графика востребована при подготовке всевозможных отчетов, докладов, презентаций. Достаточно часто объекты деловой графики используются при подготовке научной и учебной литературы.

Эффективность применения средств и методов компьютерной графики настолько очевидна, что сегодня доля материалов к докладам и выступлениям, отчетов, подготовленных "вручную", без программных средств, стала пренебрежимо мала. Основное преимущество применения компьютерной графики в этой области – возможность за очень короткое время



проверить несколько вариантов представления данных, выбрать из них наилучший, и, по мере необходимости, оперативно внести в него изменения.

## Список новых терминов

- Анимация
- Визуальная коммуникация
- Графический редактор
- Деловая графика (бизнес-графика)
- Драйвер графического устройства
- Изображение
- Информационная модель
- Метаданные
- Планшет графический
- Подключаемый модуль (плагин)
- Предметная область
- Программное средство
- Сканер
- Сколка
- Средства организации архивов изображений
- Средства просмотра изображения
- Трехмерное моделирование
- Устройство графического ввода
- Устройство печатающее
- Экран сенсорный

## Контрольные вопросы

1. Чем информационный процесс отличается от материального?
2. Каковы основные категории информационных процессов, связанных с обработкой изображений?
3. Какие информационные процессы могут формировать информационные модели изображений?
4. Что понимается под термином "редактирование изображений"?
5. Что такое "визуальное восприятие"? Какие объекты и субъекты участвуют в этом процессе?
6. Что входит в предметную область компьютерной графики?
7. Что представляет собой информационная модель изображения?
8. Каковы преимущества работы с моделью изображения по сравнению с самим изображением?
9. Что понимается под термином "программное средство"?
10. Какие категории программных средств применяются в компьютерной графике?
11. Для каких целей служат графические редакторы?
12. В чем состоит назначение подключаемых модулей? Каковы их основные категории?
13. Почему трехмерное моделирование не входит в предметную область компьютерной графики?
14. Для чего предназначены драйверы? В чем состоит особенность драйверов графических устройств?

15. Какие дополнительные функции средств просмотра изображений вам известны?
16. Какие метаданные включает в состав графического файла ваша цифровая фотокамера?
17. К каким устройствам компьютера задачи компьютерной графики предъявляют дополнительные требования?
18. Какие факторы оказывают основное влияние на необходимый объем видеопамати?
19. Каковы основные принципы формирования изображения печатающим устройством?
20. В чем состоит основное различие между устройствами автоматического и автоматизированного графического ввода?
21. Что является носителем информации в процессе визуальной коммуникации?
22. Перечислите основные причины интенсивного применения компьютерной графики в дизайне.
23. В каких формах компьютерная графика применяется в массмедиа?
24. В чем состоят преимущества применения методов и средств компьютерной графики в полиграфии?
25. Какие приемы и средства компьютерной графики применяются в разработке информационных ресурсов Интернета?
26. Как соотносятся предметы компьютерной графики и анимации?
27. Как объекты и приемы компьютерной графики применяются в трехмерном моделировании?
28. В чем состоит специфика применения приемов компьютерной графики при работе с фотографическими изображениями?
29. В чем состоит различие в применении компьютерной графики в дизайне и автоматизации проектирования?
30. Как и в каких областях используется деловая графика?

## **Темы для обсуждения**

1. Оценка объемов информации, участвующей в процессе визуальной коммуникации.
2. Взаимодействие между собой прикладных областей анимации и компьютерной графики.
3. Преимущества, которые компьютерная графика дает дизайнеру.
4. Возможности применения компьютерной графики для художественного творчества.
5. Компьютерная графика, средства телекоммуникации и авторское право.

## 1.2. Информационные модели изображений

В этой главе рассматриваются наиболее общие свойства информационной модели изображения, составляющие ее концепцию, описывается обобщенная схема работы пользователя над графическим проектом и проводится сравнение двух основных моделей компьютерной графики: векторной и пиксельной.

### 1.2.1. Концепция информационной модели изображения

Общее определение информационной модели объекта или явления было дано в разд. 1.1.3. Информационная модель изображения представляет собой совокупность данных, по которым можно однозначно построить изображение, и совокупность методов – операций, с помощью которых можно сформировать и модифицировать эту модель. Структура информационной модели изображения представлена на рис. 1.2.1.



Рис. 1.2.1. Структура информационной модели изображения

Совокупность данных, описывающих изображение, состоит из дескрипторов. *Дескриптор* – это структурный элемент информационной модели изображения, представляющий собой совокупность данных, содержащих в себе информацию об отдельном структурном элементе изображения. Структура дескриптора и смысл его компонентов зависят от категории изображения и выбранной цветовой модели. Они различны для пиксельной и векторной информационных моделей. Как будет показано в последующих разделах, дескрипторы информационной модели пиксельного изображения однотипны, а в информационную модель векторного изображения входят дескрипторы различных типов. Типы дескрипторов соответствуют классам объектов, составляющих изображение.

*Методы* информационной модели представляют собой алгоритмы, выполнение которых позволяет изменять текущее состояние модели, т. е. состав ее дескрипторов и значения свойств, хранящихся в этих дескрипторах. Как правило, методы информационных моделей изображения реализуются в виде программных модулей, включенных в состав программных средств для работы с этими моделями (см. разд. 2.1.3).

На основе информационных моделей изображения разработаны структуры и форматы графических документов. *Графический документ* представляет собой модификацию информационной модели изображения, предназначенную для использования в той или иной прикладной области компьютерной графики или специально для работы с тем или иным программным средством. Как правило, графический документ сложнее информационной модели изображения за счет того, что в его состав введены дополнительные элементы. Дополнительные элементы вводятся для расширения информационной емкости базовой информационной модели изображения, упрощения работы с ней и придания ей новых возможностей.

#### **Примечание**

Например, графические документы формата TIFF могут содержать в себе несколько взаимодействующих в процессе рендеринга изображений – слоев. Форматы GIF и PNG позволяют сохранять в одном документе совокупность изображений, составляющую анимационный ролик. Подробнее об элементах, дополняющих базовую информационную модель пиксельного изображения, см. в *разд. 3.4.1–3.4.4*.

Каждому типу графических документов соответствует формат графического файла. *Форматом графического файла* называется стандартизованная структура данных, в которую преобразуется графический документ при записи на носитель для последующих хранения и обработки. Форматов графических файлов значительно больше, чем информационных моделей. Дело в том, что конкретные форматы разрабатывались для различных целей, в разное время, включают в себя различные дополнительные элементы и неодинаковые модели цвета (см. *разд. 1.3.3–1.3.7*). Некоторые наиболее часто встречающиеся в компьютерной графике форматы графических файлов рассмотрены в *разд. 2.1.4* и в *главе 3.3*.

### **1.2.2. Схема работы с информационной моделью изображения**

Действия, направленные на создание изображений, предназначенных для решения той или иной задачи (а иногда – и сами эти изображения), принято называть *графическим проектом*. В пределах этого раздела принято несколько упрощенное толкование этого термина: целью графического проекта условно считается создание только одного изображения. Независимо от типа выбранной информационной модели изображения процесс работы пользователя над таким графическим проектом можно изобразить в обобщенном виде (рис. 1.2.2), где объекты, участвующие в работе, подписаны прямым шрифтом, а информационные процессы – курсивом.



Рис. 1.2.2. Обобщенный процесс работы пользователя над графическим проектом

Информационная модель изображения – центральный элемент схемы. Ее состояние постоянно меняется в процессе работы над графическим проектом. Заключительное состояние информационной модели соответствует изображению, являющемуся результатом графического проектирования.

Начальное состояние информационной модели зависит от того, имеется ли какой-либо исходный материал или работать приходится "с чистого листа". В последнем случае с помощью того или иного программного средства компьютерной графики (например, графического редактора) создается графический документ, соответствующий "пустой" информационной модели. При работе с векторным изображением это будет информационная модель, не содержащая дескрипторов графических объектов. При работе с пиксельным изображением – информационная модель, состоящая из совокупности дескрипторов, содержащих заданные по умолчанию данные для всех графических объектов изображения.

Если в начале работы над графическим проектом в распоряжении пользователя имеются исходные изображения, то первоначальное состояние информационной модели будет иным. Исходные изображения могут быть представлены в виде ранее построенных информационных моделей или отпечатков. Первые чаще всего представляют собой графические документы, разработанные в уже завершенных графических проектах, созданные тем же пользователем или другими авторами. Если исходные данные представляют собой фрагменты более или менее стандартных изображений, предназначенных для многократного использования, к ним применяется собирательное наименование "клипарт" (см. разд. 3.2.2).

### **Примечание**

В переводе с английского "клипарт" означает "вырезка". Первые библиотеки клипарта, предназначенные для компьютерной графики, представляли собой наборы файлов с изолированными от фона частями пиксельных изображений. При импорте таких фрагментов в пустой графический документ получалось очень похоже на картинку, вырезанную из книги или журнала. Сегодня термин трактуется значительно шире.

В понятие клипарт включают и стандартные фрагменты векторных изображений, и даже наборы трехмерных моделей. Библиотеки клипарта различного назначения и тематики сегодня выпускаются на коммерческой основе.

Если исходные данные графического проекта представлены в виде отпечатков, то исходная информационная модель получается в процессе сканирования. В компьютерной графике *сканированием* называется автоматический процесс анализа отпечатка на прозрачном или непрозрачном носителе, в результате которого строится информационная модель пиксельного изображения. Сканирование выполняется устройством графического ввода – сканером (см. разд. 1.1.5). В общем случае цифровые фото– и кинокамеры можно считать разновидностями сканеров.

Последующая работа пользователя над графическим проектом состоит в редактировании информационной модели изображения. К операциям редактирования относятся:

- создание новых графических объектов в составе информационной модели;
- удаление ставших ненужными объектов;
- изменение параметров ранее имевшихся в составе информационной модели объектов.

Операции редактирования выполняются с помощью программного средства – графического редактора, который представляет собой программную реализацию методов информационной модели графического документа. Это означает, что в нем в виде программных модулей реализованы алгоритмы, позволяющие выполнять все необходимые действия с этой информационной моделью. Чтобы пользователь мог применять эти методы, в графическом редакторе имеется интерфейс пользователя. *Интерфейсом пользователя* называется совокупность управляющих объектов, на которые он может воздействовать в процессе работы с программным продуктом через устройства ввода (объектная часть интерфейса), и процедур, выполнение которых приводит к осмысленному результату (процедурная часть интерфейса).

Например, на рис. 1.2.3 представлено диалоговое окно графического редактора. Имеющиеся на нем вкладки, флажки, списки и командные кнопки составляют объектную часть интерфейса пользователя, связанную с этим диалоговым окном. Элементом процедурной части интерфейса может служить процедура, включающая в себя следующие действия:

1. С помощью верхнего раскрывающегося списка выбрать базу выравнивания.
2. Установив флажки, определить условия выполнения выравнивания.
3. Командной кнопкой **Apply** выровнять выделенные графические объекты.

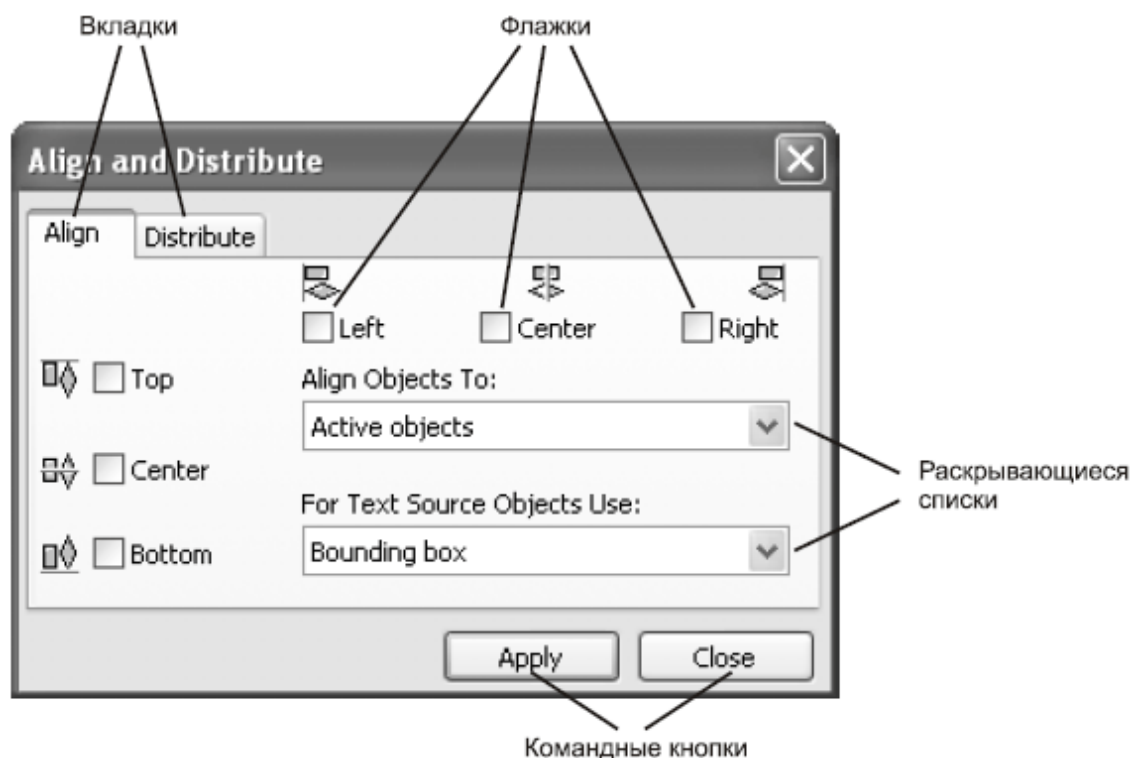


Рис. 1.2.3. Элементы объектной части интерфейса в диалоговом окне

Содержание интерфейса пользователя определяется как типом выбранной информационной модели изображения, так и способом реализации ее методов в конкретном графическом редакторе. Из-за этого интерфейсы пользователей различных программных средств компьютерной графики различаются, даже если эти программные средства предназначены для работы с графическими документами одного и того же формата.

### **Примечание**

Изучение интерфейса пользователя различных средств компьютерной графики – необходимая часть подготовки специалистов в этой области. Чтобы этот процесс был более эффективным, необходимо понимание типовых задач и приемов компьютерной графики, описанных в настоящем учебнике. В противном случае назначение многих элементов интерфейса пользователя понять довольно сложно.

В процессе редактирования информационной модели изображения пользователю нужно видеть, как она меняется в результате его действий. Для этого ему требуется контрольное изображение, соответствующее текущему состоянию информационной модели. Это изображение, выводимое на экран монитора, строится заново или обновляется каждый раз после внесения изменения в информационную модель действием пользователя. Процедура построения изображения, соответствующего текущему состоянию информационной модели, называется *рендерингом*. Рендеринг преобразует информационную модель графического документа, с которым работает пользователь, в информационную модель изображения, которая может быть визуализирована аппаратно-программным комплексом устройства графического вывода.

### **Примечание**

В аппаратно-программный комплекс устройства вывода обычно входят аппаратные средства этого устройства и обеспечивающие их функционирование программы – драйверы.

Рендеринг выполняется не только в процессе редактирования изображения (в этом случае выполняется преобразование информационной модели графического документа в информационную модель изображения, воспринимаемую монитором), но и при выводе изображения на печать. Отличие состоит в том, что преобразование производится в информационную модель печатающего устройства. По сравнению с информационной моделью изображения, воспринимаемой монитором, эта модель может быть значительно сложнее, и это предъявляет дополнительные требования к рендерингу.

### **Примечание**

Например, многие печатающие устройства могут воспринимать не только пиксельную, но и векторную модель изображения. Для описания передаваемых печатающему устройству изображений разработаны специальные языки, например, PostScript. За счет усложнения информационной модели достигается повышение качества воспроизведения изображений.

В большинстве графических редакторов рендеринг контрольного изображения выполняется упрощенно. Это обусловлено требованиями оперативности редактирования – пользователь не хочет ждать перерисовки изображения на экране монитора, а полный рендеринг сложного изображения может потребовать достаточно продолжительного времени даже при работе на мощном компьютере. Вследствие этого контрольное изображение в той или иной степени отличается от результата, который будет получен при выводе на печать. Кроме того, монитор и печатающее устройство воспроизводят цвет принципиально различными методами и обладают сильно отличающимися значениями аппаратной разрешающей способности (см. разд. 3.1.2). Поэтому контрольное изображение всегда представляет собой лишь более или менее точное приближение к изображению, которое получится при выводе на печать. Этот факт играет важную роль при выполнении многих операций редактирования (в частности – цветовой коррекции, описанной в главе 3.7).

В процессе редактирования информационная модель изображения представлена структурами данных в оперативной и внешней памяти компьютера. При необходимости длительного хранения модели ее следует записать (сохранить) в виде файла графического документа, размещенного на накопителе. *Сохранением* называется преобразование формата внутреннего представления информационной модели изображения в формат графического документа и запись этого документа средствами файловой подсистемы операционной системы в виде файла на устройство длительного хранения.

Большинство графических редакторов ориентированы, главным образом, на работу с графическими документами собственного формата, специфического для этого редактора. Вместе с тем, все графические редакторы могут выполнять импорт и экспорт графических документов. *Экспорт* – преобразование внутреннего представления информационной модели в формат, отличающийся от собственного формата документов графического редактора, с сохранением результата в виде файла. *Импорт* – чтение графического документа, представленного в виде файла, в формате, отличном от собственного формата документов графического редактора, и преобразование его в формат внутреннего представления информационной модели для последующей обработки. Иногда функции импорта и экспорта реализуются в виде дополнительных модулей, которые называют фильтрами импорта/экспорта.

Как правило, работа над графическим проектом завершается экспортом графических файлов в требуемый заказчиком формат и архивацией рабочих версий графического матери-



ала в формате графических документов, с которыми работал пользователь. Например, после ретуширования фотографии у выполнявшего его специалиста остается рабочий файл в формате графического редактора, которым он пользовался, а заказчику передается графический файл в формате TIFF, содержащий в себе все, что необходимо для вывода фотографии на печать. В некоторых случаях заказчику передаются и отпечатки.

В заключение раздела кратко сформулируем его основное содержание. В процессе работы над проектом компьютерной графики изображение представляется в виде информационной модели изображения. Реальные графические редакторы работают с информационной моделью не изображения, а графического документа. Графические документы могут создаваться пустыми, формироваться автоматически, считываться из архива или импортироваться. Редактирование графического документа осуществляется средствами графического редактора, доступ к которым обеспечивает интерфейс пользователя. Процедура рендеринга формирует контрольное изображение и выводит графический документ на печать. Графические документы можно сохранять и экспортировать в графические файлы.

### 1.2.3. Векторная информационная модель

В этом разделе рассматриваются устройство и основные свойства базовой информационной модели векторного изображения, на основе которой разработаны все форматы векторных графических документов.

Крайне упрощая ситуацию, можно принять, что в векторной информационной модели существует только один класс объектов – линии. Каждой линии соответствует дескриптор, в котором хранятся сведения об имени объекта, и значения свойств, однозначно определяющих его расположение, форму и цвет. Меняя значения элементов дескриптора, можно преобразовывать соответствующий ему объект (перемещать, масштабировать, менять цвет). Для каждого типа преобразования объекта имеется соответствующий метод, который должен быть программно реализован в графическом редакторе, работающем с векторной информационной моделью.

Важнейшая особенность векторной информационной модели изображения, очевидная даже для такого, предельно упрощенного ее варианта, – многообразие структур дескрипторов, составляющих ее область данных. В самом деле, для хранения данных о кривых, проходящих через две точки и через десять точек, потребуется различный объем памяти компьютера.

В векторных информационных моделях изображения, использующихся на практике, не один, а много классов графических объектов (см. разд. 2.1.2). Более того, в них имеются составные графические объекты, включающие в себя несколько простых, играющих в составных объектах различные роли. В качестве примера можно привести текст, размещенный на криволинейной траектории. Здесь простыми объектами будут текст и кривая. Каждый из них можно редактировать с помощью методов его класса, но при этом у составного объекта есть и свои методы (например, изменение расстояния между текстом и кривой).

На рис. 1.2.4 представлен простейший векторный рисунок, построенный по известному детскому стишку "Точка, точка, запятая...".



Рис. 1.2.4. Векторное изображение

К сожалению, этот известный всем текст содержит явно недостаточно информации для однозначного воспроизведения изображения, и автору пришлось многое добавлять от себя. В частности, не было никаких указаний о расположении упомянутых графических объектов и об их размерах. Результаты доработки представлены в табл. 1.2.1.

**Таблица 1.2.1. Состав векторной  
информационной модели изображения**

*Эллипсы*

Имя	Центр		Ширина	Высота	Разворот	Обводка	Заливка
	x	y					
Голова	9,2	25,6	6,8	6,8	0	0,35	Нет
Тело	9,2	13,9	7,6	15,6	0	0,35	Нет

*Тексты фигурные*

Имя	Центр		Текст	Гарнитура	Кегль	Разворот
	x	y				
Глаз левый	7,6	26,4	.	Times New Roman	18	0
Глаз правый	10,7	26,4	.	Times New Roman	18	0
Нос	8,9	25,4	,	Times New Roman	26	180
Рот	9,2	23,6	-	Times New Roman	26	0

*Отрезки прямой*

Имя	Начальная точка		Конечная точка		Обводка
	x <sub>0</sub>	y <sub>0</sub>	x <sub>к</sub>	y <sub>к</sub>	
Левая рука	11,9	19,9	17,9	22,1	0,35
Левая нога	10,7	6,6	12,5	0,5	0,35
Правая рука	6,5	19,9	0,4	22,1	0,35
Правая нога	7,5	6,6	5,7	0,5	0,35

Анализируя данные табл. 1.2.1, составляющие векторную информационную модель изображения, можно сделать несколько выводов о природе этой модели.

- Даже простейшее векторное изображение, как правило, включает в себя графические объекты нескольких классов. Именно из-за этого не удалось обойтись одной общей таблицей – разные классы изображения описываются различными совокупностями параметров (см. разд. 2.1.2–2.1.3).

- Дескрипторам модели соответствуют строки табл. 1.2.1. Каждый из дескрипторов описывает независимый графический объект, которому сопоставлено уникальное имя. Имя объекта может содержать в себе информацию о том, чему соответствует этот объект в реальном или виртуальном мире.

- В каждом дескрипторе кроме имени графического объекта и информации о его классе содержатся значения свойств, конкретизирующие его геометрические свойства – размеры, угол разворота, местоположение. Меняя значение этих свойств, можно изменять изображение, которое будет построено при рендеринге информационной модели.

**Примечание**

В дескрипторе также содержится информация о цвете объекта, но в данном примере для упрощения соответствующие свойства не были представлены.

Эти выводы будут подробнее рассмотрены в первых разделах *главы 2.1*. Здесь ограничимся перечислением основных достоинств и недостатков векторной информационной модели. Начнем с достоинств:

- При желании автора, векторное изображение можно структурировать с любой степенью детализации. Произвольному фрагменту изображения можно поставить в соответствие именованный графический объект или именованную связанную группу графических объектов векторной информационной модели. Это дает возможность установить соответствие дескрипторов модели структуре изображаемого объекта, что, в свою очередь, значительно упрощает и ускоряет выделение нужных для работы частей изображения.

- Геометрические преобразования векторных изображений выполняются с помощью простых операций. В процессе масштабирования изображение не искажается, визуальная информация не теряется, *артефакты* (визуальный шум) не появляются (рис. 1.2.5). Кроме того, ширина линий векторного изображения по желанию может оставаться при масштабировании неизменной (как на рис. 1.2.5) или меняться в соответствии с масштабом.

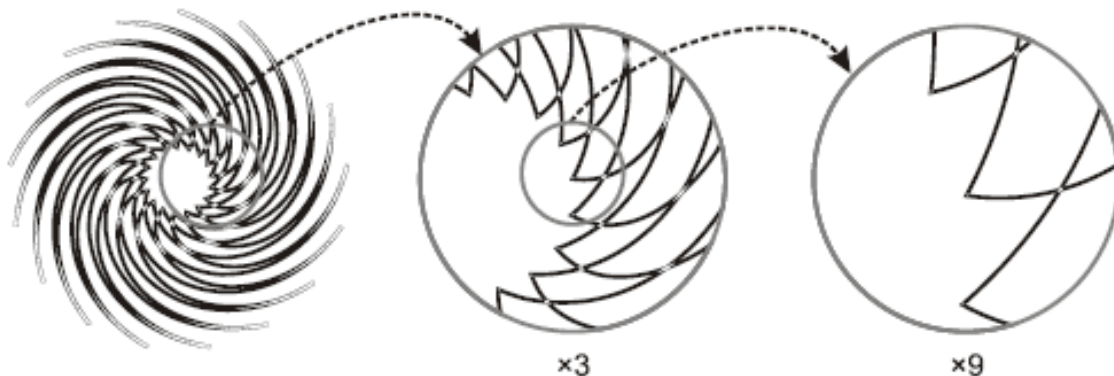


Рис. 1.2.5. Увеличение размера изображения при работе с векторной информационной моделью

- Векторная модель изображения сравнительно компактна, объем требующейся для ее размещения памяти зависит только от количества графических объектов, входящих в ее состав, но не от размера изображения.

- Для представления текстов в векторной модели предусмотрены специальные классы объектов. Это позволяет работать с текстом удобными методами редактирования и форматирования на любой стадии графического проекта, не снижая качество воспроизведения текста, который преобразуется в изображение только при рендеринге.

Наряду с перечисленными достоинствами у векторной информационной модели изображения имеются и недостатки:

- Сложность в освоении, что обусловлено включением в состав модели большого числа классов графических объектов. На изучение этих классов и методов работы с ними требуется немало времени.

- Данная модель не является унифицированной. В разных программных средствах компьютерной графики используется различная номенклатура классов графических объектов и различные структуры классов составных графических объектов. За счет этого переход на новый векторный графический редактор может потребовать значительных затрат времени и труда на изучение новой версии векторной информационной модели.

- Автоматическое построение векторной модели изображения представляет собой очень сложную задачу. Программы трассировки позволяют преобразовать пиксельное изображение в векторное представление, но они не могут автоматически структурировать получившуюся совокупность векторных объектов, из-за чего утрачивается основное достоинство векторной информационной модели. Поэтому большая часть векторных информационных моделей составляется пользователями вручную (см. разд. 2.9.4–2.9.6).

- Техника работы с этой моделью плохо приспособлена для создания фотореалистичных изображений. Векторные изображения, как правило, слишком резкие, плоскостные, "мультишные". Чтобы добиться реалистичности векторного изображения, необходима сложная информационная модель и большой опыт работы с графическим редактором.

## 1.2.4. Пиксельная информационная модель

В этом разделе рассматриваются устройство и основные свойства базовой информационной модели пиксельного изображения, на основе которой разработаны все форматы пиксельных графических документов.

Исходное изображение до преобразования его в пиксельную информационную модель может быть представлено в виде плоского отпечатка, объемной сцены реального или виртуального мира, ранее построенной векторной или пиксельной информационной модели. Для формирования пиксельной информационной модели изображения выполняется его *растрирование*.

### **Примечание**

Растрированием называется разбиение плоскости на одинаковые по форме выпуклые области, прилегающие друг к другу без зазоров – элементы раstra. Простейшие варианты растрирования выполняются с помощью квадратных, прямоугольных и правильных шестиугольных элементов. Растрирование представляет собой частный случай *тесселяции* – процедуры, при которой на форму получающихся элементов не накладывается требование выпуклости. Растрирование в компьютерной графике может выполняться аппаратно (при сканировании или съемке) и программно (в процессе рендеринга).

Затем в пределах каждого из элементов раstra выполняется усреднение цветовой характеристики. Если вся площадь элемента окрашена одним цветом, цветовая характеристика остается неизменной. Если в пределах элемента имеются области различных цветов, выводится усредненное значение в соответствии с алгоритмом усреднения. После выполнения усреднения элемент раstra становится пикселем – элементарным объектом пиксельного изображения. Итак, *пиксел* (в некоторых публикациях пиксель) – это элемент раstra изображения с усредненной цветовой характеристикой. Совокупность всех пикселей, составляющих изображение, также называется *растром*.

### **Примечание**

В принципе, элементы тесселяции могут быть весьма причудливой формы, но на практике в информационной модели пиксельного изображения встречаются только растры с прямоугольными (чаще всего – квадратными) элементами.

### **Примечание**

К сожалению, в литературе по компьютерной графике широко распространен другой термин для обозначения пиксельной информационной модели – точечная информационная модель. Его следует

считать неточным и устаревшим; в *главе 3.1* показано, что пиксел и точка – термины, обозначающие различные объекты.

В базовом варианте область данных пиксельной информационной модели изображения состоит из последовательности дескрипторов, каждый из которых описывает один пиксел изображения. Координаты пиксела не указываются в дескрипторе, поскольку его место в растре можно однозначно определить по порядковому номеру дескриптора и размеру раstra. Следовательно, в дескрипторе достаточно указать только характеристику цвета. Способ представления характеристики цвета в дескрипторе зависит от выбранной цветовой модели.

Как в случае с векторной моделью, предельно упростим ситуацию. В простейшем варианте пиксельная модель описывает изображения, в которых присутствуют только два цвета – штриховые (см. *разд. 1.1.3*). Дескриптор пиксела штриховой модели может принимать только два значения, которые обозначают единицей (цвет штриха) или нулем (цвет фона). На рис. 1.2.6 показаны этапы построения информационной модели штрихового изображения.

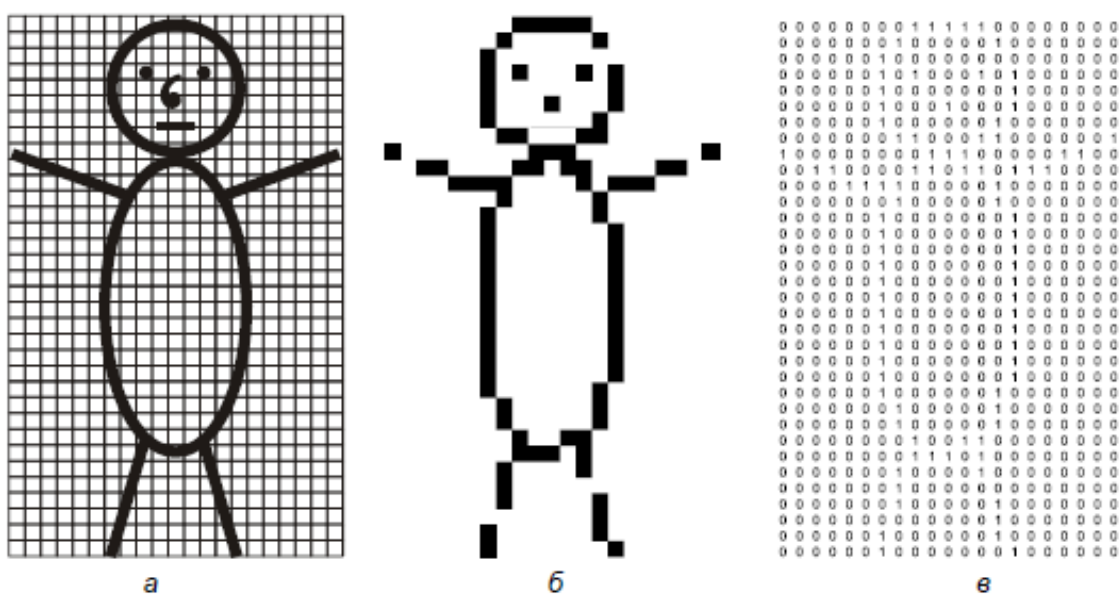


Рис. 1.2.6. Построение пиксельной информационной модели изображения: *а* – тесселляция изображения; *б* – усреднение цветовых характеристик пикселей; *в* – массив дескрипторов штрихового пиксельного изображения

По рис. 1.2.6 можно сделать несколько выводов о природе пиксельной информационной модели изображения.

- При построении пиксельной информационной модели изображения в процессе усреднения цветовых характеристик пикселей неизбежно утрачивается часть визуальной информации – мелкие детали (например, бесследно исчез знак "минус", изображавший рот человечка). Это происходит при любой величине пикселей, – их размер влияет только на количество утрачиваемой информации.

- Размер пиксельной информационной модели изображения не зависит от его сложности, а определяется только его размерами, числом пикселей в растре и размером дескриптора пиксела (который определяется выбором модели цвета).

Вопросы, связанные с выбором оптимальных параметров раstra, позволяющих минимизировать утрату визуальной информации, рассматриваются подробнее в *разд. 3.1.1–3.1.6*. Цветовые модели и их влияние на размер пиксельной информационной модели описаны в *главе 1.3*. Здесь ограничимся перечислением основных достоинств и недостатков пиксельной информационной модели. Начнем с достоинств.

- Процедура построения пиксельной информационной модели легко автоматизируется. Сканирование позволяет строить пиксельную информационную модель плоского отпечатка, фотографирование цифровой камерой – реальной сцены или объекта, трехмерное моделирование с последующим рендерингом – сцены или объекта виртуального мира.

- Однородная структура данных пиксельной модели позволяет редактировать изображение на любом уровне глобальности. Одним и тем же способом можно, например, изменить цветовую характеристику как всего изображения, так и единственного пиксела. Это позволяет выполнять очень тонкую корректировку изображений.

- При малых размерах пикселей изображение может быть очень реалистичным, передавая все мелкие детали и цветовые нюансы.

- Алгоритм рендеринга базовой пиксельной информационной модели достаточно прост и не требует большой вычислительной мощности и продолжительного времени. Вывод контрольного изображения на экран и на печать осуществляется сравнительно быстро.

Впрочем, пиксельная информационная модель имеет и существенные недостатки.

- Число пикселей в растре жестко фиксируется в момент построения модели. При необходимости увеличить размеры изображения приходится либо менять размеры пикселей, либо повторять процедуру построения раstra – выполнять повторное растривание. В *главе 3.1* показано, что и то, и другое приводит к нежелательным последствиям, выражающимся в резком снижении качества изображения и появлении артефактов. На рис. 1.2.7 показан пример увеличения размеров пиксельного изображения: отчетливо видны зазубривание кромок и появление вдоль них размытой зоны.

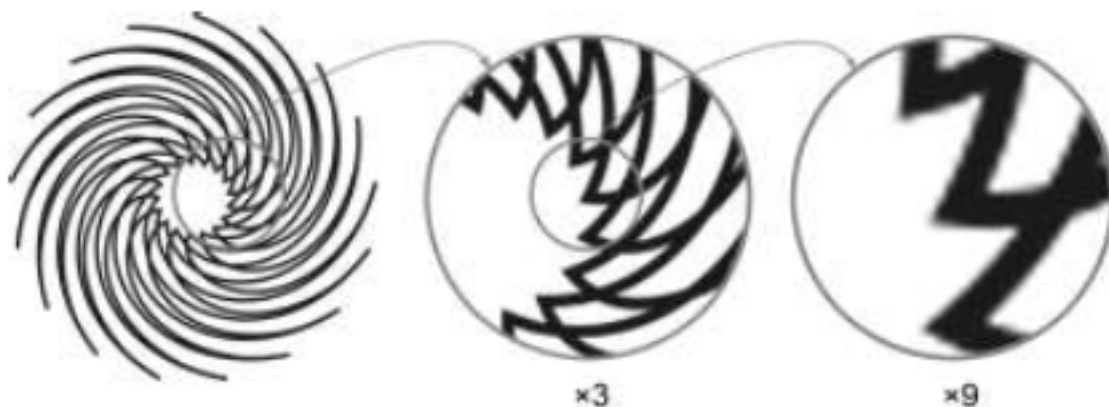


Рис. 1.2.7. Увеличение размера изображения при работе с пиксельной информационной моделью

- При необходимости уменьшить размеры изображения при сохранении параметров раstra (числа пикселей) устройство печати не сможет воспроизвести пиксеты слишком малого размера, и часть визуальной информации утрачивается в процессе рендеринга. При сохранении размеров пикселей приходится выполнять повторное растривание, что приводит к тем же результатам.

- Базовая пиксельная модель слабо структурирована. В отличие от векторной модели, в ней невозможно связать структурные части модели со структурными компонентами изображаемых объектов или сцен. Это приводит к значительным затруднениям при выделении таких компонентов для последующего редактирования. Из-за этого при работе с пиксельным графическим редактором много времени уходит на выполнение вспомогательных операций выделения части изображения.

- Если графический проект требует отпечатков крупного размера и большой четкости при высокой точности воспроизведения цвета, пиксельная информационная модель стано-

вится слишком громоздкой. Время обработки такой модели резко возрастает, и с ней приходится работать по частям.

## **Список новых терминов**

- Артефакт
- Графический документ
- Графический проект
- Дескриптор
- Импорт
- Интерфейс пользователя
- Информационная модель изображения
- Метод информационной модели
- Пиксел
- Растр
- Растрирование
- Рендеринг
- Сканирование
- Сохранение
- Тесселяция
- Формат графического файла
- Экспорт

## **Контрольные вопросы**

1. Чем определяются структура и размер дескриптора информационной модели изображения?
2. Какие роли играют данные и методы информационной модели изображения?
3. Каким образом реализуются методы информационной модели изображения?
4. В каком соотношении находятся информационные модели изображения и графического документа?
5. Чем обусловлено совместное существование нескольких форматов графических файлов?
6. Каковы основные этапы графического проекта?
7. Какова роль информационной модели изображения в работе над графическим проектом?
8. Что понимается под "пустой" информационной моделью для векторного и пиксельного изображений?
9. Для чего и на каких этапах в графических проектах используется клипарт?
10. Почему при работе над графическим проектом сканер и фотокамеру можно считать однотипными устройствами?
11. Какие операции могут выполняться над информационной моделью в процессе редактирования?
12. Какова роль графического редактора в работе над графическим проектом?
13. Из чего состоит графический интерфейс пользователя?
14. Почему пользовательские интерфейсы различных графических редакторов, предназначенных для работы с одной и той же информационной моделью изображения, отличаются друг от друга?
15. Для чего необходимо контрольное изображение?



16. Какова роль процедуры рендеринга?
17. Почему в процессе построения контрольного изображения рендеринг выполняется упрощенно?
18. Из-за чего контрольное изображение, построенное по информационной модели, не может быть точной копией отпечатка, полученного по той же модели?
19. Что происходит в процессе сохранения информационной модели изображения?
20. Каково назначение процедур импорта и экспорта?
21. Чему соответствуют в изображении дескрипторы векторной информационной модели изображения?
22. Почему структура дескрипторов векторной информационной модели изображения меняется от объекта к объекту?
23. Что представляют собой составные графические объекты векторной информационной модели изображения?
24. С какой целью графическим объектам векторной информационной модели изображения даются уникальные имена?
25. Что происходит при рендеринге векторной информационной модели изображения?
26. Почему выделение части изображения при работе с векторной информационной моделью выполняется проще, чем с пиксельной?
27. Вследствие каких операций в составе информационной модели изображения появляются артефакты и визуальный шум?
28. От чего зависит объем векторной информационной модели изображения?
29. По каким причинам интерфейсы пользователя графических редакторов для работы с векторными изображениями различаются сильнее, чем аналогичные интерфейсы редакторов для работы с пиксельными изображениями?
30. Какова основная причина, осложняющая автоматическую трассировку пиксельных изображений?
31. Каково содержание процедуры растривания изображения?
32. Чем пиксел отличается от элемента растра изображения?
33. Каким образом выполняется растривание изображения при построении пиксельной информационной модели? Что служит источником изображения?
34. Что такое "усреднение цветовой характеристики"?
35. Почему в дескрипторе пиксельной информационной модели нет необходимости указывать координаты соответствующего ему пиксела?
36. Почему в процессе построения пиксельной информационной модели и ее повторного растривания неизбежно утрачивается часть визуальной информации?
37. Почему сложность изображения не оказывает влияния на размер соответствующей ему пиксельной информационной модели?
38. При каких условиях пиксельное изображение может быть реалистичным?
39. Почему масштабирование пиксельного изображения приводит к его искажениям?
40. Из-за чего значительная часть времени при работе с пиксельным графическим редактором уходит на выполнение вспомогательных операций выделения части изображения?

## **Темы для обсуждения**

1. Задачи дизайна, в которых целесообразно преимущественное применение векторной информационной модели изображения.
2. Задачи дизайна, в которых целесообразно преимущественное применение пиксельной информационной модели изображения.

3. Автоматическое построение информационной модели изображения в художественном творчестве – "за" и "против".
4. Приемы работы над графическим проектом, позволяющие избежать масштабирования пиксельных изображений.
5. Какие дополнительные элементы следует ввести в пиксельный графический документ, чтобы компенсировать основные недостатки пиксельной модели изображения?
6. Какие дополнительные элементы следует ввести в векторный графический документ, чтобы компенсировать основные недостатки векторной модели изображения?
7. Графические проекты, в которых целесообразно совместное применение пиксельной и векторной моделей изображения.
8. Прикладные области компьютерной графики, в которых целесообразно применение той или иной информационной модели изображения.

## 1.3. Информационные модели цвета

В этой главе кратко рассматриваются феномен цвета, механизмы его образования и восприятия, а также устройство информационных моделей цвета, использующихся в компьютерной графике. Поскольку большинство вопросов, связанных с применением цвета в дизайнерских проектах и психологией его восприятия зрителем, рассматриваются в курсах цветоведения и основ визуальной коммуникации, здесь они практически не затрагиваются. Заключительные разделы главы посвящены вопросам, относящимся к точности воспроизведения цвета в компьютерной графике.

### 1.3.1. Природа цвета и физиологические основы его восприятия

Термин «цвет», являясь весьма привычным, при пристальном рассмотрении оказывается связанным с очень сложными понятиями физики, физиологии и психологии, и дать его точное определение достаточно трудно. Для целей, преследуемых в компьютерной графике, *цвет* можно определить как характеристику визуального образа, возникающего в результате взаимодействия источника (источников) света, рассматриваемого объекта и наблюдателя.

#### *Примечание*

Отметим, что рассматриваемый объект может совпадать с источником света (например, экран монитора), а в качестве наблюдателя может выступать не только человек, но и прибор (например, колориметр, применяемый в процессе калибровки монитора). Тем не менее можно считать, что в отсутствие источника света, объекта или наблюдателя говорить о цвете не имеет смысла.

### Функции цвета в изображении

Как составная часть изображения, цвет играет две важные роли. Во-первых, в информационной модели изображения цвет, представленный с помощью цветовых моделей, несет информацию об изображенных предметах. Во-вторых, в процессе визуального восприятия изображения цвет воздействует на ассоциативную память зрителя и вызывает у него определенные эмоции, слабо связанные с самим изображением, но сильно влияющие на процесс его восприятия. Представим себе монохромную фотографию колибри. Рассматривая ее, можно получить представление о форме этой птицы, но о том, как она в действительности выглядит, такое изображение судить не позволяет, поскольку в нем отсутствует информация о цвете. На монохромных изображениях разные предметы можно принять за одинаковые – это пример информационной функции цвета.

Цвет стен комнаты, в которой находится наблюдатель, влияет на его настроение и ощущения. Жарким летом в комнате с голубыми стенами кажется прохладнее, чем в соседнем помещении с красными стенами – это пример эмоциональной функции цвета.

Даже оставляя в стороне психологию восприятия цвета, можно утверждать, что цветоощущение – сугубо субъективный процесс. Характеристики видимого цвета сильно зависят от индивидуальных качеств наблюдателя. Даже у людей, у которых врачи не находят отклонений от нормального зрения, границы цветовых диапазонов заметно различаются. Если попросить несколько человек воспроизвести с помощью комплекта акварельных красок один и тот же образец цвета, полученные результаты всегда будут разными.

## Свет

*Свет* представляет собой электромагнитные колебания высокой частоты, которые занимают лишь небольшую часть полного диапазона частот электромагнитных колебаний и физиологически воспринимаются зрением – одним из органов чувств человека. Длины волн видимой части спектра электромагнитных колебаний лежат в диапазоне примерно от 700 до 400 нм.

### **Примечание**

Нанометр (нм) представляет собой одну миллионную часть миллиметра. Электромагнитные колебания с длинами волн  $> 700$  нм называются инфракрасными, а  $< 400$  нм – ультрафиолетовыми.

В сетчатке глаза имеются светочувствительные клетки двух видов – палочки и колбочки. При попадании на них света в этих клетках начинаются химические реакции, в которых разлагаются светочувствительные пигменты (родопсин в палочках и йодопсин в колбочках). Изменение химического баланса вызывает появление импульсов в зрительном нерве, кодирующих информацию об интенсивности падающего света (его энергии). Когда эта информация поступает в мозг, она интерпретируется как яркость и цвет. Какой цвет получится в результате интерпретации, зависит от спектрального состава света, попавшего на сетчатку.

### **Примечание**

Чаще всего свет состоит из смеси электромагнитных колебаний различных частот. Спектральный состав – это информация о том, как распределяется суммарная энергия, переносимая светом, по отдельным частотам. График, показывающий распределение энергии света по частотам, называется *спектральной диаграммой*.

Палочки реагируют примерно одинаково на все частоты видимого света. Их чувствительность к свету очень высока – человек, находившийся достаточно продолжительное время в темноте, видит даже очень слабые источники света. Колбочки содержат в себе три видоизменения йодопсина, по-разному реагирующие на частоты различных диапазонов. Чувствительность колбочек к свету много ниже, чем палочек.

Экспериментально доказано, что фиксация колбочками присутствия равномерной смеси волн сразу всех длин видимого спектра воспринимается мозгом как белый свет. Отсутствие волн из всех частей видимого спектра будет интерпретировано как черный цвет (отсутствие света).

Поскольку свет с различными длинами волн неодинаково преломляется прозрачной средой, то при пропускании белого света (равномерной смеси волн видимого спектра) через призму он разделяется на световые потоки, соответствующие различным цветам (длинам волн), как показано на рис. 1.3.1.

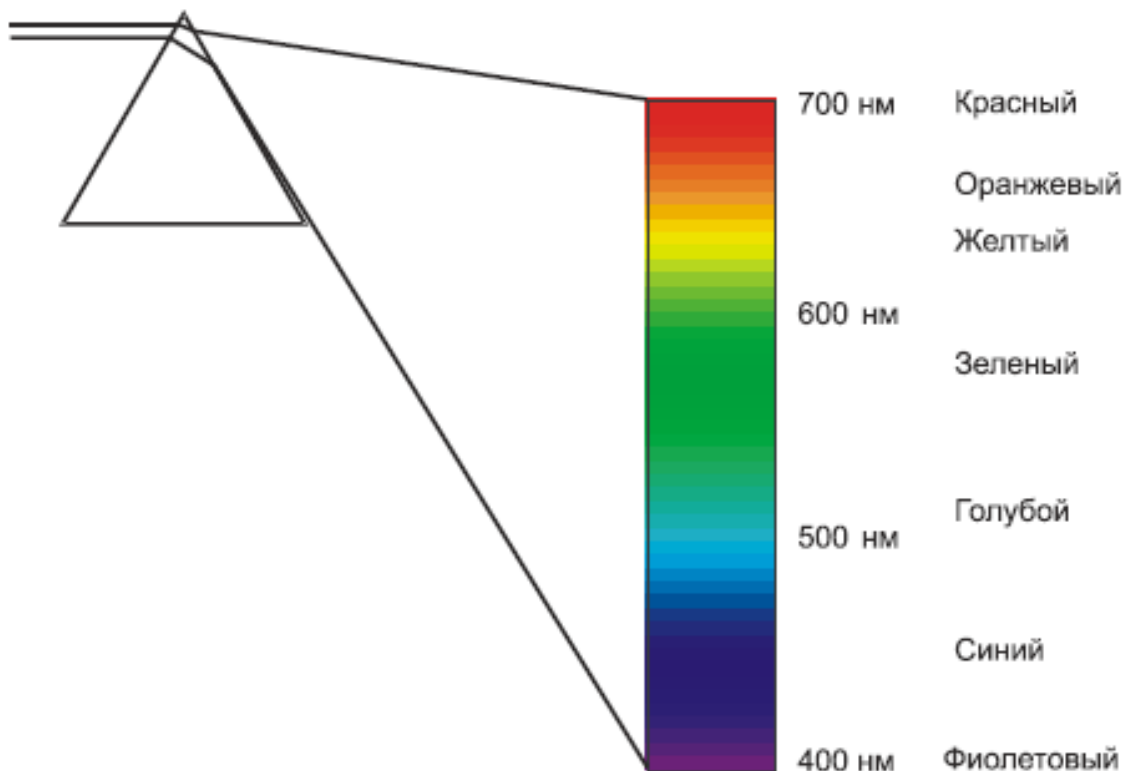


Рис. 1.3.1. Разложение белого света на световые потоки с различными длинами волн

Этот эксперимент, впервые выполненный Исааком Ньютоном, наглядно показал, что световые волны с различной длиной интерпретируются системой «глаз – мозг» как разные цвета. В видимой области спектра электромагнитных колебаний условно принято выделять следующие диапазоны: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. У этих диапазонов нет четких границ, цвета плавно переходят один в другой.

Таким образом, когда колбочки фиксируют наличие световых волн длиной примерно 700 нм, мозг реагирует на это как на красный цвет. Если длина волны находится в диапазоне 450–500 нм, – виден голубой, а длина волны 400 нм соответствует фиолетовому. Это явление лежит в основе цветоощущения в целом.

Однако описанная ситуация встречается крайне редко. Дело в том, что со световыми потоками, состоящими из волн только одной длины, как и со световыми потоками, энергия которых равномерно распределена по волнам всех возможных длин, на практике почти не приходится иметь дела.

#### ***Примечание***

Исключение составляет свет лазера – чаще всего он содержит в себе волны только одной длины.

### **Спектральное распределение**

Реальные световые потоки представляют собой сочетание волн различных длин, причем разные диапазоны представлены в этом сочетании в различных пропорциях. Такая смесь описывается спектральным распределением, графическим представлением которого является уже упоминавшаяся спектральная диаграмма. На этой диаграмме показывается, каким образом световая энергия распределяется по частотам спектра. Световой поток, соответствующий заданному спектральному распределению, всегда будет восприниматься наблюдателем как один и тот же цвет, независимо от того, каким образом он был создан. Спектральное

распределение – самое полное, точное и надежное описание цвета из всех возможных. На рис. 1.3.2 представлены спектральные диаграммы для двух цветов.

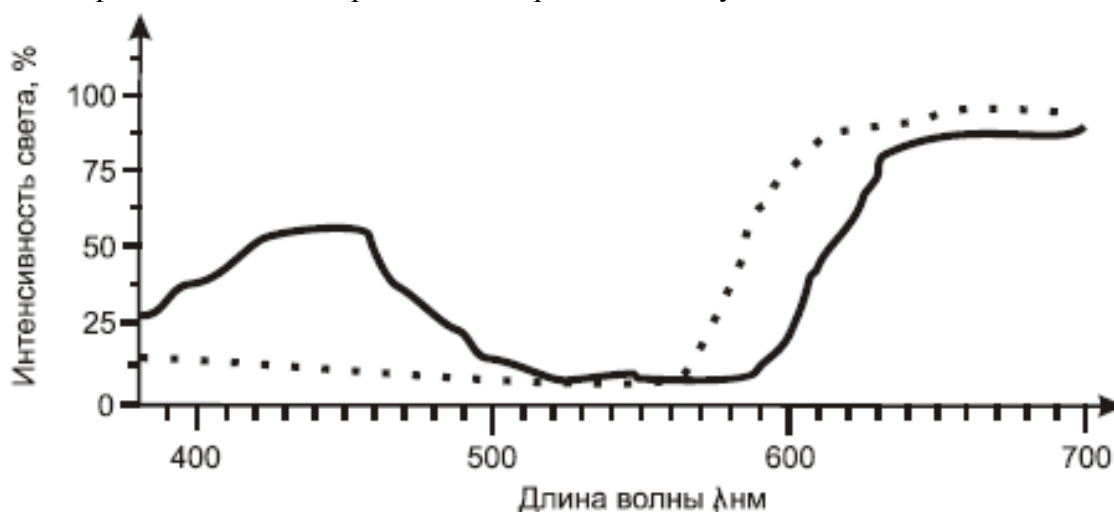


Рис. 1.3.2. Спектральные диаграммы для двух различных цветов

#### **Примечание**

Приведенные на рис. 1.3.2 спектральные диаграммы были получены с помощью спектрофотометра – специального прибора, позволяющего построить спектр по образцу цвета. В качестве образцов были взяты спелая слива (сплошная линия) и строительный кирпич (точечная линия). Как можно видеть из спектральной диаграммы, цвет сливы образуется совместным воздействием волн фиолетово-синего и красного диапазонов видимого спектра, а цвет кирпича – волнами желтого и красного диапазонов.

Из того, что световые потоки, имеющие одинаковое спектральное распределение, воспринимаются как один цвет, не следует, что каждому цвету соответствует только одно спектральное распределение. Напротив, достаточно часто световые потоки, имеющие отчетливо различные спектральные распределения, воспринимаются как одинаковый цвет. Это явление получило название *метамерии*.

#### **Примечание**

Метамерия может проявляться в том, что два образца цвета воспринимаются одинаково под одним освещением, но по-разному под другим, имеющим иное спектральное распределение.

Важный вывод: цвет определяется спектральным распределением светового потока, попадающего в глаз наблюдателя, следовательно, изменение спектрального распределения может привести (и чаще всего приводит) к изменению воспринимаемого цвета. Причиной изменения спектрального распределения в световом потоке может стать:

- изменение свойств источника света, излучающего этот световой поток;
- прохождение светового потока через среду, по-разному поглощающую световые волны различной длины;
- отражение светового потока от поверхности, по-разному отражающей световые волны различной длины.

Способы управляемого изменения спектрального распределения и задания значения параметров, совместно обеспечивающие воспроизведение средствами компьютерной графики желаемого цвета, составляют *цветовую модель*. Но перед тем как перейти к рассмот-

рению конкретных цветовых моделей, необходимо ознакомиться с двумя основными способами формирования цвета и особенностями, связанными с их применением.

### 1.3.2. Излученный и отраженный свет

Излученный и отраженный потоки света при полной физической идентичности, тем не менее, приходится рассматривать по-разному. Например, в слабо освещенной или совсем темной комнате фотография в альбоме почти незаметна, но она прекрасно видна при отображении на экране монитора. Причина проста – монитор преобразует электрическую энергию источника питания в световое излучение, являясь, таким образом, источником света. Бумажный или картонный лист, чистый или с изображением таким источником не является. Он только отражает световой поток, образованный отдельным источником света (например, настольной лампой).

Механизмы, которые используются в компьютерной графике и полиграфии при работе с излученными и отраженными потоками света, неодинаковы, поскольку различными оказываются способы управления спектральным распределением этих потоков.

#### Излученный свет

При работе с излученным светом (например, при выводе изображения на монитор или проектор) цвет можно образовать, только варьируя свойства этого источника, заставляя его изменить спектральное распределение излучаемого света.

##### *Примечание*

Предполагается, что среда, в которой распространяется световой поток на пути от источника к наблюдателю, прозрачна, т. е. не ослабляет этот поток или ослабляет его равномерно во всем диапазоне частот. Это условие не всегда соблюдается. Например, морская вода поглощает волны красного диапазона значительно сильнее, чем зеленого и синего.

Однако эта задача в общем трудноосуществима. Спектральное распределение достаточно сложно представить в виде информационной модели, а его произвольное изменение для конкретного источника света в широком диапазоне – до сих пор техническая проблема, не имеющая удовлетворительного решения. К счастью, в компьютерной графике достаточно более простого решения – получить не световой поток с заданными спектральными характеристиками, а цвет, который этот поток вызывает при визуальном восприятии. Эта задача решается путем сложения световых потоков, создаваемых несколькими источниками с фиксированным спектральным распределением, в разных пропорциях. В основе синтеза цвета лежит ранее рассмотренное явление метамерии и законы Грассмана.

##### *Примечание*

*Герман Гюнтер Грассман* (Hermann Günther Grassmann, 1809–1877) – немецкий физик, математик и филолог, занимавшийся экспериментальным исследованием цветного зрения.

Эти три закона, сформулированные в середине XIX века, чрезвычайно важны для компьютерной графики.

1. Любые четыре цвета находятся в линейной зависимости. Это означает, что любой цвет может быть получен в виде пропорциональной смеси трех линейно независимых базовых цветов. В качестве базовых можно выбрать, например, красный, зеленый и синий или желтый, бирюзовый и пурпурный. Выбрать базовые цвета можно бесконечным числом способов.

2. Если в смеси трех базовых цветов один из них изменять непрерывно, то итоговый цвет будет меняться тоже непрерывно.

3. Цвет смеси определяется только цветами смешиваемых компонентов и не зависит от их спектрального распределения.

Из первого закона вытекает, что цвет можно описать с помощью трех числовых параметров, определяющих пропорции базовых цветов при смешивании. Из второго закона следует, что цвет непрерывен, – любой цвет можно получить из любого другого, плавно меняя пропорцию смеси базовых цветов, и при этом всем промежуточным состояниям смеси будут соответствовать свои цвета.

Два первых закона Грассмана позволяют ввести очень важное понятие компьютерной графики – цветовое пространство. *Цветовое пространство* — это геометрическое место точек, каждая из которых соответствует определенному цвету.

### **Примечание**

По смыслу к цветовому пространству близок *цветовой охват* (gamut) – термин, обозначающий всю совокупность цветов, которую можно воспроизвести в рамках одной цветовой модели или на конкретном устройстве вывода.

Положение этих точек определяется в трехмерной системе *цветовых координат*. В различных цветовых моделях цветовые координаты могут иметь разный физический смысл. Например, каждая из координат цветового пространства может соответствовать одному базовому цвету. В этом случае значения координат равны долям базовых цветов в смеси, соответствующей сопоставленной точке цветового пространства цвету. Независимо от выбранной цветовой модели цветовое пространство всегда трехмерно – это вытекает из первого закона Грассмана.

Из третьего закона Грассмана следует, что если есть два визуально одинаковых цвета с различным спектральным составом, то результат их смешения с третьим цветом в обоих случаях будет одинаков. Это значит, что при формировании смеси цветов на цвет результата влияют не спектральные распределения источников света, а их цвет.

Смешивание световых потоков, соответствующих базовым цветам, выполняется, как правило, не в источнике света, а в глазу наблюдателя за счет подробно описанного в *разд. 3.1.1* явления визуального смыкания. Так что технически задача синтеза цвета сводится к выполнению следующих этапов:

- выбору базовых цветов;
- созданию источников с необходимым спектральным распределением, формирующих световые потоки, образующие эти цвета;
- реализации механизма управления мощностью световых потоков, излучаемых этими источниками.

Эта техническая задача имеет множество вполне приемлемых решений.

## **Отраженный свет**

При работе с отраженным светом источник света и рассматриваемый объект не совпадают. Наблюдатель видит объект, не излучающий света, за счет светового потока, отраженного от его поверхности. Если на объект не будет падать свет от отдельного источника (или нескольких источников), от его поверхности ничего не будет отражаться, и наблюдатель его не увидит.

При падении светового потока на поверхность объекта параллельно протекают два процесса: отражение и преломление, которые на рис. 1.3.3 условно представлены в виде стрелок.



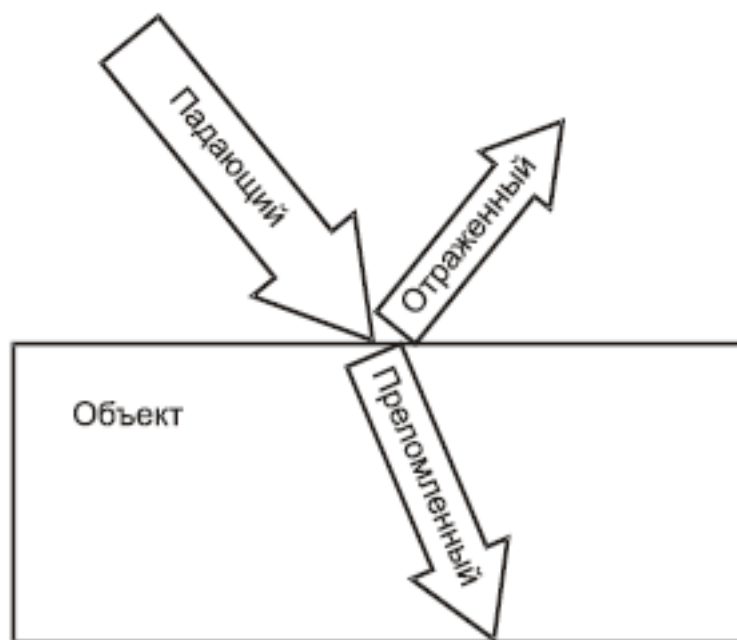


Рис. 1.3.3. Отражение и преломление светового потока, падающего на поверхность объекта

Одна часть падающего света отражается от поверхности объекта, образуя отраженный световой поток (именно он и воспринимается наблюдателем визуально), другая – преломленный световой поток, направленный внутрь объекта. В зависимости от физических свойств поверхности объекта расщепление падающего на нее светового потока происходит в различных пропорциях для разных длин световых волн. Отсюда следует важный вывод: при отражении светового потока от поверхности объекта его спектральное распределение может измениться. Как следствие, это ведет к изменению цвета светового потока при отражении. Если на поверхность падает световой поток с равномерным спектральным распределением, он имеет белый цвет. Но после поглощения части световых волн объектом белый цвет изменяется, превращаясь в хроматический (имеющий цветовую составляющую). Субъективно это воспринимается наблюдателем как присутствие того или иного цвета у отражающего объекта.

Следовательно, механизм образования цвета неизлучающего объекта состоит в управлении спектральным распределением отраженного от внешнего источника светового потока. Это проявляется в виде ослабления или подавления в отраженном световом потоке отдельных волновых диапазонов за счет изменения физических свойств отражающей поверхности (в простейшем случае – нанесением на объект краски).

Технически задача синтеза цвета при отражении света сводится к следующему:

- выбору краски, ослабляющей интенсивность светового потока в отдельных волновых диапазонах;
- формированию необходимого для создания желаемого цвета спектрального распределения отраженного светового потока за счет нанесения этой краски на поверхность объекта.

Эта задача успешно решается с помощью полиграфических производственных процессов и применения печатающих устройств.

## Роль внешнего источника света

Однако в отличие от излучения света, когда на создаваемый цвет почти не влияют внешние условия, при отражении огромную роль играет спектральное распределение внешнего источника света. Если лист белой бумаги освещен источником с равномерным спектральным распределением, он будет выглядеть белым, поскольку примерно одинаково отражает все падающие на него световые волны. Но если тот же лист поместить под синюю лампу, он будет выглядеть синим. Лист по-прежнему отражает все падающие на него световые волны, только теперь в их составе практически нет ни красного, ни зеленого, ни других цветовых диапазонов (отличных от синего).

Изменим условия эксперимента, поместив под источник белого света красный лист бумаги. Поскольку цвет этого листа воспринимается как красный, можно сделать вывод, что при отражении от его поверхности световой поток в значительной степени утратил все волновые диапазоны, кроме красного – поверхность листа поглотила их. Если тот же лист поместить под синюю лампу, он будет выглядеть черным. Это объясняется тем, что синий волновой диапазон поглощается поверхностью бумаги, а других составляющих в падающем световом потоке просто нет. От листа ничего не отражается, и он воспринимается как черный.

Важный вывод: восприятие цвета в отраженном свете сильно зависит от спектрального распределения внешнего источника освещения. Поэтому при измерении цвета (колориметрии) и построении точных цветовых моделей необходимо учитывать характеристики источников света (см. табл. 1.3.1).

Принципиальные различия в механизмах образования цвета при излучении и отражении света требуют применения для этих случаев различных цветовых моделей. Некоторые такие модели рассматриваются в последующих разделах.

### 1.3.3. Ахроматические модели

Из материала, приведенного в предыдущем разделе, следует, что белый цвет воспринимается наблюдателем в том случае, когда световой поток в равных пропорциях содержит в себе излучения всех длин волн видимой части спектра. Черный цвет соответствует отсутствию светового потока или (что то же самое) световому потоку, в котором интенсивность всех световых волн равна нулю. Если же интенсивность световых волн в пределах видимого диапазона остается равной, но отличается от нуля и меньше 100 %, то наблюдатель видит серый цвет. Поскольку спектральное распределение светового потока для любого оттенка серого цвета остается равномерным (спектральные диаграммы совпадают с точностью до постоянного множителя), принято считать серый, черный и белый оттенками одного и того же цвета, называемого *ахроматическим* (не содержащим цветовой составляющей). Для описания изображений, содержащих только ахроматические цвета, используются две информационные модели – штриховая и монохромная.

### Штриховая модель

*Штриховым* называется изображение, в информационной модели которого дескриптор цвета может принимать только одно из двух фиксированных значений. Это означает, что в пиксельном изображении пиксели могут быть лишь одного из двух цветов, а в векторном изображении все объекты могут иметь заливку и обводку только одного цвета.

Цветовое пространство штриховой модели включает в себя только две точки, соответствующие двум базовым цветам штриховой модели. Эти цвета принято называть цве-

том переднего плана и фоновым цветом. Штриховая цветовая модель не предусматривает возможности смешивания базовых цветов, они всегда присутствуют в изображении только в чистом виде. Поэтому для описания цвета в такой информационной модели достаточно единственного логического значения. Следовательно, в памяти компьютера дескриптор цвета штриховой модели изображения занимает 1 бит, и может принимать значения ноль или единица. Этим обусловлено главное достоинство штриховой модели – ее компактность.

Штриховая модель подходит для представления таких изображений, как офорты, гравюры, рисунки пером и шариковой ручкой. Несмотря на кажущуюся ограниченность и простоту, данная модель очень часто применяется при решении задач компьютерной графики.

Как вытекает из изложенного ранее, цвет переднего плана должен быть черным, а фоновый цвет – белым. Из-за этого штриховую модель довольно часто называют моделью черно-белого изображения. Этот термин представляется не очень удачным по нескольким причинам:

- аналогичным термином иногда обозначают монохромные изображения с белым и черным базовыми цветами;
- от перемены мест черного и белого ничего не меняется – любой из этих цветов может быть как фоновым, так и цветом переднего плана;
- вместо черного и белого возможны любые другие фиксированные цвета, и при этом ни суть модели, ни методы для работы с ней не изменяются.

Основные приемы работы со штриховыми изображениями описаны в *разд. 3.6.1*.

## Монохромная модель

Монохромная модель цвета представляет собой расширение штриховой модели, достигаемое за счет введения в цветовое пространство цветов, полученных смешиванием базовых цветов модели. *Монохромным* называется изображение, в котором используются цвета, полученные смешиванием в различных пропорциях двух фиксированных базовых цветов. Цвета, промежуточные по отношению к базовым цветам монохромной цветовой модели, называются *оттенками*. Оттенки отличаются друг от друга процентным содержанием базовых цветов. Как правило, в названии оттенка указывают содержание только одного базового цвета. Например, если в качестве цвета переднего плана выбран синий, а в качестве фоновый – белый, то оттенки определяются следующим образом: «20 %-ный оттенок синей-белой монохромной модели цвета».

### *Примечание*

В подавляющем большинстве случаев как минимум один из базовых цветов монохромной модели – ахроматический. Тогда хроматика (цветность) всех оттенков такой модели имеет одинаковое значение, т. е. оттенки *монохромны*. При использовании в качестве базовых двух различных цветов, получившиеся оттенки модели уже не будут монохромными, их хроматика меняется от оттенка к оттенку. Однако в рамках курса компьютерной графики такую цветовую модель тоже целесообразно считать монохромной, поскольку она устроена точно так же, как истинно монохромная цветовая модель, и работают с ней теми же методами.

Чаще всего в качестве базовых цветов монохромной модели выбирают черный и белый. В этом случае в названии монохромной модели базовые цвета не указываются. Если упоминается 40 %-ный оттенок без дополнительных замечаний, речь идет о цвете, полученном смешиванием 40 % черного и 60 % белого цвета.

Цветовое пространство монохромной модели непрерывно и содержит в себе бесконечное число цветов. В компьютерной графике их принято упорядочивать по возрастанию

доли базового цвета переднего плана. Упорядоченная совокупность всех цветов монохромной модели цвета называется *монохромной шкалой* или *шкалой градаций базового цвета*. Шкала градаций черного цвета представлена на рис. 1.3.4.

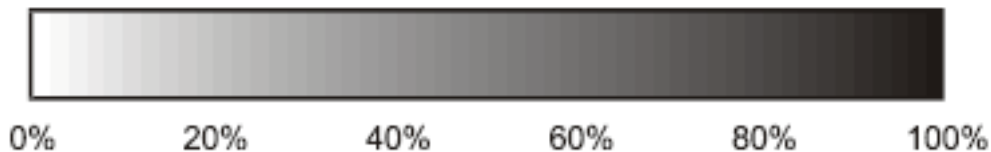


Рис. 1.3.4. Шкала градаций черного цвета

#### ***Примечание***

Когда употребляется термин "шкала градаций цвета", предполагается, что второй базовый цвет монохромной шкалы – ахроматический, т. е. черный или белый. Шкалу градаций черного цвета часто называют шкалой градаций серого. Поскольку серый цвет – это промежуточный оттенок монохромной модели с черным и белым базовыми цветами, данный термин не совсем точен.

На рис. 1.3.5 представлены штриховое и монохромное изображения одного и того же предмета.



Рис. 1.3.5. Штриховое и монохромное изображения манипулятора «мышь»

Монохромная модель цвета очень широко применяется в компьютерной графике и полиграфии. Подавляющее большинство иллюстраций в этом учебнике подготовлены именно в виде монохромных изображений. Эта модель удобна для представления монохромных фотографий, деловой и художественной ахроматической графики, иллюстраций и схем.

#### ***Примечание***

Нецветные фотографии принято называть черно-белыми. На самом деле они являются ахроматическими монохромными изображениями. Оттенки черного цвета в таких фотографиях образуются за счет различной степени потемнения мелко размолотых частиц светочувствительного препарата серебра, содержащегося в верхнем слое фотографической бумаги. Применение специальных окрашивающих препаратов (вирирование) позволяет переходить от ахроматической шкалы к хроматической, при этом черный цвет серебра заменяется равным ему по оттенку хроматическим цветом соли металла. Таким способом получают отпечатки с коричневым (сепия), синим и красным цветом переднего плана.

Ранее уже отмечалось, что монохромная модель включает в себя бесконечное число цветов. На практике в этом нет необходимости, поэтому непрерывную монохромную шкалу заменяют на дискретную, разбитую на конечное число участков, внутри каждого из которых

цвет не меняется. В полиграфии монохромную шкалу принято разделять на 100 участков и обозначать оттенки целыми процентами. В компьютерной графике монохромную шкалу чаще разбивают на 256 участков, обозначая оттенок номером соответствующего ему участка (0 соответствует черному цвету, а 255 – белому).

#### **Примечание**

Выбор числа 256 обусловлен спецификой представления дескриптора цвета монохромной модели в памяти компьютера.  $256 = 2^8$ , следовательно, для хранения в памяти одного числа, меняющегося в диапазоне от 0 до 255, требуется 8 битов (один байт).

Число двоичных разрядов, которые отводятся в информационной модели цвета для хранения информации о цвете одного элемента изображения, называют *глубиной цвета* или *цветовой разрешающей способностью* модели. Глубина цвета измеряется в битах на элемент (в пиксельной модели изображения – в битах на пиксел, сокращенно bpp). Чтобы определить, какое количество цветов содержит цветовое пространство модели, достаточно возвести двойку в степень, равную глубине цвета. Следовательно, глубина цвета монохромной модели, в которой шкала разбита на 256 участков, равна восьми.

#### **Примечание**

Для штриховой модели с двумя базовыми цветами глубина цвета равна единице.

Помимо основного назначения (представления монохромных изображений), монохромная модель в компьютерной графике обеспечивает выполнение множества технологических операций. В виде монохромного изображения хранятся маски и альфа-каналы (см. разд. 3.5.4), каналы цвета (см. разд. 3.4.4) и деленные формы, получающиеся в процессе цветоделения (см. разд. 3.11.4). Рассмотренные в разд. 3.9.5 дуплексы представляют собой совокупность совмещенных при выводе монохромных изображений. Это обеспечивает исключительную важность монохромной модели цвета и монохромных изображений.

### **1.3.4. Модель индексированного цвета**

В модели индексированного цвета цветовое пространство не является непрерывным. Так же, как в штриховой модели, число цветов здесь ограничено. *Индексированной моделью* цвета называется нумерованная совокупность цветов, составляющих палитру. *Палитрой* называется таблица образцов цвета, устанавливающая соответствие номера ячейки палитры (*индекса*) тому или иному цвету. Определение цвета каждого из образцов в палитре выполняется средствами аддитивной цветовой модели (см. разд. 1.3.5). Дескриптор цвета индексированной модели содержит в себе только номер цвета в палитре.

Число цветов в модели индексированного цвета может выбираться при составлении палитры. Как правило, размер палитры представляет собой целую степень двойки (4, 8, 16, 32, 64, 128 или 256 цветов). В палитру всегда включают черный и белый цвета. Одна из ячеек палитры резервируется под "прозрачный" цвет.

#### **Примечание**

При рендеринге изображения, в информационной модели которого используется индексированная модель цвета, элементы изображения, которым назначен прозрачный цвет, не обрабатываются – на их месте остается фоновое изображение.

В зависимости от размера палитры меняется глубина цвета индексированной модели. Она может составлять от двух до восьми битов на элемент изображения. При глубине цвета, равной единице, индексированная модель цвета превращается в штриховую.

Палитра индексированного изображения может быть стандартной или локальной. Стандартные палитры составляются заранее. Имеются стандартные палитры для наиболее распространенных операционных систем, обозревателей Web, шкалы градаций черного цвета и др. При работе со стандартными палитрами нет необходимости включать их в информационную модель изображения, поскольку они входят в состав прикладного и системного программного обеспечения.

Локальные палитры строятся на основе анализа конкретного изображения. Эта процедура может проводиться вручную, но чаще средствами графических редакторов. При автоматическом построении палитры выбирается ее размер и алгоритм выбора образцов цвета. На рис. 1.3.6 представлено одно и то же изображение, преобразованное в индексированную модель с различной глубиной цвета.

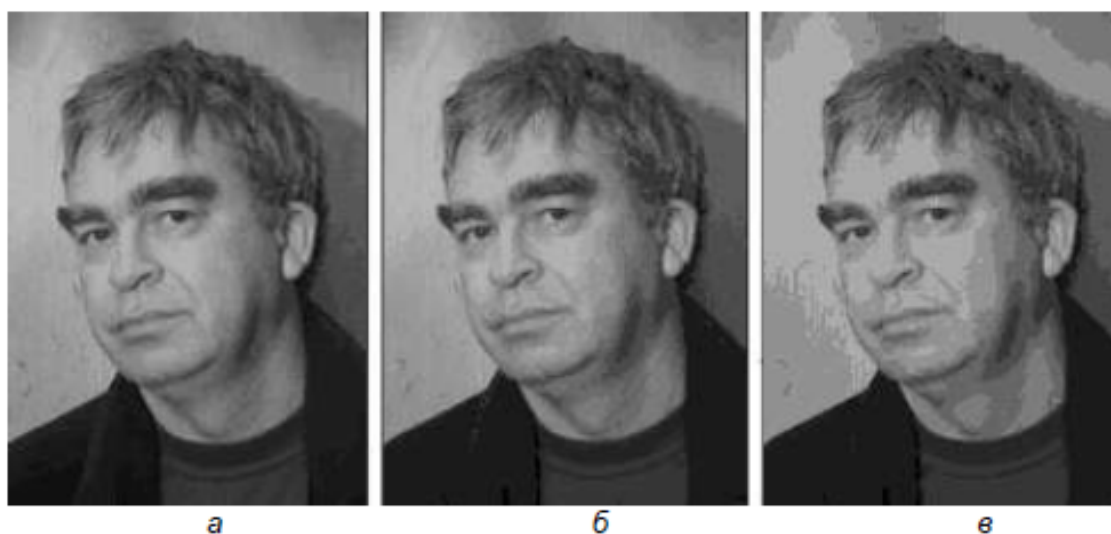


Рис. 1.3.6. Индексированная модель цвета: *а* – глубина цвета 6 битов; *б* – глубина цвета 5 битов; *в* – глубина цвета 4 бита

В компьютерной графике индексированная модель цвета применяется довольно давно. Первые цветные мониторы позволяли работать только с изображениями, представленными с помощью этой модели, причем глубина цвета была очень невелика, всего 4 бита, и существовали только фиксированные палитры. Сегодня изображения с индексированной моделью цвета еще остаются в анимации и WWW, но для экранных приложений (компьютерных игр, тренажеров, мультимедийных презентаций) разработаны более совершенные цветовые модели.

## Имитация цвета

Размер палитры ограничивает число цветов, которые могут одновременно присутствовать в изображении на основе индексированной модели цвета. Однако при работе с пиксельными изображениями и достаточно малом размере пикселей визуально может восприниматься значительно больше цветов, чем имеется в палитре. Это достигается за счет *имитации цвета* (dithering) – приема, основанного на явлении визуального смыкания, описанном в разд. 3.1.1. При имитации цвета смежные пиксели изображения, окрашенные цветами, выбранными из палитры, визуально воспринимаются в виде более крупного пятна, причем его цвет, образованный за счет смешивания цветов нескольких пикселей, в палитре

не присутствует. На рис. 1.3.7 в методических целях этот прием представлен для изображения со сравнительно большим размером пикселей.

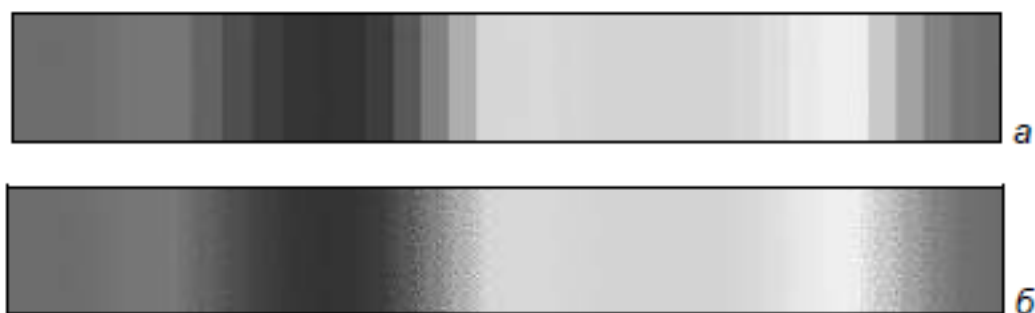


Рис. 1.3.7. Имитация цвета для монохромного индексированного изображения: *а* – имитация отсутствует; *б* – имитация цвета по методу диффузии

Имитация цвета – важный прием, использующийся не только совместно с индексированной моделью, но и с описанными в последующих разделах полноцветными моделями.

### 1.3.5. Аддитивная модель

*Аддитивными моделями* цвета (от англ. *add* – складывать) называются цветовые модели, в которых световой поток со спектральным распределением, визуально воспринимающимся как нужный цвет, создается на основе операции пропорционального смешивания света, излучаемого тремя источниками. Схемы смешивания могут быть различными, одна из них представлена на рис. 1.3.8.

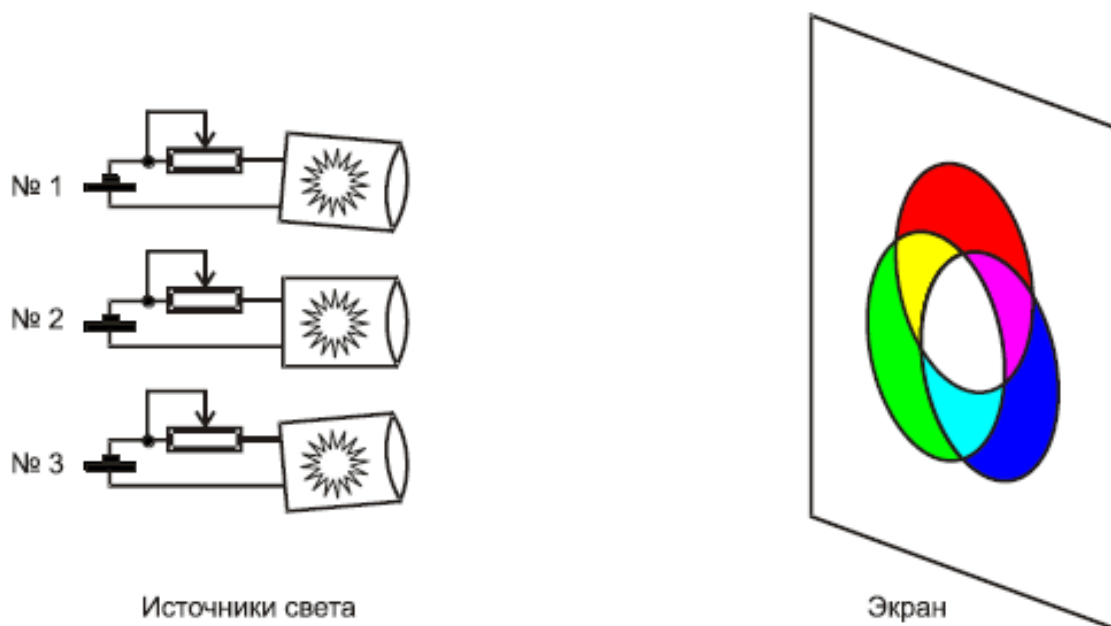


Рис. 1.3.8. Схема смешивания световых потоков в аддитивной модели цвета

Аддитивная модель цвета предполагает, что каждый из источников света имеет свое постоянное спектральное распределение, а его интенсивность регулируется.

Существуют две разновидности аддитивной модели цвета: аппаратно-зависимая и перцептивная. В *аппаратно-зависимой модели* цветовое пространство зависит от характеристик устройства вывода изображения (монитора, проектора). Из-за этого одно и то же изображение, представленное на основе такой модели, при воспроизведении на различных



устройствах будет восприниматься визуально немного по-разному. *Перцептивная модель* построена с учетом особенностей зрения наблюдателя, а не технических характеристик устройства.

## Модель RGB

Название этой модели происходит от аббревиатуры, состоящей из первых букв английских названий ее базовых цветов (см. *разд. 1.3.2*). Красный, зеленый и синий цвета были выбраны в качестве базовых потому, что эти волновые диапазоны видимой части спектра максимально удалены друг от друга. Кроме того, они близки к диапазонам, на которые избирательно реагируют колбочки сетчатки.

Цветовое пространство модели RGB непрерывно, но принято разбивать диапазоны интенсивности свечения источников на 256 интервалов. Нулевое значение соответствует отсутствию свечения, 255 – максимальной интенсивности, которую обеспечивает источник света. На рис. 1.3.9 цветовое пространство RGB представлено в виде куба в декартовой системе координат, в которой каждая из осей соответствует интенсивности свечения одного из источников базового цвета.

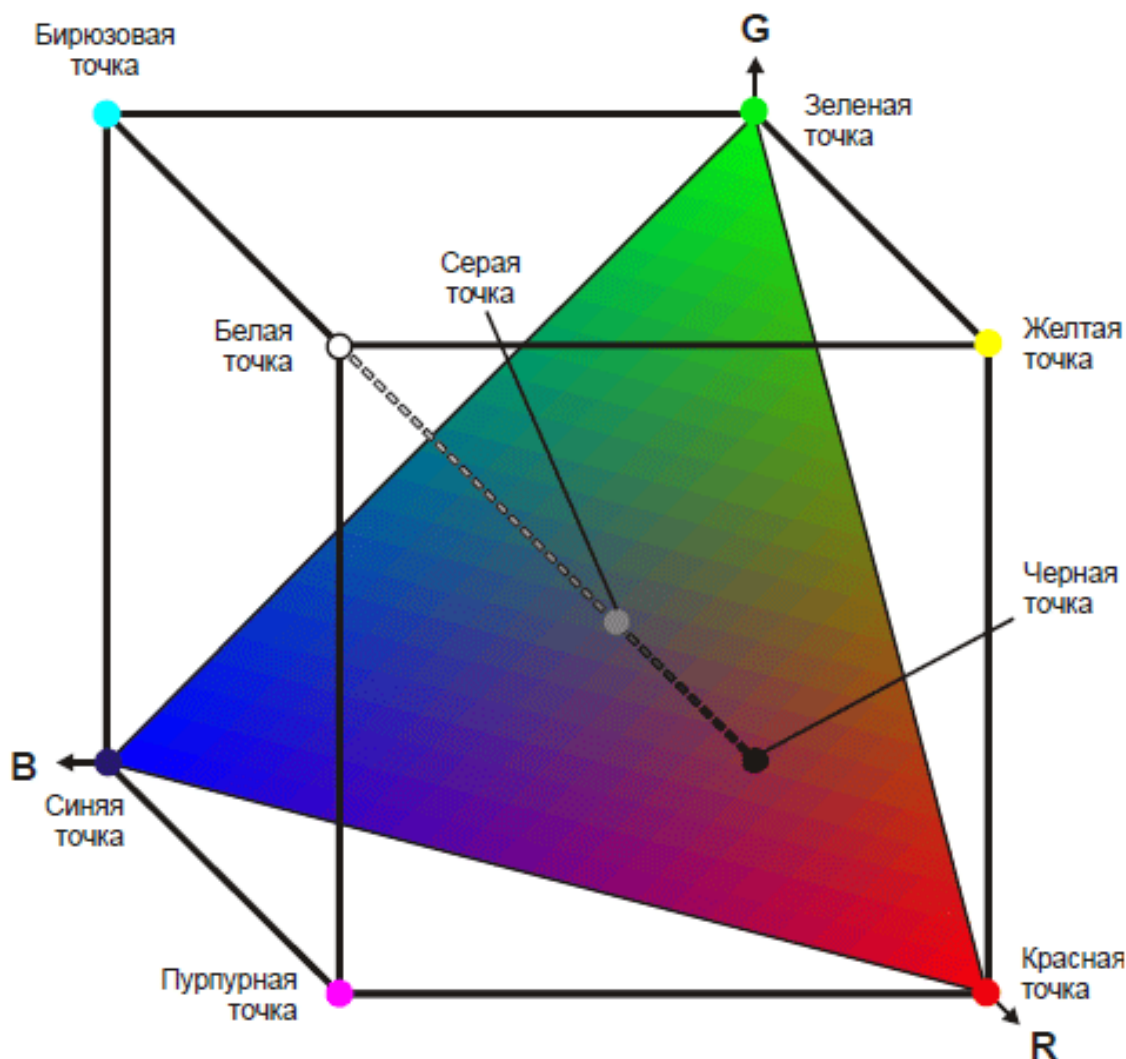


Рис. 1.3.9. Цветовое пространство модели RGB

На гранях куба, определяющего цветовое пространство, и внутри него каждой точке соответствует свой цвет. При разбиении каждой из осей цветовых координат на 256 интер-



валов глубина цвета модели составляет 24 бита. Это означает, что в ней имеется  $2^{24}$  цветов, т. е. 16 777 216.

### **Примечание**

В задачах, требующих высокой точности воспроизведения цвета, может устанавливаться удвоенная глубина цвета 48 битов и даже учетверенная – 96 битов. Конечно, при этом соответственно вдвое или вчетверо увеличивается объем памяти, необходимый для размещения информационной модели изображения.

Местоположение любой точки (а значит, и любого цвета) в цветовом пространстве задается тремя числами, соответствующими значениям цветовых координат. Запись этих чисел в виде  $RxGyBz$  (где  $x$ ,  $y$  и  $z$  – целые числа от 0 до 255) называется *формулой цвета RGB*.

В цветовом пространстве RGB имеются характерные точки и линии. Формуле цвета  $R0G0B0$  соответствует точка в начале цветовых координат и черный цвет (интенсивность излучения всех трех источников света равна нулю). Формуле цвета  $R255G255B255$  соответствует "белая" точка, в ней интенсивность свечения всех источников максимальна. Эти две точки соединяет диагональ куба, вдоль которой расположены цвета монохроматической шкалы – оттенки черного цвета. Эти точки соответствуют ахроматическим цветам. На пересечении диагоналей куба расположена "серая" точка  $R127G127B127$ , определяющая цвет, который в компьютерной графике называется *нейтральным серым*.

Линии, проведенные через "черную" точку и произвольно выбранную точку куба, представляют собой монохроматические шкалы, в которых в качестве фонового цвета выступает черный, а цветом переднего плана является цвет, соответствующий выбранной точке. Линии, проведенные через "белую" точку и произвольно выбранную точку куба, представляют собой монохроматические шкалы, в которых в качестве фонового цвета выступает белый, а цветом переднего плана является цвет, соответствующий выбранной точке.

Точки, лежащие на осях цветовых координат, соответствуют оттенкам базовых цветов модели RGB. Наиболее удалены от начала координат "красная"  $R255G0B0$ , "зеленая"  $R0G255B0$  и "синяя"  $R0G0B255$  точки. В остальных вершинах куба располагаются точки, соответствующие дополнительным цветам модели RGB:

- бирюзовому,  $R0G255B255$  (обозначается латинской буквой C);
- пурпурному,  $R255G0B255$  (обозначается латинской буквой M);
- желтому,  $R255G255B0$  (обозначается латинской буквой Y).

Отметим важный факт – дополнительные цвета цветовой модели RGB получаются при смешивании попарно в равной пропорции ее базовых цветов.

## **Цветность и треугольник цветности**

Большое значение имеет изображенный на рис. 1.3.9 *треугольник цветности*, представляющий собой лежащую в пределах цветового пространства часть плоскости, проходящей через «красную», «синюю» и «зеленую» точки. Принадлежащие ему точки называются точками единичного цвета. *Цветностью* или *хроматикой* цвета в компьютерной графике называется характеристика, имеющая одинаковое значение для всех оттенков одного цвета и различные значения для любой пары оттенков разных цветов.

### **Примечание**

Напомним, что оттенки получаются из спектрально чистого цвета смешиванием его с черным или белым.

Цветность определяет, в каком месте спектра располагается цвет.

Ранее уже отмечалось, что линиям, проходящим через "черную" или "белую" точку, соответствуют шкалы оттенков одного цвета. Проведем две прямые через любую точку цветового пространства RGB (заданную точку) так, чтобы одна из них прошла через "черную" точку, а другая – через "белую". Одна из этих прямых обязательно пройдет через какую-нибудь точку треугольника цветности. Причем цвета, соответствующие этой точке единичного цвета и заданной точке, будут принадлежать одной монохромной шкале и будут являться оттенками одного и того же цвета, различающимися только яркостью и насыщенностью (содержанием черного или белого). Таким образом, в треугольнике цветности "представлены" все цвета цветовой модели, хотя и оттенками различной яркости. Это позволяет использовать треугольник цветности в качестве графического представления цветового охвата модели.

В середине треугольника цветности лежит ахроматическая точка, соответствующая нейтральному серому (оттенку черного цвета). Если соединить ее с любой из точек, лежащих на сторонах треугольника цветности, то снова получится монохромная шкала. В ней в качестве базового цвета фона будет выступать нейтральный серый, а переднего плана – цвет, соответствующий заданной точке. И все точки этой шкалы будут соответствовать оттенкам одного цвета. Следовательно, чтобы задать цветность (хроматику), достаточно указать направление, в котором необходимо двигаться от серой точки к краю треугольника цветности.

## Цветовой круг

Понятие цветности лежит в основе очень широко распространенной в компьютерной графике абстракции – цветового круга. *Цветовым кругом* называется диаграмма, в которой по окружности расположены спектральные цвета, в центре – ахроматическая точка, а радиусам соответствуют монохромные шкалы. На рис. 1.3.10 приведены два варианта цветового круга, отличающиеся цветом ахроматической точки.

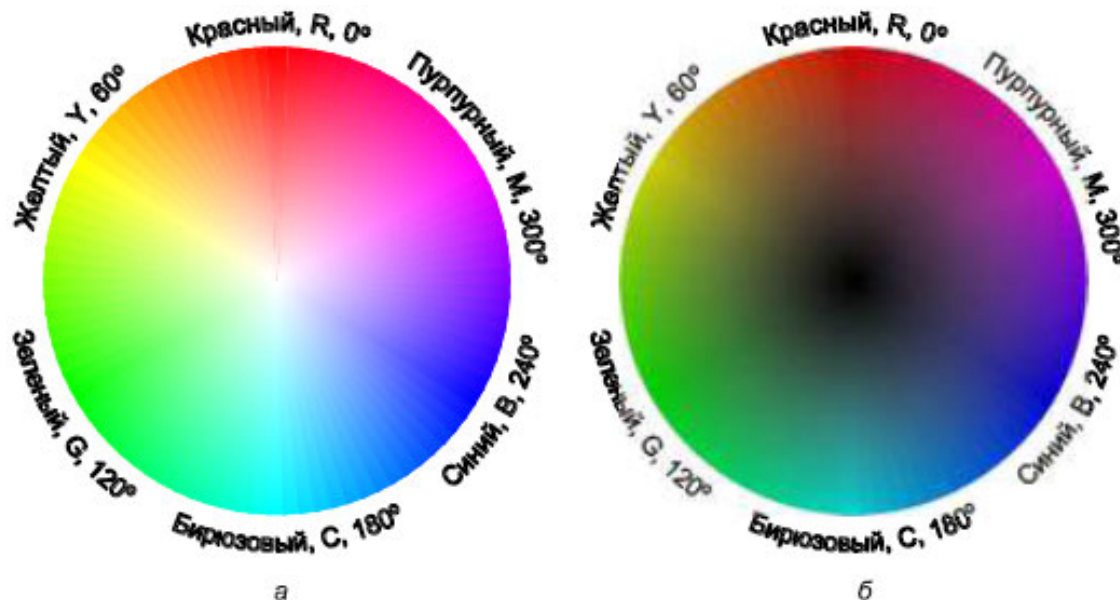


Рис. 1.3.10. Цветовой круг: а – с белым цветом в центре; б – с черным цветом

Красный цвет условно принято изображать сверху цветового круга, а соответствующему радиусу присваивать нулевое направление. На цветовом круге цветность любого цвета выражается величиной угла, который составляет соответствующий ему радиус с нулевым

направлением. Таким образом, цветность желтого цвета составляет  $60^\circ$ , зеленого –  $120^\circ$ , красного –  $0^\circ$ .

Цветовой круг тесно связан с цветовой моделью RGB. Если куб цветового пространства RGB спроецировать на плоскость в направлении, совпадающем с монохромной диагональю, получится шестиугольник, углы которого в точности совпадут с расположением цветов на цветовом круге.

## Достоинства и недостатки модели цвета RGB

Главные достоинства модели цвета RGB состоят в ее простоте, наглядности и в том, что любой точке ее цветового пространства соответствует визуально воспринимаемый цвет. Благодаря простоте этой модели она легко реализуется аппаратно. В частности, в мониторах управляемыми источниками света с различным спектральным распределением служат микроскопические частицы люминофора трех видов. Они хорошо заметны через увеличительное стекло, но при рассматривании монитора невооруженным глазом из-за явления визуального смыкания (см. разд. 3.1.1) видно непрерывное изображение. Интенсивность светового излучения в мониторах на основе электроннолучевых трубок регулируется с помощью трех электронных пушек, возбуждающих свечение люминофоров.

Но у модели цвета RGB есть два принципиальных недостатка. Первый – недостаточность цветового охвата. Независимо от размера цветового пространства модели цвета RGB, в ней невозможно воспроизвести много воспринимаемых глазом цветов (например, спектрально чистые голубой и оранжевый). У таких цветов в формуле цвета RGB имеются отрицательные значения интенсивностей базового цвета, а реализовать не сложение, а вычитание базовых цветов при технической реализации аддитивной модели очень сложно. Этот недостаток устранен в перцептивной аддитивной модели (см. далее).

Второй недостаток модели цвета RGB состоит в невозможности единообразного воспроизведения цвета на различных устройствах из-за того, что базовые цвета этой модели зависят от технических параметров устройств вывода изображений. Поэтому, строго говоря, единого цветового пространства RGB не существует, области воспроизводимых цветов различны для каждого устройства вывода. Более того, даже сравнивать эти пространства численно можно только с помощью других моделей цвета.

## Стандартные цветовые пространства RGB

Чтобы цветовое пространство RGB можно было использовать на различных устройствах, получая при этом одинаковые визуальные результаты, достаточно однозначно зафиксировать его базовые цвета в цветовых координатах перцептивной модели цвета. Многие программы компьютерной графики позволяют сегодня работать со стандартными цветовыми пространствами RGB, из которых наиболее часто применяются:

- *sRGB* – так называемое стандартное пространство RGB. Характеристики базовых цветов этого цветового пространства выбраны так, чтобы его можно было без искажений цвета воспроизводить на любых мониторах, даже невысокого класса. Широко применяется в графике для Web, любительской цифровой фотографии, печати на недорогих цветных принтерах. В профессиональной фотографии и полиграфии практически не применяется из-за сравнительно узкого цветового охвата – за границами этого цветового пространства лежит более половины видимых глазом цветов.

- *Adobe RGB (1998)* – расширенное цветовое пространство RGB. Первоначально это цветовое пространство разрабатывалось в рамках стандарта телевидения высокой четкости, затем получило распространение в профессиональной фотографии и сканировании изображений на сканерах высокого качества. Цветовой охват этого пространства почти на треть

шире, чем у sRGB, и за счет этого на устройствах низшего класса (недорогих сканерах, мониторах, фотокамерах) многие цвета этого пространства воспроизводятся неточно.

- *Wide Gamut RGB* – цветовое пространство с теоретически максимальным цветовым охватом для модели RGB. В качестве базовых цветов выбраны чистые спектральные цвета. При стандартной глубине цвета слишком много цветов из цветового охвата этого пространства становятся недоступными, поэтому для работы необходима глубина цвета 48 бит и выше.

Для определения и проверки эталонных базовых цветов стандартизированных цветовых пространств RGB применяют перцептивные цветовые модели XYZ или Lab.

## Модели XYZ и xyY

Исследования человеческого зрения показали, что аддитивный синтез цвета по схеме с тремя базовыми световыми потоками (см. рис. 1.3.8) имеет существенные ограничения. В частности, если источники излучают свет визуально воспринимаемого диапазона, то при любом сочетании базовых цветов не удастся получить все цвета, видимые глазом.

На протяжении первой трети XX века Международная комиссия по освещению проводила исследования физиологии человеческого зрения, на основе которых в 1931 году была предложена перцептивная цветовая модель, получившая название XYZ.

### **Примечание**

Международная комиссия по освещению, МКО (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) – интернациональный орган, работавший первоначально под эгидой Парижской палаты мер и весов, внесла огромный вклад в изучение цвета. На основе полученных этой комиссией научных результатов работают все современные технологии, связанные с воспроизведением цвета. Термин "перцептивный" происходит от слова *perception* – восприятие. Таким образом, перцептивная модель цвета – это модель, основанная на особенностях восприятия цвета человеком.

По результатам исследований, проведенных над группой наблюдателей, была определена усредненная цветовая реакция на световые потоки с различным спектральным распределением (т. н. *стандартный наблюдатель*). В результате были определены спектральные распределения для базовых световых потоков аддитивной схемы синтеза цвета, получившие названия X, Y и Z (рис. 1.3.11).

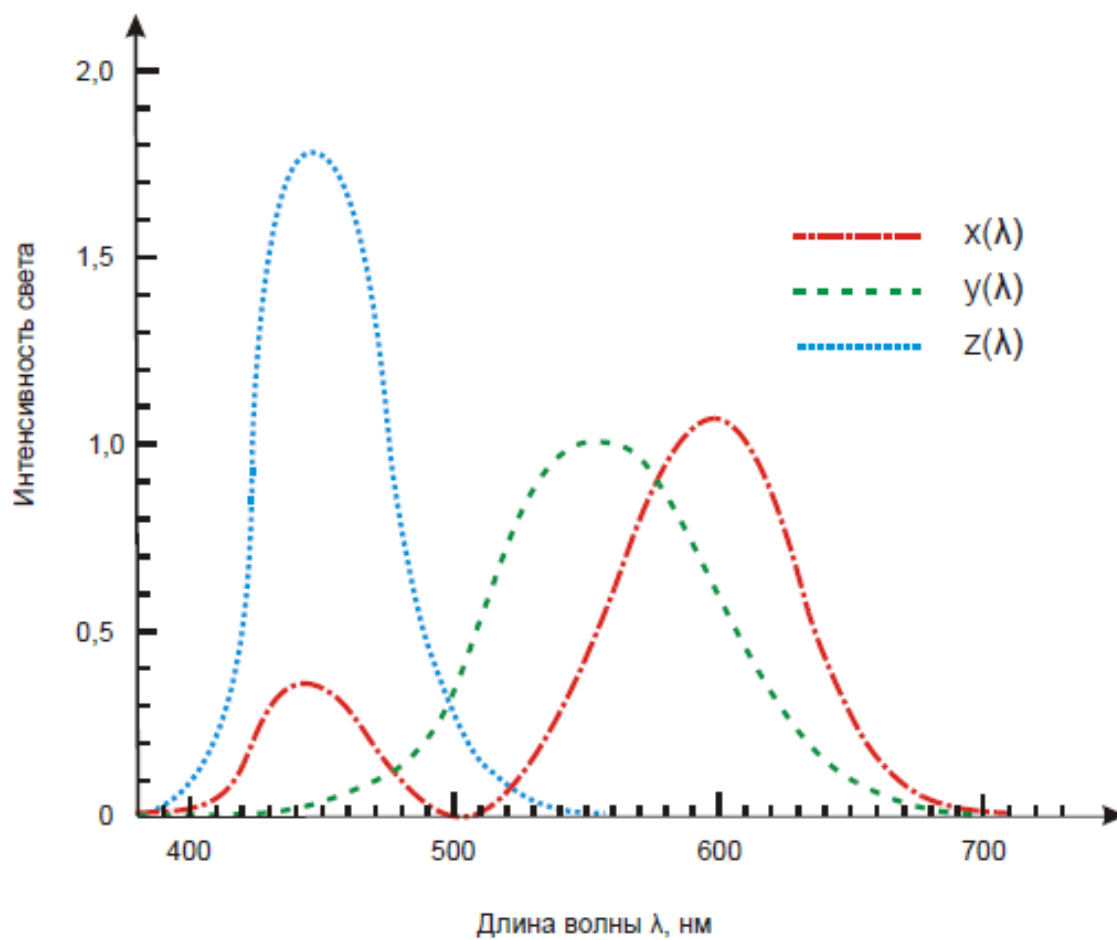


Рис. 1.3.11. Спектральное распределение источников света в цветовой модели XYZ

Смешивая световые потоки от источников с таким спектральным распределением, можно синтезировать любой цвет спектра. Следует отметить, что X, Y и Z нельзя называть базовыми цветами, — таких цветов в природе не существует. Кроме того, и не любое сочетание значений этих цветовых координат соответствует видимому цвету. Поэтому цветовые пространства моделей цвета XYZ (рис. 1.3.12) и RGB существенно различаются.

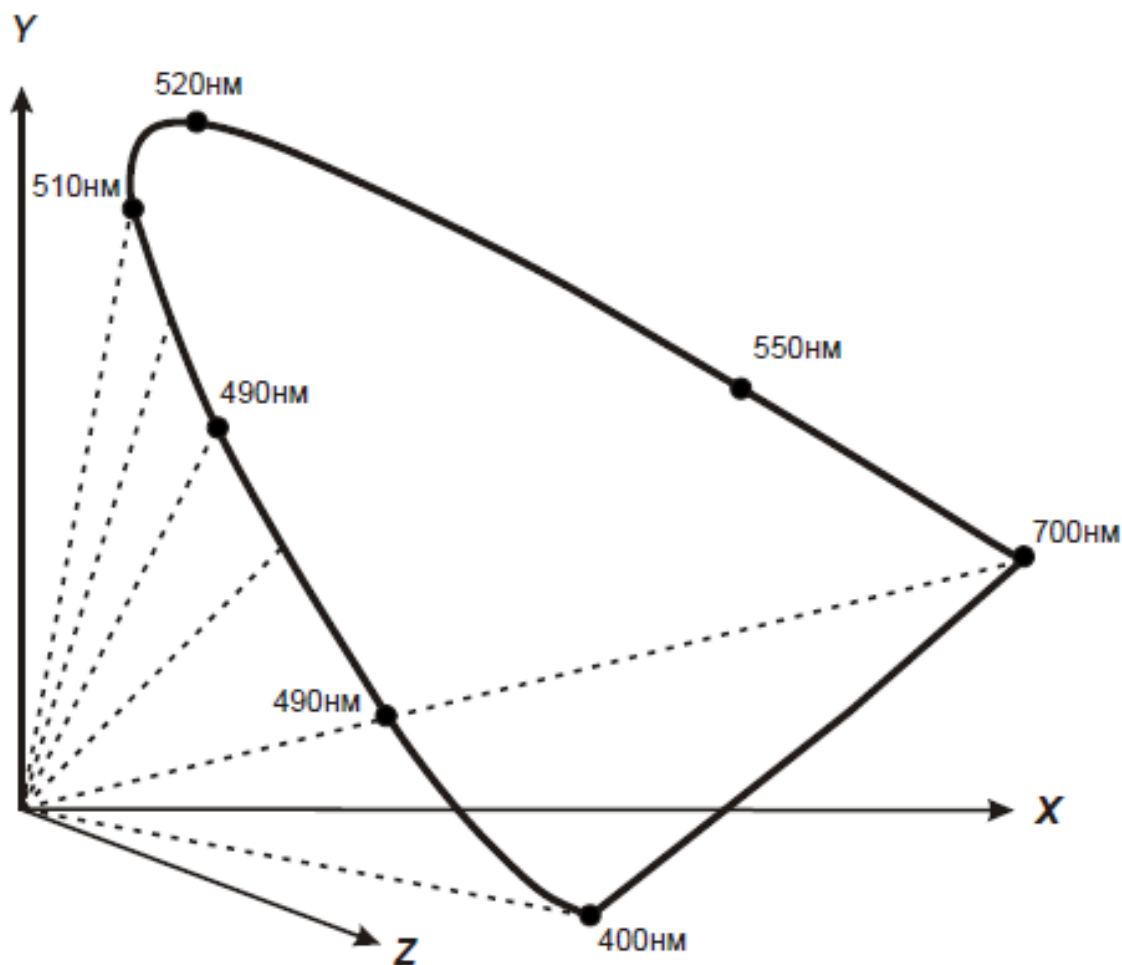


Рис. 1.3.12. Цветовое пространство модели цвета XYZ

Цветовое пространство модели цвета XYZ представляет собой криволинейный конус с вершиной в начале цветовых координат. По мере удаления от вершины светлота цветов, соответствующих точкам, лежащим внутри этого конуса, возрастает. Представленная на рис. 1.3.12 видимая часть цветового треугольника в модели цвета XYZ имеет форму сегмента неправильной параболы. На ее криволинейной границе располагаются спектрально чистые цвета, на прямолинейной хорде – цвета, полученные смешиванием красного и пурпурного. При удалении от границы фигуры насыщенность цвета уменьшается и в центре располагается ахроматическая точка.

Поскольку работать с объемным представлением цветового пространства в виде неправильного конуса не слишком удобно, на практике чаще пользуются нормированным цветовым пространством, получившим название  $xuY$ .

#### **Примечание**

Это название объясняется тем, что в нормированном варианте координаты  $x$  и  $u$  сохраняются, а координата  $z$  исчезает, поскольку этот вариант цветового пространства двухмерный (цветовая диаграмма или locus). Она строится путем проецирования треугольника цветности на плоскость  $xu$ . Конечно, на цветовой диаграмме представлены не все цвета пространства XYZ, но для сравнения цветовых охватов и преобразования цветовых пространств, ради которых и создавалась эта цветовая модель, фактор светлоты оттенков можно не рассматривать.

Нормирование выполняется следующим образом: вместо координат  $XYZ$  вводятся координаты  $x = X/(X + Y + Z)$ ,  $y = Y/(X + Y + Z)$  и  $z = Z/(X + Y + Z)$ . Затем из всего множества точек нового цветового пространства выбираются удовлетворяющие условию принадлежности к треугольнику цветности:  $x + y + z = 1$ . Для треугольника цветности значение третьей координаты не требуется, поскольку оно однозначно определяется значениями первых двух координат:  $z = 1 - (x + y)$ . Тем не менее третья цветовая координата необходима для полного описания любого цвета. Поэтому в нормированную цветовую модель вводят еще одну координату ( $Y$ ), описывающую светлоту, не имеющую прямого отношения к цветности, но влияющую на образование оттенков. На рис. 1.3.13 приведено графическое представление нормированной модели цвета  $xyY$  – цветовая диаграмма CIE 1931.

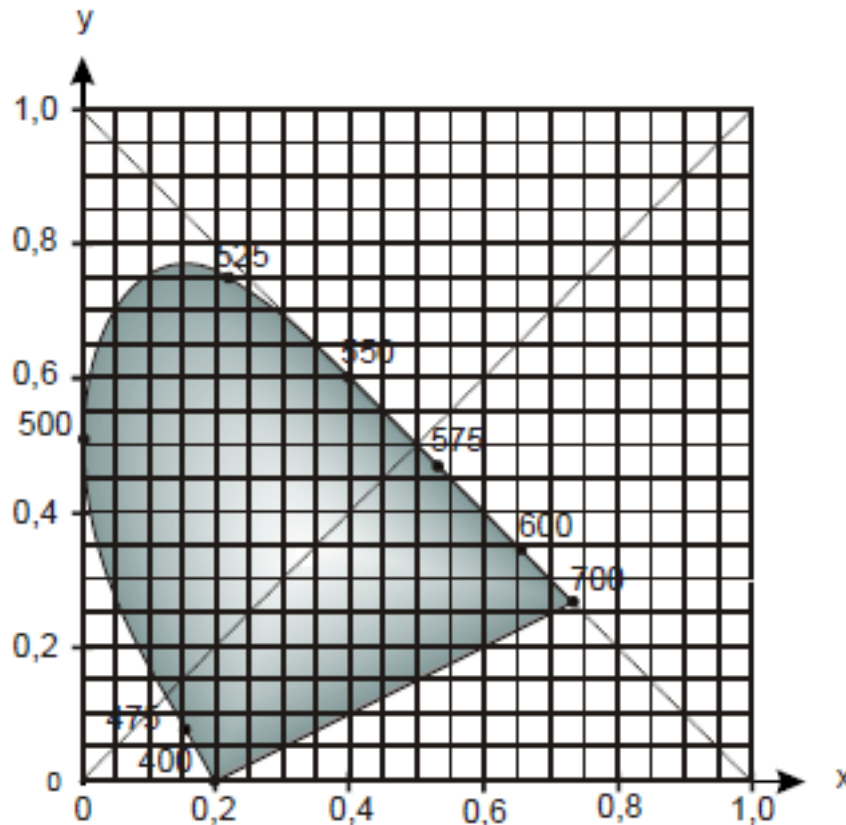


Рис. 1.3.13. Двухмерное нормированное цветовое пространство  $xyY$

Рассмотрим особенности цветовой диаграммы CIE  $xyY$ .

1. Так же, как и треугольник цветности модели RGB, она включает в себя по одному оттенку всех цветов, визуально воспринимаемых стандартным наблюдателем. Таким образом, диаграмма представляет собой графическое отображение цветового охвата человеческого глаза – *локус*.

2. Чистые спектральные цвета, соответствующие излучению только одной из частот видимой части спектра, расположены в ней на криволинейной части границы – *линии спектральной цветности*. Цвета, отсутствующие в спектре, но синтезируемые в виде оттенков монохромной шкалы с базовыми красным и фиолетовым цветами, расположены на прямолинейном участке границы – *линии пурпурной цветности*.

3. В середине хроматической области цветовой диаграммы расположена ахроматическая точка, цветность которой не определена. Эта точка называется также точкой *опорного белого цвета*. При смещении из этой точки по прямой линии, соединяющей ее с любой точкой границы цветовой диаграммы, определяется *насыщенность* цвета, т. е. цвет становится ближе к чистому спектральному и менее бледным.

**Примечание**

Более подробно понятие *насыщенности* цвета рассмотрено в разд. 1.3.7.

Цветовая диаграмма не может содержать в себе всех цветов из цветового пространства CIE  $xY$ , поскольку при ее построении использованы только две цветовые координаты. Значения координат  $x$  и  $y$  определяют цветность и насыщенность цвета, но не его светлоту.

Ахроматическая точка на диаграмме может считаться белой только условно. Ее фактический оттенок и местоположение зависит от источника света, выбранного для синтеза цвета, или от источника освещения. Координаты этой точки однозначно определяются цветовой температурой источника. *Цветовая температура* – это характеристика интенсивности излучения источника света (табл. 1.3.1). Ее значение равняется температуре нагрева абсолютно черного тела, при которой последнее испускает излучение с той же цветностью, что и измеряемый источник.

**Таблица 1.3.1. Некоторые источники света и их цветовые температуры**

Источник	Цветовая температура, °K	Координата $x$	Координата $y$
Пламя свечи	2000	0,472	0,408
Вакуумная лампа накаливания	2360	0,445	0,412
Газонаполненные лампы накаливания с вольфрамовой спиралью	2800	0,448	0,448
Типичные киносъёмочные лампы	3200	0,413	0,394
Дневной, прямой солнечный свет	5500	0,349	0,352
Стандартный источник дневного белого света CIE D65	6500	0,313	0,329

В практических целях цветовая диаграмма  $xY$  применяется для сравнения цветовых охватов устройств ввода и вывода с локусом и между собой. Для этого внутри локуса выбираются точки, соответствующие выбранным для аддитивного синтеза цвета базовым цветам. После соединения их отрезками прямых получается геометрическая фигура, представляющая цветовой охват устройства. На рис. 1.3.14 изображены цветовые охваты стандартных цветовых пространств RGB и полиграфического процесса цветной офсетной печати.



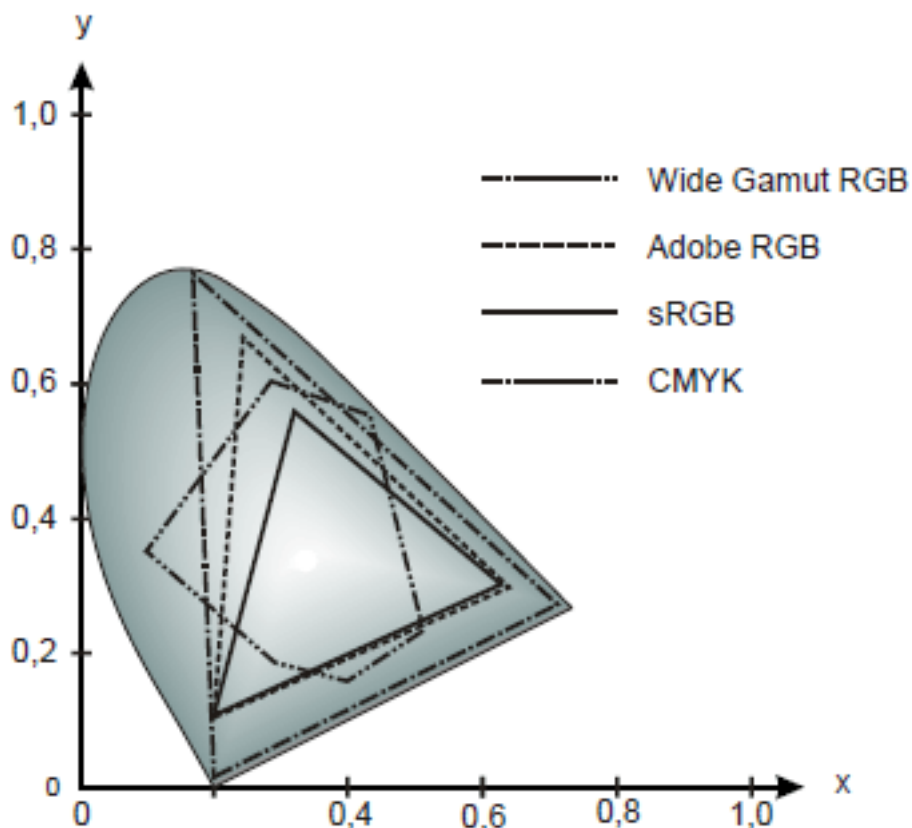


Рис. 1.3.14. Сопоставление цветовых охватов устройств вывода на цветовой диаграмме  $xyY$

#### **Примечание**

Цветовой охват модели CMYK, используемой при цветной офсетной печати, имеет форму шестиугольника, а не треугольника, поскольку приходится учитывать в качестве базовых цветов результаты равномерного попарного смешивания всех трех хроматических базовых цветов этой модели (см. *разд. 1.3.6*).

Отметим, что для получения адекватных результатов сравнения цветовых охватов различных устройств следует применять стандартные источники освещения (как правило, D50).

Кроме сравнения цветовых охватов, цветовая модель XYZ и производная от нее модель  $xyY$  применяются для взаимного преобразования цветов из цветового пространства одной модели в цветовое пространство другой.

К недостаткам цветовых моделей XYZ и  $xyY$  следует отнести сложность учета светлоты цвета и отсутствие равноконтрастности. Последнее проявляется в том, что одинаковые расстояния в цветовом пространстве CIE XYZ и на цветовой диаграмме  $xyY$  в различных их частях не соответствуют одинаковому зрительному различию между выбранными цветами при одинаковой светлоте. Иными словами, системы цветовых координат получаются нелинейными. Цветоразличительные свойства зрения минимальны на границе локуса (в зоне спектральных цветов) и максимальны в области нулевых цветностей (для ахроматической шкалы).

Эти недостатки были успешно преодолены в равноконтрастных цветовых моделях, одна из которых (CIE Lab) рассмотрена в *разд. 1.3.8*.

### 1.3.6. Субтрактивная модель

*Субтрактивными моделями* цвета (от англ. *subtract* – вычитать) называются цветовые модели, в которых световой поток со спектральным распределением, визуально воспринимаемым как нужный цвет, создается за счет пропорционального вычитания из исходного белого светового потока его отдельных спектральных диапазонов. Этот механизм был рассмотрен в *разд. 1.3.1*.

Так же, как при построении цветового пространства аддитивной модели цвета, базовые цвета субтрактивной модели можно выбрать множеством способов. Однако на практике пользуются почти исключительно *триадными* цветами: бирюзовым, пурпурным и желтым. В компьютерной графике и полиграфии принято обозначать эти цвета по первым буквам их английских названий: Cyan, Magenta, Yellow.

#### **Примечание**

Несмотря на то, что в субтрактивной модели базовые цвета можно выбирать произвольно, выбор красного, зеленого и синего (RGB) в данном случае был бы крайне неудачным. Рассчитывать количества таких красок для получения нужного цвета отраженного светового потока очень сложно из-за того, что каждая из них поглощает волны не одного, а сразу двух из основных поддиапазонов видимого спектра. Красная краска поглощает волны синего и зеленого поддиапазонов, зеленая – красного и синего и синяя – желтого и зеленого. Следовательно, при одновременном нанесении любой пары таких красок будет получаться черный цвет.

Выбор именно этих цветов в качестве базовых обусловлен природой образования цвета отраженным светом. При отражении светового потока от окрашенного листа бумаги (см. рис. 1.3.3) бирюзовая краска избирательно поглощает волны, относящиеся к красному цвету, и отражает все остальные. Чем больше этой краски нанесено на лист, тем сильнее поглощается красный спектральный компонент светового потока. Таким образом, с помощью бирюзовой краски можно управлять красным спектральным компонентом отраженного потока света.

Пурпурная краска поглощает зеленый спектральный компонент светового потока, отражая все остальные световые волны. Желтая краска поглощает синий спектральный компонент, отражая все остальное. Отметим, что в цветовом круге (см. рис. 1.3.10) бирюзовый и красный, пурпурный и зеленый, желтый и синий расположены на концах соединяющих их диаметров. В теории цвета такие пары цветов называются *дополнительными* или *комплементарными*. Основное свойство дополнительных цветов равной насыщенности и светлоты – при смешивании в равной пропорции они дают ахроматический цвет.

На любой участок поверхности бумаги можно нанести от 0 до 100 % краски, поэтому цветовые координаты субтрактивной модели принято разделять на 100 интервалов. Поэтому формула цвета для такой модели выглядит следующим образом:  $Ca\%Mb\%Yc\%$ . Например,  $C50\%M100\%Y100\%$  – формула, соответствующая 50 %-му оттенку красного цвета.

При увеличении количества нанесенной на бумагу краски отраженный световой поток становится все слабее. Поэтому в теории при смешивании максимально допустимых цветовой моделью количеств трех базовых красок должен получаться черный цвет, а при их полном отсутствии – белый. Смешивание базовых красок в равных пропорциях соответствует оттенкам ахроматической шкалы (монохромной шкалы с базовыми черным и белым цветами).

При выборе в качестве цветовых декартовых координат в трехмерном пространстве получается цветовое пространство, очень похожее на пространство модели RGB – изменена только система координат, что приводит лишь к развороту цветового куба.

К сожалению, на практике даже удовлетворительное воспроизведение черного с помощью красок хроматических базовых цветов невозможно. В красках имеются примеси, степень размола пигмента в них может меняться, и в результате при нанесении на бумагу трех базовых красок по 100 % получается не сочный черный цвет, а темный оттенок коричневого. Кроме того, оттенки черного, полученные применением равных количеств красок базовых цветов, оказываются засоренными посторонним цветом на всем протяжении ахроматической шкалы.

### ***Примечание***

Из-за этого дешевые струйные принтеры, работавшие с тремя цветными чернильницами CMY, больше не выпускают.

Для компенсации описанного недостатка субтрактивной цветовой модели в ее состав ввели дополнительный базовый цвет – черный. Черная краска применяется в цветной офсетной печати для улучшения качества теней, оттенков черного и воспроизведения ахроматических фрагментов изображения. Таким образом, в модифицированной версии субтрактивной цветовой модели (CMYK) имеется четыре базовых цвета – буквой "К" обозначается черный.

### ***Примечание***

В отдельных случаях в цветном отпечатке черный цвет синтезируется за счет смешивания черной и хроматических красок. Такой черный цвет с хроматической добавкой называется обогащенным черным. Он воспринимается визуально как черный, но более насыщенный, чем C0%M0%Y0%K100 %. Обогащенный черный улучшает внешний вид градиентных заливок (см. разд. 2.4.2).

Каждый из четырех параметров модели CMYK представляет собой целое число, которое может изменяться в пределах от 0 до 100. Для хранения четырех таких чисел в двоичной форме достаточно  $4 \times 7 = 28$  битов, но в большинстве реализаций под каждое число в дескрипторе информационной модели цвета отводят не 7, а 8 битов, поэтому считается, что глубина цвета в модели CMYK равна 32 битам на элемент изображения.

Недостатки субтрактивной модели такие же, как у модели RGB: аппаратная зависимость, причем в большей степени, чем у аддитивной модели, и ограниченный цветовой охват. Для борьбы с этими недостатками применяют дополнительные базовые цвета (см. разд. 1.3.10), системы управления цветом (см. разд. 1.3.11) и печать плашечными цветами.

## **1.3.7. Модели HSB и HSL**

В предшествующих разделах уже упоминались такие характеристики цвета, как цветность, насыщенность и яркость. Уточним их определения.

*Цветность (цветовой тон) или хроматика* – числовая характеристика, имеющая одинаковое значение для всех оттенков одного цвета и различные значения для любой пары оттенков разных цветов. Определяет расположение цвета в спектре. В компьютерной графике цветность обозначают первой буквой слова hue (оттенок) – H. Цвета с различной цветностью описывают названиями на естественном языке (например, голубой, оранжевый) или указывают их местоположение на цветовом круге в градусах (см. рис. 1.3.10). Например, зеленому цвету соответствует значение H120°, а синему – H240°.

*Насыщенность* – числовая характеристика цвета, задающая соотношение между количеством энергии, переносимой световыми волнами, лежащими в диапазоне, соответствующем

щем цветности, и всеми остальными волнами светового потока. Она эквивалентна величине, на которую хроматический цвет отличается от равного ему по яркости ахроматического. Цветам с различной насыщенностью ставят в соответствие выраженную в процентах относительную величину, определяющую местоположение заданного цвета на монохроматической шкале, в которой цветом переднего плана является чистый спектральный цвет, а фоновым – белый. Насыщенность 50 означает, что мы имеем дело с 50 %-ным оттенком спектрального цвета. В компьютерной графике насыщенность обозначают первой буквой слова saturation (насыщенность) – S. На цветовом круге (см. рис. 1.3.10, а) цвета равной насыщенности располагаются вдоль концентрических окружностей, а все степени насыщенности одного цвета можно проследить вдоль радиуса, соединяющего белую точку в центре и точку спектрального цвета на окружности.

*Яркость* – это энергетическая характеристика света, пропорциональная энергии, переносимой световым потоком. Визуально она воспринимается как величина, на которую цвет отличается от черного. В пределах курса компьютерной графики яркость рассматривается в связи с ее визуальным восприятием как величина, дополнительная к количеству черного, добавленного в какой-либо другой цвет. В компьютерной графике яркость обозначают первой буквой слова brightness (яркость) – В. Яркость измеряется в процентах, причем В0 % соответствует черному цвету, В100 % – отсутствию добавленного черного. На цветовом круге (см. рис. 1.3.10, б) цвета равной яркости располагаются вдоль концентрических окружностей, а все степени яркости одного цвета можно проследить вдоль радиуса, соединяющего черную точку в центре и точку спектрального цвета на окружности.

На основе цветности, насыщенности и яркости построена цветовая модель HSB. Важную роль в ней играет цветовой круг. Цветовое пространство этой модели можно рассматривать как "стопку" лежащих друг на друге модификаций цветового круга. Нижнее основание стопки – цветовой круг с яркостью цветов В0 %. Визуально он воспринимается как черный. Верхнее основание – цветовой круг, в котором все цвета располагают максимальной яркостью в100 % (рис. 1.3.15, а).

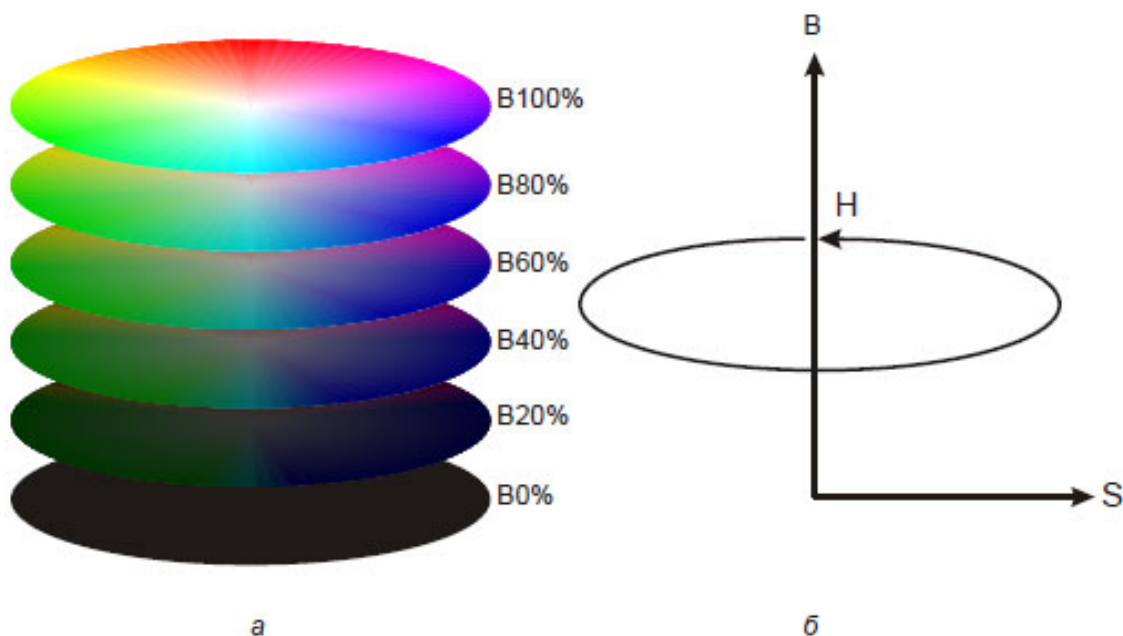


Рис. 1.3.15. Цветовое пространство цветовой модели HSB: а – сечения цветового пространства, соответствующие фиксированным значениям яркости; б – устройство системы цветковых координат

### ***Примечание***

Ось S цветовых координат модели HSB не имеет фиксированного направления, значения этой координаты – это расстояние от центра цветового круга до точки, соответствующей заданному цвету.

Модель HSB относительно проста и хороша для восприятия, а также удобна в работе, но перед выводом на экран представленные в соответствии с ней цвета приходится преобразовывать в цветовое пространство RGB, а перед выводом на печать – в цветовое пространство CMYK. Вторым существенным недостатком этой модели состоит в нелинейности визуального восприятия яркости. В силу физиологических особенностей зрения, хроматические цвета с одинаковым значением яркости (например, желтый и фиолетовый) не выглядят одинаково светлыми. Для устранения этого недостатка была введена искусственная характеристика цвета – светлота (lightness). *Светлотой* называется характеристика визуального восприятия яркости цвета. Цвета с равными значениями светлоты выглядят одинаково яркими.

Модификация цветовой модели HSB с заменой яркости на светлоту называется HSL.

### ***Примечание***

Во многих программах компьютерной графики и в литературе встречается упоминание цветовой модели HSV. В разных случаях эта аббревиатура соответствует либо модели HSB, либо модели HSL, либо представляет собой их собирательное наименование.

## **1.3.8. Модель Lab**

В основе концепции цветового круга и построенных на его основе моделей цвета HSB и HSL лежит применение монохромных шкал, в которых в качестве одного из базовых цветов используется ахроматический цвет (черный или белый). Именно этот выбор является причиной неравноконтрастности – явления, из-за которого расстояние между точками цветового пространства не пропорционально визуальной степени различия соответствующих им цветов. Для измерения цвета (колориметрии) это очень существенный недостаток, а без колориметрии невозможно точное воспроизведение цвета в полиграфии. Поэтому в 1976 году CIE предложила цветовую модель, специально разработанную для достижения равноконтрастности – Lab.

### ***Примечание***

К сожалению, добиться этой цели в полной мере не удалось, но в модели Lab различия в цветовой контрастности на единицу длины уменьшены до величины 6:1. Для сравнения – в цветовой модели хуY они составляют до 80:1.

В этой цветовой модели цветность не только количественно, но и качественно отделена от светлоты, поэтому при работе с ней можно изменять светлоту изображения, не оказывая нежелательного побочного воздействия на его цвета.

Для описания яркости цвета в цветовой модели CIE Lab служит уже знакомая нам характеристика – светлота, меняющаяся в пределах от 0 до 100. Но техника синтеза цвета в этой модели уникальна. В ней выбраны не три, а четыре базовых цвета, сгруппированные в две монохромные шкалы. Первая монохромная шкала называется а. Базовые цвета в ней желто-зеленый и пурпурно-красный. Вторая монохромная шкала называется b. Базовые цвета в ней красновато-желтый и бирюзово-синий. Для выбора одного оттенка в каждой из этих шкал достаточно одного числа. В компьютерной графике принято разбивать шкалы на 256 промежутков, обозначая их целыми числами в интервале от -128 до 127. Таким образом,

формула цвета в цветовой модели Lab выглядит следующим образом: L54a81b70 (спектральный красный цвет), L30a68b-112 (спектральный зеленый цвет), L91a-51b-15 (спектральный синий цвет).

Для пересчета цветовых формул между моделями Lab и XYZ существуют эмпирические, а для пары моделей Lab и HSB – строго выведенные формулы:

$$H = \arctan(b/a); S = (a^2 + b^2)^{0,5}.$$

Достоинства цветовой модели Lab:

- наибольшее приближение к равноконтрастности среди всех существующих цветовых моделей;
- широкий цветовой охват, целиком включающий в себя цветовые пространства моделей RGB и CMYK;
- широкое распространение в программах компьютерной графики.

Ее недостатки:

- характерная для всех производных от модели XYZ зависимость от определения источника освещения (белая точка);
- неравномерность восприятия цветового контраста при переходе от ахроматических цветов к хроматическим достигает 6 крат, т. е. в насыщенных цветах изменение цветности на 5 единиц будет практически незаметным, а в цветах, близких к ахроматическим, изменение на одну единицу будет бросаться в глаза.

### 1.3.9. Системы цветосовмещения

В практике графических проектов, особенно с выходом на полиграфический процесс, встречаются ситуации, когда погрешности в воспроизведении цвета крайне нежелательны (а иногда просто недопустимы, например, при воспроизведении запоминающихся цветов логотипа фирмы или образцов цвета изделий в каталоге товаров). Если цветов, которые необходимо воспроизвести с высокой точностью, единицы, то можно воспользоваться технологией плашечной печати совместно с одной из систем цветосовмещения.

*Плашечная печать* – полиграфическая технология воспроизведения изображения с помощью заранее подготовленных красок требуемого цвета. Для плашечной печати применяются краски, входящие в готовые к употреблению комплекты, либо смешивающиеся в типографии по стандартным рецептурам из базовых красок. Поскольку цветность в таком полиграфическом процессе обеспечивается не механизмом субтрактивной цветовой модели, а предварительной подготовкой непрозрачной краски, технология плашечной печати может обеспечить сравнительно высокую точность воспроизведения цвета.

Комплекты красок для плашечной печати и рецептуры их смешивания регламентируются стандартами. Наиболее известные стандарты готовых и смесовых красок для плашечной печати называются *системами цветосовмещения*. Обычно в систему цветосовмещения включают:

- комплект стандартных красок всех цветов, входящих в систему, или набор базовых красок и рецептурный справочник по пропорциям их смешивания для получения стандартных цветов;
- модель цвета с дискретным цветовым пространством для встраивания в программы компьютерной графики;
- справочник-каталог образцов красок, включенных в систему, напечатанных на различных сортах бумаги с указанием стандартного названия каждого цвета.

Наибольшее распространение в практической полиграфии получила система цветосовмещения Pantone Matching System (PMS), а точнее целая группа таких систем, каждая из которых включает сотни плашечных цветов и справочники образцов (веера) для различных сортов бумаги. Системы PMS различаются цветовыми наборами (непрозрачные плашечные краски, металлизированные краски, флюоресцирующие краски, пастельные цвета, краски, специально приспособленные для конкретных сортов бумаги).

В дополнение к основным плашечным цветам некоторые системы цветосовмещения позволяют получать их оттенки за счет растривания (см. разд. 3.11.1). Предельное число плашечных цветов, которыми можно воспользоваться в одном графическом проекте, зависит от используемых полиграфических машин, и на практике не превышает шести.

В современных программах компьютерной графики возможность применения плашечных цветов предоставляется за счет включения в них палитр, соответствующих системам цветосовмещения, и специальными многоканальными моделями цвета. В таких моделях каждой точке цветового пространства модели цвета системы цветосовмещения соответствует уникальное имя краски, составленное по специальному стандарту именования. Дескрипторы цвета содержат в себе обозначение системы цветосовмещения и название цвета. Глубина цвета для таких цветовых моделей не определяется.

### 1.3.10. Цветовые модели повышенной точности

Современное полиграфическое оборудование с достаточной очевидностью выявляет недостатки субтрактивной модели цвета, в особенности – ее малый цветовой охват. С этим недостатком борются с помощью введения в полиграфический процесс дополнительных цветов, за счет которых увеличивается глубина цвета модели.

Большинство современных цветовых моделей повышенной точности не автономны, а являются составными частями систем цвета. *Системой цвета* называется совокупность специализированной модели цвета, программного обеспечения для включения этой модели в программы компьютерной графики, аппаратного и программного обеспечения, обеспечивающего реализацию модели в полиграфическом процессе. Наиболее распространены системы цвета Pantone Hexachrome и CMYK+Special.

Hexachrome – это шестицветный процесс высокоточной печати, разработанный фирмой Pantone Inc., значительно увеличивающий цветовой охват по сравнению с традиционной четырехцветной печатью. Расширенный набор красок в этом процессе включает PANTONE Hexachrome CMYK, PANTONE Hexachrome Orange (оранжевый цвет) и PANTONE Hexachrome Green (зеленый цвет). Система Hexachrome обеспечивает более яркую и реалистичную печать, большой выбор цветов, возможность воспроизводить более 97 % цветов PANTONE, в то время как традиционная CMYK печать воспроизводит только 40–50 %. Цветовой охват системы Hexachrome гораздо шире, чем у CMYK, и почти не уступает RGB. При печати в системе Hexachrome воспроизводятся все те же цвета, что и на высококачественном компьютерном мониторе.

Конечно, соответствующие дополнительным базовым цветам цветовые координаты приходится включать в состав дескрипторов модели цвета. Из-за этого глубина цвета в системе Hexachrome составляет не 32, а 48 битов на элемент изображения.

Еще одна цветовая модель повышенной точности – CMYK+Special – кроме стандартных цветов триадной печати включает в себя четыре дополнительных плашечных цвета. Это обеспечивает еще более широкий цветовой охват модели за счет увеличения глубины цвета и значительного усложнения процедур цветоделения.

Печать с применением цветовых моделей повышенной точности реализуется только самыми современными и дорогими полиграфическими машинами, поэтому каждый графиче-

ческий проект с выходом на такие полиграфические процессы требует тщательного экономического обоснования, интенсивных консультаций с технологами полиграфического предприятия и дополнительных затрат времени.

### **1.3.11. Системы управления цветом**

Из схемы работы над графическим проектом (см. рис. 1.2.2) очевидно, что в большинстве случаев не избежать совместного использования различных графических устройств и преобразования цветовых пространств.

#### **Причины, вызывающие необходимость управления цветом**

Следует помнить, что на воспроизведение цвета влияет не только устройство графического вывода, но и целый комплекс дополнительных факторов. Для монитора (помимо яркости, контраста и цветности люминофоров) – это цветовая температура белой точки, другие параметры настройки управляющей электроники, видеокарта и ее программное обеспечение. Для принтера – это свойства запечатываемого материала и красок, система программного управления (драйвер принтера или самостоятельный растровый процессор). Для офсетного печатного станка – это устройства и программное обеспечение для получения печатных форм. К искажениям при преобразовании цветовых пространств приводят не только несовпадения цветовых охватов, но и неодинаковое распределение цветов внутри этих цветовых пространств.

В результате, чтобы в процессе работы на различных устройствах вывода цвет одного и того же графического объекта воспринимался одинаково, на них необходимо подавать существенно отличающиеся друг от друга формулы цвета. В табл. 1.3.2 приведен пример цветковых формул, выраженных в терминах аппаратно-зависимых цветовых моделей, присущих каждому устройству вывода, которые обеспечивают воспроизведение цвета хаки, одинаково воспринимаемого наблюдателем.



**Таблица 1.3.2. Условия отображения цвета на различных устройствах графического вывода**

№ п/п	Устройство и условия вывода	Входная аппаратно-зависимая цветовая формула	Формула визуально воспринимаемого цвета
1	Epson 1290, стандартный картридж, бумага Premium Semigloss Photo paper, Rip-процессор Harlequin	C71M46Y95K34	L47a–18b35
2	Epson 1290, стандартный картридж, бумага Premium Semigloss Photo paper, стандартный драйвер RGB	R91G150B23	
3	Офсетный печатный станок RYOBI 522-HX, мелованная бумага, стандартные краски	C69M39Y62K9	
4	Флексографическая печатная машина ARSOMA EM-280, полуглянцевая бумага Fasson, краски AkzoNobel	C53M22Y73K2	
5	Монитор Mitsubishi Diamontron 2020U с цветовой температурой белой точки 5500 °K	R104G146B70	
6	Монитор LG Flatron 795FT с цветовой температурой белой точки 5500 °K	R102G131B48	

Чтобы свести к минимуму искажения и повысить точность воспроизведения цвета, в современных системах компьютерной графики предусмотрены системы управления цветом. *Системой управления цветом* (Color Management System, CMS) называется программный комплекс, предназначенный для преобразования цветовых пространств используемых в графическом проекте устройств для получения визуально идентичного воспроизведения цвета на всех этапах работы над этим проектом.

### **Состав и функции систем управления цветом**

Основные функции систем управления цветом:

- координация преобразований всех задействованных в графическом проекте устройств, обеспечивающая идентичное визуальное восприятие цветного изображения на каждом из них;
- имитация вывода на произвольное устройство путем вывода на некоторое конкретное устройство.

Чтобы выполнить эти функции, системы управления цветом должны давать пользователю две возможности:

- задавать, как при визуальном восприятии должны выглядеть после вывода на каждое из устройств цвета, определенные с помощью формул цветовых моделей RGB и CMYK. Для этого нужно установить однозначное соответствие между аппаратно интерпретируемыми

формулами RGB и CMYK и формулами перцептивной модели, соответствующими визуальному восприятию результата такой интерпретации;

- с учетом накладываемых каждым устройством вывода аппаратных ограничений обеспечить однозначное визуальное восприятие одинаковых цветов при различных устройствах вывода.

В состав системы управления цветом стандартной архитектуры, предложенной международным консорциумом по цвету (International Color Consortium, ICC), входят нижеприведенные компоненты.

- *Аппаратно-независимая цветовая модель*, задающая эталонное цветовое пространство. В большинстве систем управления цветом в качестве него используются стандартизованные цветовые пространства CIE – XYZ или Lab. Пользователю нет необходимости напрямую работать с цветовым пространством, поскольку это в автоматическом режиме реализуют программы компьютерной графики.

- *Модуль управления цветом*, программно работающий с профилями устройств и эталонным цветовым пространством. В его функции входит преобразование цветовых пространств, соответствующих устройствам ввода и вывода.

- *Цветовые профили* (профайлы), определяющие особенности воспроизведения или восприятия цвета каждым из графических устройств ввода и вывода, входящих в систему. Именно из цветовых профилей модуль управления цветом извлекает информацию о том, как именно устройство воспринимает, отображает или печатает каждый из цветов своего цветового пространства. По профилю можно, например, определить, насколько красным будет самый красный из всех цветов, которые оно может воспроизвести.

## Процесс сохранения семантики цвета

Если у системы управления цветом есть достаточно информации, например, о сканере, она может откорректировать построенную им информационную модель изображения, записав в ее дескрипторы цвета не то, что «увидел» сканер, а то, что на самом деле присутствовало в оригинале отсканированного изображения. Если у системы управления цветом есть доступ к цветовому профилю, например, монитора, то она сможет компенсировать неизбежное искажение цветов этим монитором при выводе, снова откорректировав соответствующим образом дескрипторы цвета так, чтобы на экране графическое изображение выглядело так же, как оригинал, подвергавшийся сканированию. Наконец, если у системы управления цветом есть доступ к цветовому профилю принтера, то перед выводом дескрипторы цвета корректируются так, чтобы компенсировать искажение цветов при печати.

Для работы системы управления цветом необходимы информационные модели изображения и цветовые профили устройств. Информационные модели представляются в виде графических файлов, в состав которых могут встраиваться и цветовые профили. В случае *встраивания цветового профиля* информационная модель изображения содержит в себе достаточно информации для построения цветового пространства и его однозначной интерпретации. Несколько упрощая можно сказать, что при наличии в составе графического файла цветового профиля система управления цветом точно «знает», каким цветам соответствуют цветовые формулы, содержащиеся в дескрипторах цвета этого графического файла.

На рис. 1.3.16 схематически представлено преобразование цветовых пространств, выполняющееся модулем управления цветом.

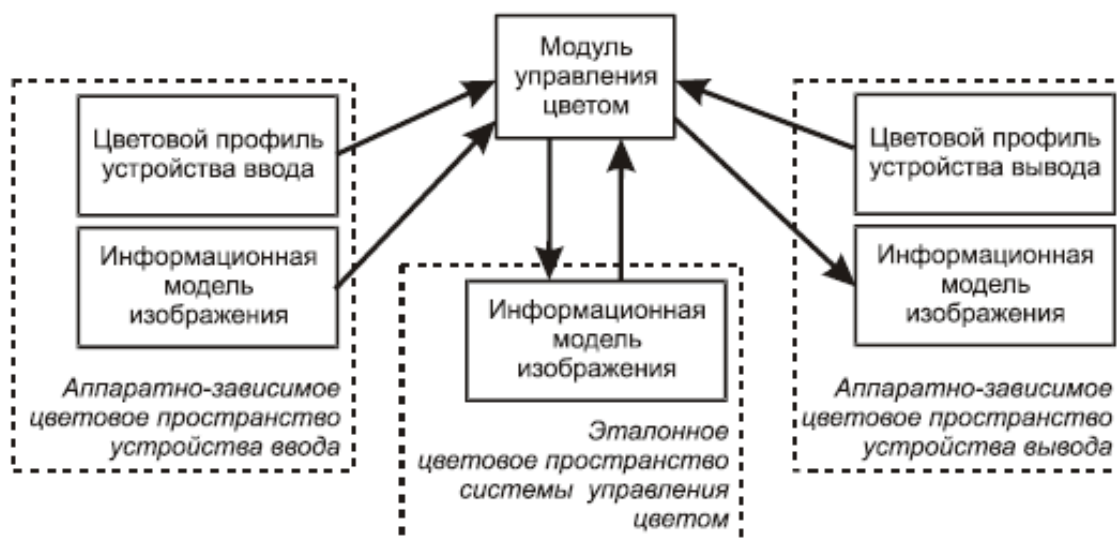


Рис. 1.3.16. Схема работы системы управления цветом

Смысл этого процесса состоит в том, чтобы обеспечить соответствие цвета на выходе графического проекта цвету на его входе. Для этого модулю управления цветом нужно знать, откуда появляется информационная модель изображения и куда ее следует отправить. Эти сведения пользователь предоставляет системе, задавая цветовые профили устройств ввода и вывода.

Назначение цветового профиля устройства ввода (иногда встроенного в графический файл) позволяет передать системе управления цветом: "в этой информационной модели цвета представлены аппаратно интерпретируемыми формулами RGB и получены с такого-то сканера, имеющего такие-то особенности восприятия цвета". Получив такие сведения, система управления цветом может однозначно преобразовать дескрипторы цвета информационной модели в эталонное цветовое пространство.

Назначение цветового профиля устройства вывода передает системе управления цветом: "требуется, чтобы в выходном варианте этой информационной модели цвета были представлены аппаратно интерпретируемыми формулами CMYK и соответствовали такому-то принтеру, имеющему такие-то особенности восприятия цвета". Получив такие сведения, система управления цветом может однозначно преобразовать дескрипторы цвета информационной модели из эталонного цветового пространства в цветовое пространство устройства графического вывода.

Модули управления цветом могут встраиваться в графические программы (например, встроенный модуль управления цветом фирмы Adobe), представлять собой автономные программные продукты (например, KDSCMS фирмы Kodak) или являться частью операционной системы (Microsoft ICM в ОС линейки Windows или ColorSync фирмы Apple в ОС линейки Mac OS).

### 1.3.12. Методы преобразования цветовых пространств

Упомянутая в предыдущем разделе процедура преобразования дескрипторов цвета информационной модели изображения из аппаратно-зависимого цветового пространства устройства ввода (исходного цветового пространства) в эталонное цветовое пространство системы управления цветом стандартна – значения для новых формул цвета вычисляются по сложным, но хорошо известным алгоритмам. Преобразование цветовых пространств получается однозначным, поскольку цветовой охват перцептивной модели, используемой

для построения эталонного цветового пространства, шире цветового охвата любой аппаратно-зависимой модели (см. разд. 1.3.5). Но при преобразовании дескрипторов цвета информационной модели в аппаратно-зависимое цветовое пространство устройства вывода (целевое цветовое пространство) возникает сложность – многие цвета перцептивной модели невозможно воспроизвести при печати, поскольку они лежат за границей цветового охвата устройства. Если некоторый цвет нельзя напечатать, то его приходится заменять каким-либо другим. Данная процедура называется *преобразованием цветовых пространств*.

Для преобразования цветовых пространств стандарт ИСС предусматривает возможность выбора одного из четырех методов:

- перцептивного;
- с сохранением цветовой насыщенности;
- абсолютного колориметрического;
- относительного колориметрического.

## **Перцептивный метод преобразования цветовых пространств**

Преобразование по этому методу «втискивает» исходное цветовое пространство в целевое, масштабируя его с уменьшением цветовых расстояний. При этом сохраняется соотношение цветов, и общий вид изображения при визуальном восприятии меняется мало. Но это приводит к тому, что в общем случае меняются цвета и насыщенности всех графических объектов изображения, даже те, которые могли быть с достаточной точностью представлены в целевом цветовом пространстве.

Применение перцептивного метода рекомендуется для изображений, в составе которых имеется много цветов, отсутствующих в целевом цветовом пространстве.

### **Преобразование цветовых пространств с сохранением насыщенности цвета**

При преобразовании по этому методу выходящие за пределы целевого цветового пространства цвета заменяются на цвета такой же насыщенности, но другой цветности и светлоты. Сохраняется только цветовой контраст, но не более. Применение метода с сохранением насыщенности цвета рекомендуется для схем, диаграмм и других объектов деловой графики.

### **Относительный колориметрический метод преобразования цветовых пространств**

При использовании этого метода исходное и целевое цветовые пространства сначала совмещаются по белой точке. Затем все цвета исходного цветового пространства, лежащие в пределах целевого пространства, воспроизводятся точно, а выходящие за него заменяются на ближайший по цветовому расстоянию цвет с той же цветностью. Достоинство этого метода состоит в максимально возможном сохранении исходных цветов, что дает хорошие результаты при небольшом числе цветов, выходящих за пределы целевого пространства.

Однако при этом белый цвет изображения будет уже не белым цветом исходного цветового пространства, а, например, цветом бумаги, заправленной в печатающее устройство, что далеко не всегда одно и то же.

## **Абсолютный колориметрический метод преобразования цветовых пространств**

Этот метод совпадает с предыдущим во всем, за исключением совмещения белых точек. Если в исходном цветовом пространстве белому соответствовал слегка голубоватый оттенок, а печать будет выполняться на слегка желтоватой бумаге, при абсолютном колориметрическом методе преобразования цветовых пространств в местах, белых на исходном изображении, принтер нанесет некоторое количество бирюзовой краски, имитируя таким образом на цвет оригинала.

Как правило, абсолютный колориметрический метод преобразования цветовых пространств применяют только для выполнения цветовых проб – контрольных отпечатков, полученных не на том устройстве, на котором будут печатать тираж.

## **Преобразование цветовых пространств и потеря визуальной информации**

Не следует упускать из виду, что даже самые совершенные системы управления цветом при преобразовании исходного цветового пространства в целевое неизбежно утрачивают некоторую часть визуальной информации. Причина – погрешности округления и квантования, без которых в вычислительной математике не обойтись. Из-за этих погрешностей следует стремиться к минимизации числа преобразований цветовых пространств в работе над графическим проектом.

В этом аспекте конкурентоспособной альтернативой системе управления цветом оказывается применение стандартного цветового пространства RGB, в частности, Wide Gamut RGB.

### **1.3.13. Профили ICC и калибрование устройств графического ввода и вывода**

Большинство современных программных средств компьютерной графики ориентировано на работу с цветовыми профилями, построенными в соответствии со спецификациями, разработанными международным консорциумом по цвету ICC – профилями ICC. На момент написания учебника действует международный стандарт ISO 15076, в котором регламентируется четвертая версия спецификаций цветового профиля (он опубликован на сайте ICC по адресу [www.color.org](http://www.color.org)).

*Цветовым профилем* графического устройства называется представленный в стандартном формате массив данных, необходимых системе управления цветом для преобразования цвета между аппаратно-зависимым цветовым пространством графического устройства и аппаратно-независимым эталонным цветовым пространством. Спецификации ICC условно разделяют цветные устройства на устройства ввода, мониторы и устройства вывода. В них описаны алгоритмические модели, согласно которым выполняется преобразование цветовых пространств для каждой группы устройств.

Цветовой профиль состоит из нескольких разделов. Он может существовать в виде автономного файла или встраиваться в графические файлы различных форматов. В первом разделе – заголовке – указывается категория графического устройства (ввода, вывода на экран, вывода на печать), модули управления цветом, которые могут работать с данным цветовым профилем, исходное и целевое цветовые пространства, источник освещения, служебная информация о профиле.

Последующие разделы профиля представляют собой таблицы, в которых содержатся данные, необходимые для настройки системы управления цветом и выполнения преобразования цветовых пространств. Номенклатура таких таблиц для разных устройств различна. В варианте цветового RGB-профиля для сканера приводятся цветовые координаты базовых цветов аппаратно-зависимой модели RGB в цветовом пространстве XYZ или Lab, цветовая температура или цветовые координаты белой точки, градационные таблицы для базовых цветов, связывающие их цветность с яркостью свечения люминофоров.

Цветовые профили устройств печати содержат больше данных. Это обусловлено необходимостью учета взаимного влияния базовых красок. Краска при печати наносится как на чистый носитель, так и поверх ранее нанесенных красок. Из-за этого в роли хроматических базовых цветов выступают не только бирюзовый, пурпурный и желтый, но и их попарные комбинации. Это, в свою очередь, усложняет процедуру преобразования цветовых пространств, и описывающие ее прямая и обратная матрицы преобразований становятся более громоздкими.

### **Примечание**

Взаимное влияние базовых красок приводит к тому, что добавление малого количества базовой краски в область насыщенного оттенка цвета визуально гораздо менее заметно, чем добавление того же количества той же краски в область слабо насыщенного цвета. Это явление делает операцию преобразования цветовых пространств нелинейной.

Отметим, что одному устройству печати могут соответствовать много цветовых профилей для различных сочетаний бумаги, красок и используемого программного обеспечения.

Согласно стандарту ISO 15076 цветовые профили не связаны ни с какими-либо программными средствами, ни с аппаратными платформами. Как правило, разработчики графических устройств включают цветовые профили в комплект поставки, но они не всегда точно соответствуют фактическим особенностям каждого экземпляра. Рассогласование вызывается погрешностями изготовления, старением устройства, изменением условий эксплуатации и еще многими причинами. Поэтому при работе с системой управления цветом целесообразно достаточно регулярно проводить *профилирование* – процедуру составления актуального цветового профиля графического устройства.

Профилирование представляет собой важную часть более общей процедуры – *калибровки* – согласования цветовых пространств устройств, используемых в графическом проекте для повышения эффективности работы системы управления цветом.

### **Примечание**

К сожалению, в литературе по компьютерной графике имеет место некоторая терминологическая путаница, в силу которой профилирование иногда обозначается терминами "калибровка" или "калибрование".

## **Профилирование устройств графического ввода**

Профилирование сканеров выполняется с помощью программных и аппаратных средств по схеме, представленной на рис. 1.3.17.

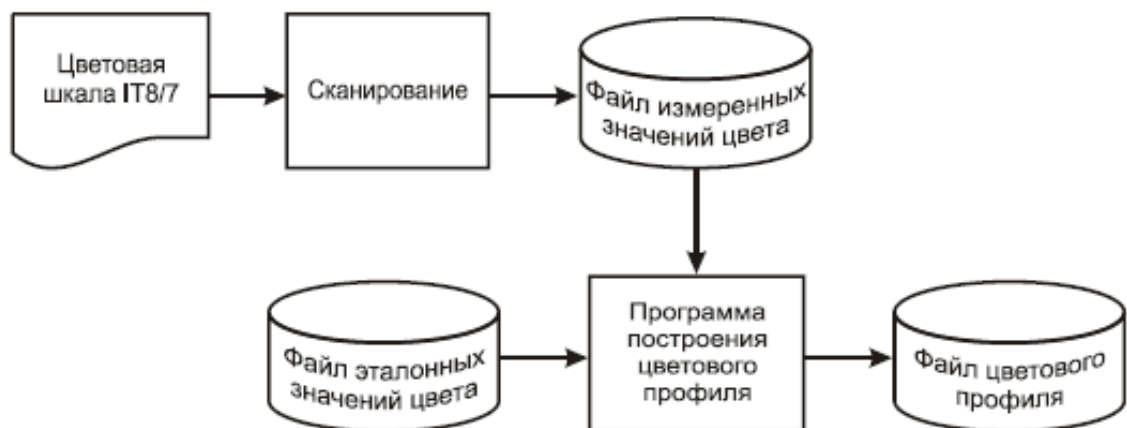


Рис. 1.3.17. Построение цветового профиля сканера

В основе процедуры лежит сканирование эталонного изображения, для которого существует достоверный файл эталонных значений цвета. При этом строится файл измеренных значений цвета – информационная модель изображения, полученного в результате сканирования. Сравнение измеренных цветов с тем, что должно было получиться при их измерении, позволяет программе построения цветового профиля правильно составить все матрицы преобразования цветовых пространств.

Эталонное изображение чаще всего представляет собой специальную карту для калибровки сканера, изготовленную в соответствии со стандартом ANSI: IT8.7/1-1993 (прозрачный оригинал) или IT8.7/2-1993 (непрозрачный оригинал). На этой карте имеются образцы хроматических и шкала ахроматических цветов.

Процедура профилирования позволяет получить актуальный профиль, соответствующий текущим настройкам сканера и условиям сканирования. В процессе эксплуатации адекватность профиля может утрачиваться из-за деградации осветительного устройства сканера, старения светочувствительных элементов и даже изменения питающего напряжения. При профессиональной работе со сканерами (например, в фотолабораториях) профилирование выполняется, как минимум, раз в сутки.

## Профилирование мониторов

Данная операция выполняется с помощью программных и аппаратных средств по схеме, представленной на рис. 1.3.18.





Рис. 1.3.18. Построение цветового профиля монитора

В процедуре профилирования монитора не требуется физического эталона изображения, но необходим прибор, с помощью которого с экрана будут считываться измеряемые образцы цвета – колориметр или спектрофотометр. Как правило, такие приборы поставляются в комплекте с программами построения цветовых профилей мониторов. В процессе работы сенсор прибора устанавливается на экране профилируемого монитора.

Изготовители комплексов для профилирования мониторов рекомендуют выполнять эту процедуру два-три раза в месяц, но следует иметь в виду, что любое изменение условий функционирования или настроек монитора приводит к необходимости повторного профилирования.

Как паллиативный вариант, цветовой профиль можно построить без применения цветоизмерительных приборов, на глаз. Для этого существуют специальные программы (например, Adobe Gamma). К сожалению, точность построенного таким образом цветового профиля недостаточна для профессиональной работы над графическими проектами.

### Профилирование устройств графического вывода

Профилирование печатающих устройств выполняется с помощью программных и аппаратных средств по схеме, представленной на рис. 1.3.19.



Рис. 1.3.19. Построение цветового профиля печатающего устройства

В основе процедуры профилирования печатного устройства (полиграфического процесса) лежит приборный анализ отпечатка эталонного документа.

Напечатанные образцы цвета измеряются с помощью колориметра или спектрофотометра с последующим сравнением эталонных и измеренных значений цвета.

На адекватность цветового профиля печатающего устройства оказывают влияние тип носителя изображения, используемые красители и настройки устройства. При профессиональной работе с устройствами графического вывода (например, в бюро полиграфического обслуживания) профилирование выполняется, как минимум, несколько раз в сутки и перед выполнением каждого более или менее крупного заказа.

### Список новых терминов

- Аддитивные модели цвета
- Аппаратно-зависимая модель
- Ахроматический цвет
- Встраивание цветового профиля



- Глубина цвета
- Дополнительные цвета
- Имитация цвета
- Индекс цвета
- Индексированная модель цвета
- Калибрование
- Линия пурпурной цветности
- Линия спектральной цветности
- Локус
- Метамерия
- Модуль управления цветом
- Монохромная шкала
- Монохромное изображение
- Насыщенность
- Нейтральный серый
- Оттенки
- Палитра
- Перцептивная модель
- Плашечная печать
- Преобразование цветовых пространств
- Профилирование
- Свет
- Светлота
- Система управления цветом
- Система цвета
- Система цветосовмещения
- Спектральная диаграмма
- Субтрактивные модели цвета
- Точка опорного белого цвета
- Треугольник цветности
- Формула цвета
- Хроматика
- Цвет
- Цветность
- Цветовая модель
- Цветовая разрешающая способность
- Цветовая температура
- Цветовое пространство
- Цветовой круг
- Цветовой охват
- Цветовой профиль
- Цветовые координаты
- Шкала градаций цвета
- Штриховое изображение
- Яркость

## **Контрольные вопросы**

1. Почему в отсутствие наблюдателя понятие цвета является неопределенным?

2. Какие роли играет цвет в изображении?
3. В чем состоит субъективность восприятия цвета?
4. Что выделяет свет из спектра электромагнитных колебаний?
5. Чем обусловлен феномен сумеречного зрения, состоящий в том, что в условиях недостаточной освещенности человек не воспринимает цвета предметов?
6. Почему свет разделяется на спектр, проходя через призму?
7. Какая информация представлена на спектральной диаграмме?
8. В чем состоит явление метамерии?
9. Что может изменить спектральное распределение светового потока?
10. Почему в компьютерной графике приходится отдельно рассматривать излученный и отраженный свет?
11. Какую роль играет явление метамерии в управлении цветом излученного светового потока?
12. Что представляет собой цветовое пространство?
13. Какие технические задачи решаются при реализации аддитивного синтеза цвета?
14. Что происходит с отраженной и преломленной частями светового потока?
15. Чем объективно обусловлено визуальное восприятие цвета в первоначально белом световом потоке после отражения?
16. Какие технические задачи решаются при синтезе цвета с помощью отраженного света?
17. На листе белой бумаги напечатана иллюстрация, изображающая все цвета спектра. Как эта иллюстрация будет выглядеть при освещении синим цветом? А при освещении желтым светом?
18. Почему белый и черный в компьютерной графике считаются оттенками одного и того же цвета?
19. Какое изображение называется штриховым?
20. Может ли штриховое изображение быть хроматическим?
21. Сколько базовых цветов используется в монохромной модели?
22. В чем состоит принципиальное отличие штрихового и монохромного изображений?
23. Почему в полиграфии и компьютерной графике приняты разные системы обозначения оттенков монохромной шкалы?
24. Какова глубина цвета полиграфической монохромной шкалы?
25. Почему термин "черно-белая фотография" не совсем корректен?
26. Чем определяется размер палитры цветов в индексированной модели цвета?
27. В чем состоит особенность прозрачности в индексированной модели цвета?
28. Имеется ли принципиальная разница между индексированной и штриховой моделями цвета? В чем она состоит?
29. В чем состоит прием имитации цвета, отсутствующего в палитре цветов индексированной модели цвета?
30. В чем заключается разница между аппаратно-зависимой и перцептивной моделями цвета?
31. По каким причинам в качестве базовых цветов аддитивной модели выбраны красный, зеленый и синий?
32. Какая информация приводится в формуле цвета аддитивной модели? Как она записывается?
33. Что представляет собой точка единичного цвета?
34. Какой цвет имеет точка, расположенная на пересечении биссектрис треугольника цветности аддитивной модели цвета?

35. В каком соотношении находятся значения цветности оттенков монохромной шкалы с белым и красным базовыми цветами?
36. Почему в треугольнике цветности содержатся все цвета модели цвета?
37. Как устроен цветовой круг?
38. Как связаны цветовой круг и треугольник цветности аддитивной модели цвета?
39. В чем состоят принципиальные недостатки модели цвета RGB?
40. В чем состоит стандартность стандартных цветовых пространств RGB?
41. Для каких целей используются стандартные цветовые пространства?
42. Каким образом выбраны спектральные распределения базовых световых потоков для перцептивной цветовой модели XYZ?
43. Чем отличаются цветовые пространства RGB и XYZ? По каким причинам?
44. С какой целью выполняется нормирование цветового пространства XYZ? Каким образом?
45. Почему цветовая диаграмма CIE, проекция треугольника цветности модели цвета XYZ, выглядит не треугольником, а сегментом параболы?
46. Как и почему называются отдельные части границы цветовой диаграммы CIE?
47. Почему ахроматическая точка цветовой диаграммы CIE называется точкой опорного белого цвета?
48. Как по цветовой диаграмме CIE определить насыщенность и цветность цвета?
49. Как цветовая температура источника освещения связана с точкой опорного белого цвета?
50. Каким практическим целям служит цветовая диаграмма CIE?
51. Почему цветоразличительные свойства зрения минимальны на границе локуса (в зоне спектрально чистых цветов) и максимальны в области нулевых цветностей (на ахроматической шкале)?
52. Почему в субтрактивной модели цвета неудобно применять в качестве базовых те же цвета, что и в аддитивной?
53. Какая информация приводится в формуле цвета субтрактивной модели? Как она записывается?
54. Почему на практике в субтрактивной модели не удастся обойтись тремя базовыми цветами?
55. Что представляет собой обогащенный черный цвет? Для каких целей его применяют?
56. Каковы основные недостатки субтрактивной модели цвета?
57. Как цветность определяется по цветовому кругу?
58. Где в цветовом круге располагаются цвета равной насыщенности?
59. Как устроено цветовое пространство HSB?
60. В чем состоят основные недостатки модели цвета HSB?
61. Чем светлота отличается от яркости?
62. Что является главной причиной неравноконтрастности моделей цвета HSB и HSL?
63. Каким образом в модели цвета CIE Lab качественно разделены светлота и цветность?
64. Каковы достоинства модели цвета CIE Lab?
65. Каковы недостатки модели цвета CIE Lab?
66. За счет чего технология плащечной печати обеспечивает сравнительно точное воспроизведение цвета?
67. Что входит в состав системы цветосовмещения?
68. Почему не определяется глубина цвета для модели цвета системы цветосовмещения?

69. Что входит в состав систем цвета повышенной точности?
70. Каковы основные причины, вызывающие необходимость применения систем управления цветом?
71. Каково назначение системы управления цветом?
72. Каковы основные функции системы управления цветом?
73. Что входит в состав системы управления цветом стандартной архитектуры?
74. Для чего в системе управления цветом служит модуль управления цветом?
75. Какие информационные единицы входят в состав цветового профиля устройства и каково их практическое назначение?
76. Каким целям служит встраивание цветового профиля в графический файл, содержащий информационную модель изображения?
77. Каковы функции эталонного цветового пространства?
78. Что выполняется в ходе процедуры преобразования цветового пространства?
79. Чем различаются между собой методы преобразования цветового пространства?
80. Что представляют собой процедуры калибрования и профилирования?
81. Для чего в профилировании устройств графического ввода применяется эталонное изображение?
82. Какие факторы определяют частоту выполнения процедуры профилирования сканера?
83. Какие приборы необходимы для выполнения профилирования монитора? Для чего?
84. Как выполняется профилирование устройства цветной печати?

## **Темы для обсуждения**

1. Примеры проявления метамерии в повседневной жизни.
2. Выбор базовых цветов и первый закон Грассмана.
3. Соотношение Эвклидова и цветового пространств.
4. Цветовое пространство и цветовые модели повышенной точности.
5. Влияние спектрального распределения светового потока от внешнего источника света на восприятие цвета в отраженном свете.
6. Монохромное изображение как рабочий инструмент в компьютерной графике.
7. Методики построения палитр в индексированной модели цвета.
8. Соотношение цветовых пространств аддитивной и субтрактивной моделей цвета.
9. Прикладные области, требующие повышенной точности воспроизведения цвета.
10. Перцептивные цветовые модели – свойства равной контрастности и равной светлоты, модель цвета Luv.
11. Приборы для измерения цвета.
12. Реализация системы управления цветом в ОС Windows.

## Часть II

# Векторная графика

### 2.1. Объектно-ориентированное графическое моделирование

В этой главе рассматриваются наиболее общие аспекты работы с векторной информационной моделью изображения и дается краткая характеристика форматов графических файлов, предназначенных для ее хранения.

#### 2.1.1. Графические объекты и их классы

Большинство программных средств компьютерной графики для работы с векторными изображениями представляют собой интегрированные объектно-ориентированные программные пакеты. *Интегрированность* программного пакета означает, что он включает в себя несколько программных средств с единым интерфейсом пользователя, в совокупности позволяющих решать множество задач, возникающих при работе с векторной графикой. Входящие в пакет средства позволяют легко обмениваться данными и последовательно выполнять различные операции над ними, поскольку используют одну и ту же информационную модель изображения. Таким образом, возможности программных средств интегрируются в целое, представляющее собой нечто большее, чем простая сумма компонентов. Примеры таких интегрированных пакетов для работы с векторной графикой – CorelDRAW X3 и Adobe Illustrator CS2.

*Объектная ориентированность* программных средств состоит в том, что информационная модель векторного изображения, с которой они работают (см. разд. 1.2.1), разработана на основе последовательного применения приемов объектно-ориентированного анализа предметной области. Эта модель представляет собой сбалансированную иерархическую систему классов графических объектов и совокупность методов, с помощью которых можно создавать, удалять и модифицировать экземпляры этих объектов.

*Классом графических объектов* называется совокупность объектов, обладающих свойством структурной идентичности, одинаковым списком атрибутов и набором методов работы с ними, а также ее формальное описание, состоящее из описания всех атрибутов и методов класса. Так, классом объектов будут, например, прямоугольники. Их структурная идентичность очевидна – у каждого прямоугольника имеются по четыре стороны и по четыре угла. Прямоугольники могут быть разной высоты и ширины, но у каждого из них есть высота и ширина – общий для всех объектов класса список атрибутов (см. разд. 2.1.2). Методы работы также будут общими для всех прямоугольников. Прямоугольник можно создать, удалить, развернуть, растянуть, сжать, перекосить, можно закруглить ему углы. Эти операции представляют собой методы класса прямоугольников (см. разд. 2.1.3).

#### **Примечание**

Иногда термином "класс объектов" обозначают только совокупность объектов, являющихся экземплярами этого класса. В этом случае приходится говорить об отдельном описании класса, которое определяет совокупность его атрибутов и методы этого класса.

На рис. 2.1.1 в качестве примера показаны верхние уровни дерева классов графических объектов CorelDRAW X3.

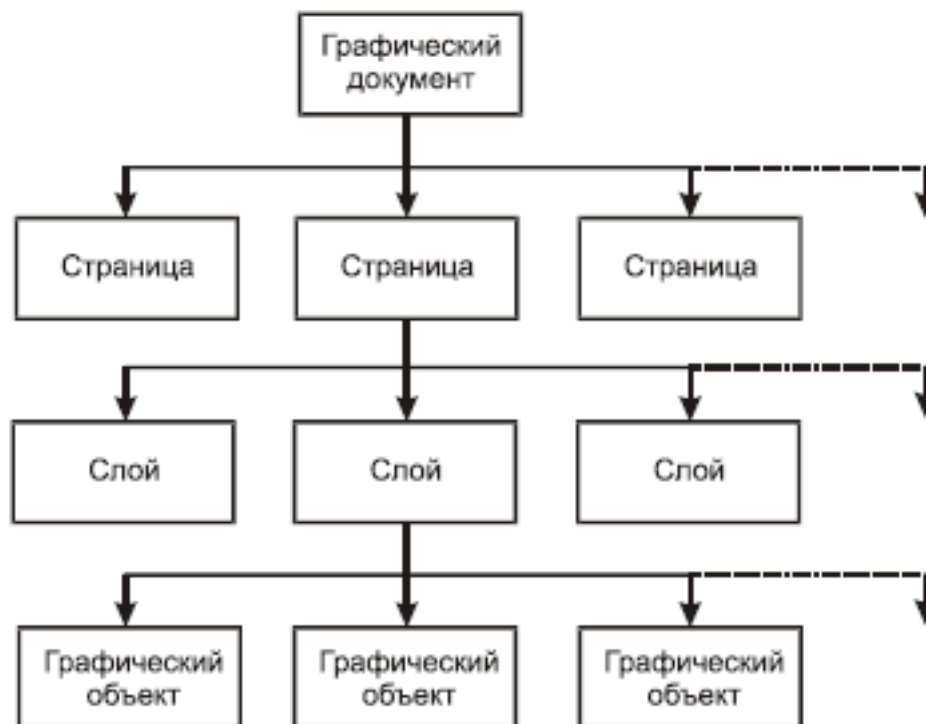


Рис. 2.1.1. Верхние уровни иерархии объектов графического документа

Объектная ориентированность векторной информационной модели позволяет работать с ней достаточно гибко, выбирая для решения поставленной в графическом проекте задачи наиболее оптимальный в смысле трудоемкости и сложности способ. В частности, операция выделения и модификации отдельных объектов изображения на любом этапе графического проекта недостижима при использовании бумаги и традиционных инструментов художника-графика, а также весьма затруднительна при работе с пиксельной информационной моделью.

Кроме интерактивной реализации методов для работы с графическими объектами, современные программные средства векторной графики предоставляют возможность воспользоваться программным интерфейсом. Для этого в их состав вводится объектно-ориентированный язык программирования. Составляя программные модули на этом языке, пользователь может автоматизировать построение сложных графических изображений и выполнение повторяющихся действий. Можно также программно определять новые классы составных графических объектов и описывать методы работы с ними. Имеются также средства для сохранения интерактивных действий пользователя в виде программных модулей, которые затем можно выполнять многократно.

Классы графических объектов, составляющие векторную информационную модель изображения, достаточно автономны. Это позволяет упростить и структурировать процесс изучения приемов работы с векторной графикой, поскольку для начала работы с пакетом векторной графики достаточно ознакомиться с небольшим числом классов, их атрибутами и методами. Последующие главы этой части учебника посвящены как раз описанию важнейших классов векторной модели изображения, их атрибутов и методов, а также типовых задач, которые можно решить с их помощью.

### ***Примечание***

Рассматриваться будут именно классы графических объектов и их методы. Что касается интерфейса пользователя, обеспечивающего доступ к этим методам, – для его изучения следует обращаться к учебникам по соответствующим программным средствам.

## 2.1.2. Атрибуты класса графических объектов

Класс объектов включает в себя все объекты, как уже существующие, так и те, которые могут быть созданы в будущем. Главное – чтобы эти объекты удовлетворяли описанию класса. Каждый из объектов, входящих в один класс, называется *экземпляром* класса. У всех экземпляров одного класса по определению список атрибутов и набор методов должны быть одинаковыми. Следовательно, отличаться друг от друга экземпляры одного класса могут только значениями атрибутов.

*Атрибутом* (свойством) класса графических объектов называется именованное значение, характеризующее какую-либо особенность объекта, один из его аспектов. Существенно, что атрибут класса должен отвечать трем условиям:

- *вариативности* – хотя бы у одного из объектов класса значение атрибута должно отличаться от значений того же атрибута у остальных объектов класса;
- *единичности* – атрибут должен представлять собой единственное значение одного из стандартных типов данных;
- *релевантности* – атрибут должен описывать графический объект в аспекте, существенном для графического моделирования.

К стандартным типам данных относятся:

- логические значения;
- целые числа;
- действительные числа;
- текстовые значения.

На рис. 2.1.2 представлена панель атрибутов – элемент интерфейса графического редактора, с помощью которого можно узнать текущие значения атрибутов выделенного графического объекта (в данном случае – прямоугольника).

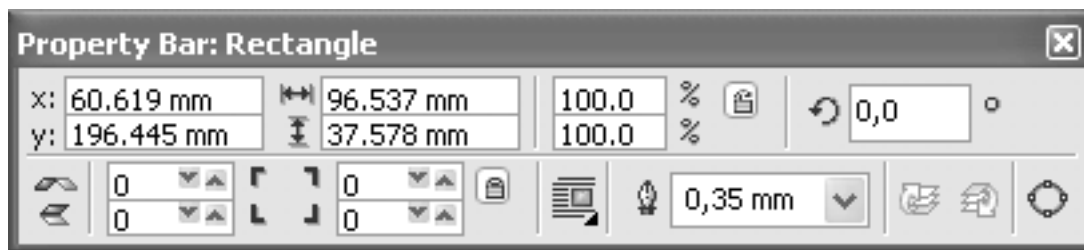


Рис. 2.1.2. Панель атрибутов для класса графических объектов «прямоугольник»

Совокупность текущих значений атрибутов объекта определяет его *состояние*.

Первоначально атрибуты объекта получают свои значения при создании этого объекта. Некоторые из атрибутов вводит пользователь, остальные принимают значение по умолчанию. Например, при создании прямоугольника интерактивным методом пользователь протаскивает указатель мыши по диагонали создаваемого объекта. При этом он задает значения таких атрибутов, как ширина, высота, горизонтальная и вертикальная координаты центра. Такие атрибуты, как угол разворота, тип и ширина контурной линии и пр., получают значение по умолчанию.

**Примечание**

В современных графических редакторах пользователь может заранее задавать значения умалчиваемых параметров. Можно, например, сделать так, что все вновь создаваемые графические объекты будут получать заливку синего цвета и обводку штриховой линией.

При дальнейшем рассмотрении атрибуты класса графических объектов разделяют на общие и специфические. К *общим* относятся атрибуты, имеющиеся у всех или большинства классов графических объектов, например, координаты центра объекта, угол его разворота, характеристики обводки и заливки. Они будут рассматриваться в отдельных разделах, посвященных методам, с помощью которых задаются значения этих атрибутов. К *специфическим* относятся атрибуты, характерные именно для данного класса графических объектов, например, степень закругления углов прямоугольников (см. разд. 2.2.2) или интерлиньяж текстов (см. разд. 2.5.3 и 2.5.6). Такие атрибуты будут рассматриваться в разделах, посвященных классам объектов.

### 2.1.3. Методы класса графических объектов

Чтобы изменить состояние объекта, необходимо поменять значение хотя бы одного из его атрибутов. Это обеспечивают методы того класса, экземпляром которого является данный объект. Векторные графические редакторы позволяют менять значения атрибутов графических объектов в процессе редактирования изображения. Это можно сделать одним из трех способов:

- непосредственным изменением значения атрибута, при котором его новое значение вводится пользователем;
- выполнением интерактивной операции (преобразования) над графическим объектом;
- программно, когда старое значение атрибута заменяется новым (чаще всего – автоматически вычисленным) в процессе выполнения программного модуля.

Перечисленные способы представляют собой различные реализации методов класса, к которому относится графический объект. В компьютерной графике можно считать *методы класса* операциями, с помощью которых графические объекты этого класса создают, удаляют или изменяют значения их атрибутов. По сути дела, процесс редактирования информационной модели изображения представляет собой последовательность применения методов к объектам различных классов, из которых состоит эта модель.

Некоторые методы преобразуют класс графического объекта. Например, составной объект можно разбить на части, параметрический примитив – преобразовать в кривую, на основе нескольких базовых объектов можно создать составной объект.

При дальнейшем рассмотрении методы класса графических объектов (как и атрибуты) разделяются на общие и специфические. К *общим* относятся методы, применимые ко всем или большинству классов графических объектов, например, размещение объекта, его разворот, настройка параметров обводки и заливки. Они будут рассматриваться в отдельных разделах. К *специфическим* относятся методы, характерные именно для данного класса графических объектов, например, закругление углов для прямоугольников (см. разд. 2.2.2) или форматирование абзацев для текстов (см. разд. 2.5.2 и 2.5.5). Они будут рассматриваться в разделах, посвященных классам объектов.

### 2.1.4. Форматы графических файлов векторных графических документов

Широкое распространение получили несколько вариантов реализации информационной модели векторного изображения. Они разрабатывались различными фирмами и предна-



значались для разных целей, так что говорить об их совместимости можно только с существенными оговорками. То же самое можно сказать и о форматах графических файлов с векторными изображениями.

Все форматы векторных графических файлов условно можно разделить на две категории: графические документы программ векторной графики и форматы для обмена векторными изображениями. Далее даются краткие характеристики наиболее известных форматов.

### **Формат графического редактора CorelDRAW (CDR)**

Основное назначение интегрированного пакета программ CorelDRAW – работа с векторными графическими документами, хотя в их составе могут присутствовать и пиксельные изображения (в виде импортированных объектов). Изображение строится как совокупность графических примитивов (прямоугольников, кривых, текстов, эллипсов и дуг), а также созданных на их основе составных объектов. Изображение сильно структурировано, графический документ может включать несколько страниц, каждая из которых – произвольное число слоев. Формат файлов с расширением `cdr` достаточно компактен, многие редакционно-издательские программы и графические редакторы позволяют импортировать изображения, представленные в этом формате.

В качестве цветовых моделей приняты RGB, CMYK, Lab, HSB, HLS и системы цвето-совмещения.

#### ***Примечание***

Вариант формата CDR – CMX, также является собственностью фирмы Corel и предназначен для переноса векторных изображений в другие программы этой фирмы (например, в программу для разработки онлайн-презентаций).

### **Формат графического редактора Adobe Illustrator (AI)**

Назначение векторного графического редактора Adobe Illustrator, входящего в состав разработанного фирмой Adobe Systems интегрированного пакета Creative Suite, – работа со сложными векторными изображениями. Формат графического файла AI разрабатывался как основной формат векторных графических документов этого пакета отдельно для платформ Macintosh и Windows. Первоначально предназначенный только для работы с векторной графикой, в современных версиях этот формат допускает хранение пиксельных изображений как импортированных объектов. Может считываться самым известным редактором пиксельной графики Adobe Photoshop и адекватно импортируется в систему трехмерного моделирования 3D Studio Max.

В качестве цветовых моделей приняты RGB, CMYK, Lab, HSB, HLS и системы цвето-совмещения.

### **Форматы системы AutoCAD**

Основное назначение системы AutoCAD – автоматизация проектирования и предоставление пользователям и разработчикам инструментальной платформы для построения специализированных систем автоматизации проектирования и технологической подготовки производства. В ее составе имеется мощная подсистема векторного графического моделирования, обеспечивающая подготовку и выпуск конструкторской графической документации. Для этой подсистемы были разработаны форматы графических файлов DWG и DXF. Подсистема графического моделирования, совершенствовавшаяся на протяжении десятилетий,

оказалась настолько удобной и мощной, что сегодня часто служит для решения задач компьютерной графики, не связанных с автоматизацией проектирования.

Формат файлов DWG (Drawing Database) предназначен для хранения всей векторной информационной модели изображения. Это один из основных форматов системы AutoCAD. Формат DXF (Drawing Interchange Format) представляет собой средство обмена графическими моделями. Графический файл в этом формате содержит в себе описания всех графических объектов изображения в символьной форме. Этот формат стал де-факто стандартом для обмена чертежами в системах автоматизации проектирования.

Форматы AutoCAD включают в себя сложную иерархию графических объектов, многостраничные документы многослойной структуры. Но, поскольку их основное назначение связано с автоматизацией проектирования, для задания цвета в них используется только индексированная цветовая модель.

## **Формат PostScript**

Язык PostScript был разработан фирмой Aldus для описания расположения графических материалов и текстов на печатных полосах. Впоследствии он развивался и стал основой многих пакетов графического моделирования и редакционно-издательских систем. Довольно много моделей современных печатающих устройств обеспечивают аппаратную интерпретацию графических файлов на языке PostScript (расширение файла ps). Современная спецификация языка PostScript Level 3 соответствует сложной и совершенной модели многостраничного векторного документа с широкой номенклатурой простых и составных графических объектов.

Существует модификация формата PostScript, предназначенная специально для вывода на печать. В графических файлах этого формата (расширение psn) номенклатура графических объектов сужена, но их можно печатать на менее сложных принтерах без помощи специальной графической программы.

## **Формат Encapsulated PostScript (EPS)**

Графические файлы формата EPS также используют язык PostScript, но предназначены специально для вставки векторных изображений в документы различных программных средств в виде встроенных объектов. В отличие от других форматов PostScript, допускающих описание многостраничных документов, файл в формате EPS всегда соответствует одной странице графического документа.

Как правило, в состав графического файла формата EPS включается пиксельное изображение невысокого разрешения, позволяющее визуально судить о содержимом этого файла без помощи интерпретатора языка PostScript.

## **Формат Computer Graphics Metafile**

В отличие от большинства рассмотренных в этом разделе форматов векторной графики, формат CGM (Computer Graphics Metafile) был разработан не отдельной фирмой, а международным комитетом в рамках работы над стандартом компьютерной графики. Он представляет собой формат метафайла с открытым описанием, независимый от платформы. Спецификация этого формата позволяет представлять в нем как двумерные векторные, так и пиксельные изображения, но, как правило, эти две информационные модели хранятся в различных файлах. Основное назначение формата – представление графических изображений для передачи между различными программными средствами. Ориентирован на цветовую модель RGB. Расширение файла cgm.

Интересная особенность этого формата – возможность представить информационную модель изображения в двух вариантах: двоичном, позволяющем получать компактный графический файл, и текстовом, который можно читать.

## **Формат Scalable Vector Graphics**

Формат SVG (Scalable Vector Graphics) был разработан Консорциумом World Wide Web (W3C) для векторных графических изображений на страницах WWW. Это открытый стандартный формат представления векторных графических объектов средствами языка гипертекстовой разметки XML. Расширение файла svg.

Графические файлы в формате SVG – это совокупность тегов XML, хранящихся и передающихся по сети в виде текста. Векторные изображения загружаются значительно быстрее пиксельных. Стандарт предусматривает возможность дополнительного сжатия графического файла SVG, такие файлы имеют расширение svgz.

Для просмотра изображений в составе страницы Web-обозреватель должен располагать специальным подключаемым модулем (плагином).

## **Формат Windows Metafile**

Этот формат файлов с расширением wmf разработан фирмой Microsoft и предназначен для хранения информационных моделей как векторного, так и пиксельного изображений. Первоначально создавался как внутренний формат представления графических изображений в операционной системе Microsoft Windows 3. В этом формате принята цветовая модель RGB с глубиной цвета 24 бита на элемент изображения. Данные, представленные в этом формате, могут обрабатываться большинством программ, работающих на платформе Windows.

## **Список новых терминов**

- Интегрированность
- Объектная ориентированность
- Класс графических объектов
- Экземпляр класса
- Атрибут (свойство) класса
- Вариативность атрибута класса
- Единичность атрибута класса
- Релевантность атрибута класса

## **Контрольные вопросы**

1. В чем состоят преимущества интегрированных программных пакетов векторной графики?
2. В чем выражается объектная ориентированность современных программных средств векторной графики?
3. Что объединяет графические объекты в один класс?
4. Что включает в себя описание класса графических объектов?
5. В чем состоят сходство и различие экземпляров графических объектов одного класса?
6. Какие типы данных относятся к стандартным?

7. Каким образом формируются исходные значения атрибутов графического объекта при его создании?
8. Как можно изменить состояние графического объекта?
9. Что представляют собой методы класса графических объектов?
10. Для какой цели в состав пакетов векторной графики вводят объектно-ориентированный алгоритмический язык?

## 2.2. Параметрические примитивы

К параметрическим примитивам принято относить классы графических объектов, не являющихся составными. Второе свойство примитивов – невозможность разделить их на более мелкие объекты, относящиеся к тому же классу. В этой главе рассматривается суть процедуры параметризации, некоторые из способов ее использования и несколько важных классов параметрических примитивов.

### 2.2.1. Параметризация графического объекта

*Параметризация* – операция непосредственного задания значения того или иного атрибута графического объекта без применения к нему операций преобразования (например, вводом числового значения с клавиатуры). При этом у класса графических объектов должны иметься атрибуты, которые можно изменить таким образом. В пакетах векторной графики во всех классах графических объектов к таким атрибутам относятся:

- координаты точки привязки;
- угол разворота вокруг точки привязки;
- коэффициенты масштабного преобразования.

*Точкой привязки* называется точка начала локальных координат графического объекта. Местоположение этой точки, представленное парой чисел в системе координат страницы графического документа, определяет, где на странице будет располагаться графический объект. На рис. 2.2.1 показано соотношение локальных координат и координат страницы.

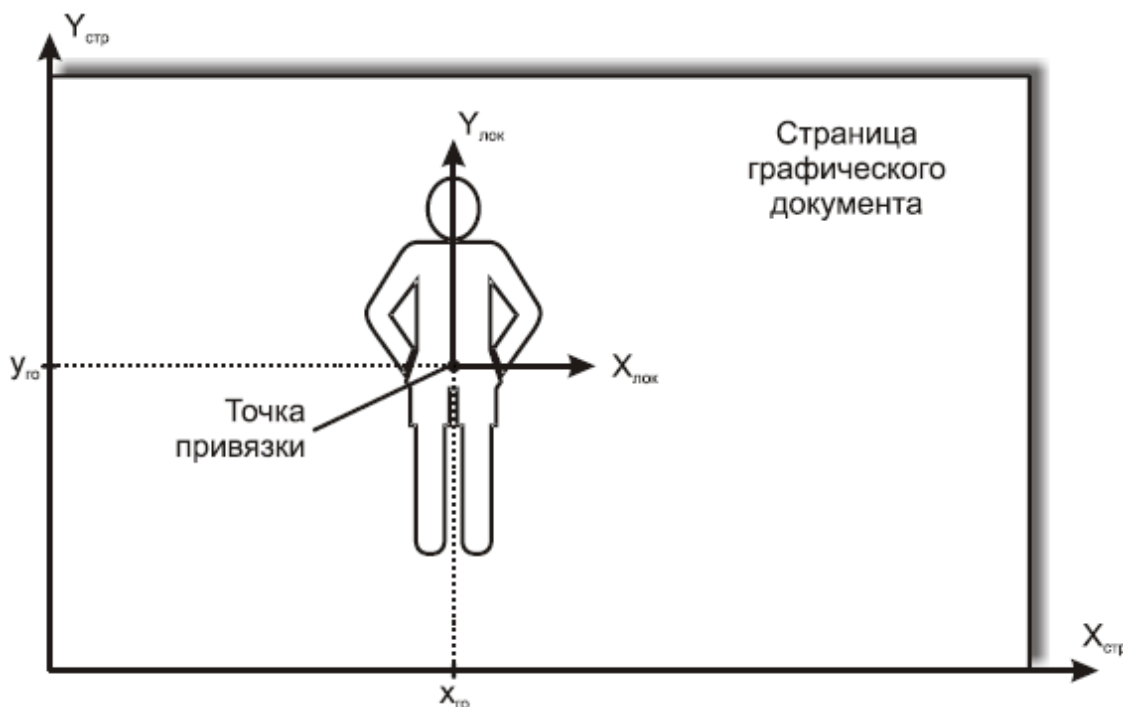


Рис. 2.2.1. Система координат страницы графического документа и локальных координат графического объекта

*Примечание*

Координаты точки привязки принято считать координатами графического объекта. Они выражаются в системе координат страницы графического документа.

### **Примечание**

При создании графического объекта начало его локальных координат помещается на пересечении диагоналей габаритного прямоугольника.

*Углом разворота* называется угол, образованный одноименными осями координат локальной системы графического объекта и системы координат страницы. Чаще всего, разворот графического объекта выполняется вокруг точки его привязки, но возможно выполнение этой операции и относительно произвольно выбранной точки (рис. 2.2.2).



Рис. 2.2.2. Разворот графического объекта вокруг точек привязки и начала координат страницы

### **Примечание**

На рис. 2.2.2 пунктирной линией показаны исходные положения графических объектов до начала их разворота на  $15^\circ$  каждого относительно различных точек. Обратите внимание, что углы, образованные одноименными осями систем координат объекта и страницы, и в том, и в другом случае равны  $15^\circ$ .

*Масштабным преобразованием* называется изменение габаритных размеров графического объекта, записанных в его дескрипторе, в процессе рендеринга. Степень увеличения или уменьшения размеров отображения графического элемента зависит от коэффициента масштабного преобразования, который, как правило, задают отдельно по каждой из осей локальных координат графического объекта. Пример использования масштабного преобразования с различными значениями коэффициентов представлен на рис. 2.2.3.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.