

Федеральное агентство связи

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)

**Г.П. Катунин**

# **ОСНОВЫ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Учебное пособие*

Новосибирск  
2017

УДК 778.15:681.3

*Утверждено редакционно-издательским советом СибГУТИ*

Рецензенты: Ю.А. Ковалгин, В.А.Хрусталеv

**Катунин Г.П.** Основы мультимедийных технологий : Учебное пособие / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики. – Новосибирск, 2017. – 794 с.

Мультимедиа-технологии являются одним из наиболее перспективных и популярных направлений информатики. Они имеют целью создание продукта, содержащего коллекции изображений, текстов и данных, сопровождающихся звуком, видео, анимацией и другими визуальными эффектами, включающего интерактивный интерфейс и другие механизмы управления. В пособии рассмотрены виды компьютерной графики; описаны проблемы формирования и управления цветом. Значительное внимание уделено таким понятиям как разрешение и размеры, а также способам сжатия графической информации. Рассмотрены устройства ввода, вывода и отображения информации. В разделах, посвященных работе со звуковой и видеоинформацией, рассмотрены основные свойства слуха и зрения; звуковые сигналы и их цифровое представление; основы телевидения; методы сжатия звуковой и видеоинформации; описаны многоканальные звуковые системы и способы обработки звука. Рассмотрены методы организации видеоконференций.

Кафедра радиовещания и телевидения

© Катунин Г. П., 2017

© Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
<b>ЧАСТЬ 1. КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА.....</b>	<b>20</b>
ГЛАВА 1. ВИДЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ.....	23
ГЛАВА 2. СВЕТ И ЦВЕТ.....	34
ГЛАВА 3. МЕТРОЛОГИЯ ЦВЕТА.....	59
ГЛАВА 4. УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТОМ.....	91
ГЛАВА 5. МНОГОЛИКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ.....	136
ГЛАВА 6. ФОРМАТЫ ГРАФИЧЕСКИХ ФАЙЛОВ.....	153
ГЛАВА 7. СЖАТИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	181
ГЛАВА 8. УСТРОЙСТВА ВВОДА ИНФОРМАЦИИ.....	205
ГЛАВА 9. УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ.....	280
ГЛАВА 10. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРИНТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	355
ГЛАВА 11. ТРЕХМЕРНАЯ ГРАФИКА И АНИМАЦИЯ.....	392
ГЛАВА 12. РАБОТА СО ШРИФТАМИ.....	428
<b>ЧАСТЬ 2. РАБОТА СО ЗВУКОМ.....</b>	<b>485</b>
ГЛАВА 13. ЗВУКОВЫЕ СИГНАЛЫ.....	485
ГЛАВА 14. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СЛУХА.....	498
ГЛАВА 15. ЦИФРОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ.....	524
ГЛАВА 16. СЖАТИЕ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	538
ГЛАВА 17. АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ЗВУКА.....	581
ГЛАВА 18. СИНТЕЗ ЗВУКА И ОСНОВЫ MIDI.....	623
ГЛАВА 19. СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗВУКА.....	655
<b>ЧАСТЬ 3. РАБОТА С ВИДЕО.....</b>	<b>683</b>
ГЛАВА 20. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕЛЕВИДЕНИИ.....	683
ГЛАВА 21. СЖАТИЕ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ.....	715
ГЛАВА 22. МЕДИАКОНТЕЙНЕРЫ И ВИДЕОКОДЕКИ.....	748
ГЛАВА 23. ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗЬ.....	772
 Список литературы, использованной при подготовке пособия.....	 791

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
ЧАСТЬ 1. КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА.....	20
ГЛАВА 1. ВИДЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ.....	23
1.1. Основные понятия компьютерной графики.....	23
1.2. Растровая графика.....	25
1.3. Векторная графика.....	27
1.4. Фрактальная графика.....	28
ГЛАВА 2. СВЕТ И ЦВЕТ.....	34
2.1. Немного философии.....	34
2.2. Устройство глаза и его работа.....	37
2.2.1. Фокусирующие элементы.....	38
2.2.2. Свето- и цветочувствительные элементы.....	40
2.2.3. Работа мозга.....	43
2.3. Зрительное восприятие светового излучения.....	45
2.3.1. Общие сведения.....	45
2.3.2. Закон Вебера-Фехнера.....	47
2.3.3. Объективные и субъективные характеристики цвета.....	48
2.3.4. Яркостная и цветовая адаптация глаза.....	50
2.4. Характеристика источников света.....	52
ГЛАВА 3. МЕТРОЛОГИЯ ЦВЕТА.....	59
3.1. Общие сведения.....	59
3.2. Цветовые координаты.....	60
3.3. Системы описания цвета (системы спецификаций).....	65
3.4. Цветовые координатные системы.....	69
3.4.1. Координатная система RGB.....	69
3.4.2. Координатная система XYZ.....	75
3.4.4. Координатная система $L^*a^*b^*$ .....	80
3.4.5. Аппаратно-пространственная система YCbCr.....	81
3.4.6. Интуитивные цифровые системы.....	82
3.5. Цветовые модели.....	84
3.5.1. Цветовая модель RGB.....	85
3.5.2. Цветовые модели CMY и CMYK.....	87
ГЛАВА 4. УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТОМ.....	91
4.1. О происхождении проблемы управления цветом.....	91
4.2. Пространство привязки профилей.....	94
4.3. Цветовые профили.....	95
4.3.1. Общие сведения.....	95
4.3.2. Рабочие цветовые пространства.....	96
4.4. Модуль управления цветом.....	107
4.5. Способы преобразования (Renderings intents).....	109

4.6. Настройка мониторов.....	114
4.6.1. Программная калибровка.....	115
4.6.2. Аппаратная калибровка .....	126
4.7. Профилирование сканеров.....	128
4.8. Профилирование принтеров.....	133
<b>ГЛАВА 5. МНОГОЛИКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ.....</b>	<b>136</b>
5.1. Общие сведения.....	136
5.2. Разрешение устройств ввода .....	140
5.2.1. Ввод изображения с помощью сканера.....	140
5.2.2. Ввод изображения с помощью цифровой камеры.....	141
5.3. Разрешение устройств вывода.....	141
5.3.1. Разрешение монитора.....	141
5.3.2. Разрешение устройств печати.....	143
<b>ГЛАВА 6. ФОРМАТЫ ГРАФИЧЕСКИХ ФАЙЛОВ.....</b>	<b>153</b>
6.1. Общие сведения.....	153
6.2. Форматы растровой графики.....	155
6.3. Форматы векторной графики.....	166
6.4. Комплексные форматы.....	170
<b>ГЛАВА 7. СЖАТИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....</b>	<b>181</b>
7.1. Общие сведения о сжатии информации.....	181
7.2. Сжатия без потерь.....	183
7.2.1. RLE-сжатие.....	183
7.2.2. Кодирование методами Хаффмана и ССИТТ.....	184
7.2.3. LZW- кодирование.....	185
7.2.4. Метод дефляции.....	186
7.2.5. Метод JBIG.....	187
7.2.6. Эффективность методов сжатия без потерь.....	187
7.3. Сжатие с потерями.....	188
7.3.1. Метод JPEG.....	188
7.3.2. Вейвлет-сжатие.....	195
7.3.3. Фрактальное сжатие.....	200
<b>ГЛАВА 8. УСТРОЙСТВА ВВОДА ИНФОРМАЦИИ.....</b>	<b>205</b>
8.1. Клавиатура.....	205
8.2. Координатные устройства ввода информации.....	214
8.2.1. Компьютерные мыши.....	214
8.2.2. Устройства тачпад и мульт-тач.....	219
8.3. Сканеры.....	221
8.3.1. Технологии сканирования изображений.....	223
8.3.2. Интерфейсы и программное обеспечение сканеров.....	230
8.3.3. Классификация планшетных сканеров.....	232

8.3.4. Особенности цветного сканирования.....	234
8.3.5. Особенности сканирования прозрачных материалов.....	236
8.3.6. Основные технические параметры сканеров.....	241
8.3.7. 3D-сканеры.....	246
8.4. Фотокамеры.....	250
8.4.1. Классификация цифровых фотокамер.....	250
8.4.2. Матрица фотокамеры.....	256
8.4.3. Типы карт флэш-памяти и их технические характеристики.....	267
8.4.4. Работа с RAW-файлами.....	272
8.5. Дигитайзеры.....	276
<b>ГЛАВА 9. УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ.....</b>	<b>280</b>
9.1. Мониторы.....	280
9.1.1. Принцип работы жидкокристаллических мониторов.....	280
9.1.2. Параметры ЖК-панелей и мониторов.....	283
9.1.3. Технологии изготовления матриц.....	295
9.1.4. Гибкие дисплеи.....	310
9.2. 3D-мониторы.....	313
9.3. Сенсорные экраны (тачскрины).....	316
9.3.1. Резистивные сенсорные экраны.....	317
9.3.2. Матричные сенсорные экраны.....	318
9.3.3. Емкостные сенсорные экраны.....	319
9.3.4. Технологии на базе свойств акустических волн.....	320
9.3.5. Оптические технологии.....	324
9.4. Мультимедийные проекторы.....	328
9.4.1. Классификация проекторов.....	329
9.4.2. Характеристики проекторов.....	329
9.4.3. Основные проекционные технологии.....	340
<b>ГЛАВА 10. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРИНТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....</b>	<b>355</b>
10.1. Типы принтеров.....	355
10.2. Лазерные технологии печати.....	356
10.3. Струйные технологии печати.....	366
10.4. Термические принтеры.....	373
10.5. Плоттеры.....	376
10.6. Технологии 3D-печати.....	380
<b>ГЛАВА 11. ТРЕХМЕРНАЯ ГРАФИКА И АНИМАЦИЯ.....</b>	<b>392</b>
11.1. Трехмерная графика.....	394
11.1.1. Рабочее пространство.....	394
11.1.2. Моделирование объектов.....	397
11.1.3. Материалы и карты.....	403
11.2. Анимация.....	406
11.3. Визуализация.....	408

11.4. Глоссарий терминологии в трехмерной графике и видео.....	410
<b>ГЛАВА 12. РАБОТА СО ШРИФТАМИ.....</b>	<b>428</b>
12.1. Шрифт как объект графического дизайна.....	428
12.2. Краткая история шрифтов.....	428
12.2.1. История развития шрифтов латинского алфавита.....	430
12.2.2. История русских шрифтов.....	433
12.3. Основные параметры шрифтов.....	442
12.3.1. Основные элементы построения букв.....	443
12.3.2. Начертание шрифтов.....	445
12.3.3. Некоторые типографские термины.....	446
12.4. Классификация типографских шрифтов.....	447
12.5. Компьютерные шрифты.....	449
12.6. Психология восприятия шрифтов.....	456
12.7. Основы типографики.....	462
12.7.1. Знаки и символы.....	462
12.7.2. Текстовые выделения.....	466
12.7.3. Абзацы.....	467
12.7.4. Заголовки.....	467
12.7.5. Расстояния.....	468
12.7.6. Выравнивание.....	468
12.7.7. Ширина строки.....	469
12.7.8. Разбивка текста.....	470
12.7.9. Иллюстрации.....	472
12.7.10. Применение эффектов.....	473
12.8. Проблемы совместимости шрифтов.....	479
<b>ЧАСТЬ 2. РАБОТА СО ЗВУКОМ.....</b>	<b>485</b>
<b>ГЛАВА 13. ЗВУКОВЫЕ СИГНАЛЫ.....</b>	<b>485</b>
13.1. Общие сведения.....	485
13.2. Основные характеристики звуковых сигналов.....	487
13.2.1. Уровень сигнала и его динамический диапазон.....	487
13.2.2. Частотный диапазон звуковых сигналов.....	491
13.3. Вторичные звуковые сигналы.....	491
<b>ГЛАВА 14. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СЛУХА.....</b>	<b>498</b>
14.1. Устройство слухового аппарата.....	498
14.2. Восприятие по амплитуде.....	502
14.3. Восприятие по частоте.....	509
14.4. Критические полосы слуха.....	513
14.5. Эффект маскировки.....	516
14.6. Временные характеристики слуха.....	519
14.7. Бинауральный слух.....	520

ГЛАВА 15. ЦИФРОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ.....	524
15.1. Аналого-цифровое преобразование.....	524
15.1.1. Дискретизация.....	525
15.1.2. Квантование.....	528
15.1.3. Кодирование.....	530
15.1.4. Сложности, связанные с оцифровкой звука.....	532
15.2. Цифро-аналоговое преобразование.....	536
ГЛАВА 16. СЖАТИЕ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	538
16.1. Общие сведения.....	538
16.2. Форматы без сжатия и без потерь.....	539
16.2.1. Формат WAV.....	539
16.2.2. Формат AIFF.....	540
16.2.3. Форматы CD-DA, SACD и DVD-audio.....	540
16.3. Форматы со сжатием без потерь.....	542
16.3.1. Формат FLAC.....	542
16.3.2. Формат ALAC.....	543
16.3.3. Формат WavPack.....	544
16.3.4. Формат APE.....	544
16.3.5. Формат TTA.....	545
16.3.6. Формат SHN.....	546
16.3.7. Формат OptimFROG.....	546
16.4. Форматы со сжатием с потерями.....	547
16.4.1. Форматы семейства MPEG.....	547
16.4.2. Формат Ogg Vorbis.....	565
16.4.3. Формат WMA.....	568
16.4.4. Формат AAC.....	572
16.4.5. Формат QDesign AIF.....	574
16.4.6. Формат LossyWAV.....	575
16.4.7. Формат Opus.....	576
ГЛАВА 17. АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ЗВУКА.....	581
17.1. Динамическая обработка звуковых сигналов.....	581
17.2. Частотная обработка звуковых сигналов.....	591
17.2.1. Назначение и основные типы устройств частотной обработки... ..	591
17.2.2. Фильтры плавного подъема и спада АЧХ.....	592
17.2.3. Фильтры среза (обрезные фильтры).....	593
17.2.4. Фильтры присутствия («презенс»-фильтры).....	593
17.2.5. Эквалайзеры.....	594
17.3. Устройства пространственной обработки.....	599
17.4. Методы и устройства для создания специальных звуковых эффек- тов.....	608
17.4.1. Эффект дилэй (Delay/Echo).....	608



17.4.2. Эффект хорус (Chorus).....	609
17.4.3. Эффекты флэнжер (Flanger), фэйзер (Phaser) и вау-вау (Wah-Wah).....	610
17.4.4. Вокалстрессор.....	612
17.4.5. Генераторы вибрато.....	613
17.4.6. Эксайтер (Exciter).....	614
17.4.7. Энхансер (Enhancer).....	616
17.4.8. Максимайзер (Sonic Maximizer).....	617
17.4.9. Виталайзер (Vitalizer).....	618
17.4.10. Устройства изменения высоты тона.....	620
17.4.11. Устройства изменения длительности звучания.....	622
<b>ГЛАВА 18. СИНТЕЗ ЗВУКА И ОСНОВЫ MIDI</b> .....	<b>623</b>
18.1. Синтез звука.....	623
18.1.1. История синтеза звука.....	623
18.1.2. Общие принципы синтеза звука.....	630
18.1.3. Краткий обзор методов синтеза звука.....	632
18.1.4. Синтез звука на основе частотной модуляции.....	639
18.1.5. Синтез звука на основе волновой таблицы.....	641
18.2. Основы MIDI.....	645
18.2.1. Общие сведения.....	645
18.2.2. MIDI-интерфейс.....	646
18.2.3. MIDI-сообщения и события.....	649
18.2.4. MIDI-синхронизация.....	650
18.2.5. Организация памяти и форматы банков синтезаторов.....	651
<b>ГЛАВА 19. СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗВУКА</b> .....	<b>655</b>
19.1. Исторический экскурс.....	655
19.2. Системы Dolby.....	658
19.2.1. Система Dolby Stereo.....	658
19.2.2. Системы Dolby Surround и Dolby Surround Pro Logic.....	659
19.2.3. Стандарт THX.....	659
19.2.4. Система Dolby Digital.....	660
19.3. Система DTS.....	669
19.4. Технология Sony Dynamic Digital Sound (SDDS).....	674
19.5. Auro-3D против Dolby Atmos.....	675
19.6. Dolby Atmos против DTS:X.....	680
<b>ЧАСТЬ 3. РАБОТА С ВИДЕО</b> .....	<b>683</b>
<b>ГЛАВА 20. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕЛЕВИДЕНИИ</b> .....	<b>683</b>
20.1. Принцип телевизионной развертки.....	683
20.2. Спектр частот телевизионного сигнала.....	687
20.3. Полный телевизионный сигнал.....	690
20.4. Принципы передачи и воспроизведения информации в цвете.....	692

20.5. Аналоговые телевизионные системы.....	694
20.6. Основы цифрового телевидения.....	695
20.6.1. Основные принципы.....	695
20.6.2. Субдискретизация сигнала цветности.....	699
20.6.3. Стандарты цифрового телевизионного вещания.....	700
20.7. Перспективные системы телевидения.....	704
20.7.1. Мобильное телевидение.....	704
20.7.2. IPTV и Интернет-телевидение.....	708
20.7.3. Smart-телевидение (Smart TV).....	711
ГЛАВА 21. СЖАТИЕ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ.....	715
21.1. Общие сведения.....	715
21.2. Стандарт MPEG-1.....	718
21.3. Стандарт MPEG-2.....	725
21.4. Стандарт MPEG-4.....	731
21.5. Стандарт MPEG-7.....	742
21.6. Стандарт MPEG-21.....	746
21.7. Стандарт MHEG.....	747
ГЛАВА 22. МЕДИАКОНТЕЙНЕРЫ И ВИДЕОКОДЕКИ.....	748
22.1. Медиаконтейнеры.....	749
22.2. Видеокодеки.....	758
ГЛАВА 23. ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗЬ.....	772
23.1. Общие сведения.....	772
23.2. Виды видеоконференций.....	773
23.3. Типы архитектур систем видеоконференций.....	778
23.4. Протоколы и кодеки .....	780
23.4.1. Стандарт H.323.....	781
23.4.2. Стандарт SIP.....	785
23.5. Программные или аппаратные?.....	787
Список литературы, использованной при подготовке пособия.....	791

## ВВЕДЕНИЕ

Впервые термин «мультимедиа» появился в 1965 году и активно использовался вплоть до конца семидесятых годов для описания экстравагантных для того времени театрализованных шоу, использующих разные виды и формы представления информации: слайды, кино, видео, аудио фрагменты, световые эффекты и живую музыку. В конце 70 и начале 80-х годов под мультимедиа понимали представления, основанные на статических или динамических изображениях от нескольких проекторов, сопровождавшихся звуком или живой музыкой.

Существует два определения термина «мультимедиа»:

1. Мультимедиа (английский multimedia от латинского multum – много и medium – средства) – комплекс аппаратных и программных средств, позволяющих пользователю работать в диалоговом режиме с разнородными данными (графика, текст, звук, видео), организованными в виде единой информационной среды.

2. Мультимедиа – это интерактивные системы, обеспечивающие работу с неподвижными изображениями и движущимся видео, анимированной компьютерной графикой и текстом, речью и высококачественным звуком, то есть это сумма технологий, позволяющих компьютеру вводить, обрабатывать, хранить, передавать и отображать такие типы данных, как текст, графика, анимация, оцифрованные неподвижные изображения, видео, звук, речь.

В России мультимедиа появилась примерно в конце 80-х годов, но она не использовалась на домашних компьютерах, а использовалась только специалистами.

Только в 1993 году многие поняли или начали понимать важность направления, осознавать роль, которую технологии мультимедиа предстояло сыграть в 90-е годы. Слово «мультимедиа» стало вдруг модным и в нашей стране. Образовались новые коллективы разработчиков систем и конечных продуктов мультимедиа; появились потребители таких систем и продуктов. Конференция, состоявшаяся 25–26 февраля 1993 года, как бы открыла сезон мультимедиа в России, а 1994 год можно смело назвать годом начала бума домашнего мультимедиа на российском компьютерном рынке.

Понятие «мультимедиа» используется в различных областях деятельности человека. В компьютерной сфере это разработка сайтов, гипертекстовые системы, компьютерная графика, компьютерная анимация и т. д.; в средствах массовой информации – журналистика, в том числе и интернет-журналистика, речевые и социальные коммуникации и др.; в искусстве – сетевое искусство, компьютерная анимация, компьютерный видеомонтаж, режиссура звука, фильма и др.

**Технология мультимедиа – многосторонность понятия и подходов.**

И. Вернер, автор одной из первых монографий о мультимедиа, переведенной в России в 1996 г., отмечал, что технология мультимедиа является одной из новых технологических форм информационного общества. Она откры-

ваает принципиально новый уровень обработки информации и интерактивного взаимодействия человека с компьютером (видеоряды, текстовая и аудиоинформация, компьютерная графика и анимация могут быть произвольным образом скомпонованы, изменены и/или отображены в другой форме представления данных).

В систематизированном словаре-справочнике «Информатика» (<http://www.rubricon.com>) технология мультимедиа определена как «компьютерная технология, обеспечивающие возможность создания, хранения и воспроизведения разнородной информации, включая текст, звук и графику (в том числе движущееся изображение и анимацию)».

К разновидностям мультимедиа относятся:

- Линейное мультимедиа – простейшая форма представления множества элементов мультимедиа, когда пользователь может выполнять только пассивный просмотр элементов мультимедиа, а последовательность просмотра элементов мультимедиа определяется сценарием.

- Нелинейное (интерактивное) мультимедиа – форма представления множества элементов мультимедиа, в которой пользователю предоставлена возможность выбора и управления элементами в режиме диалога.

- Гипермедиа – интерактивное мультимедиа, в котором пользователю предоставляется структура связанных элементов мультимедиа, которые он может последовательно выбирать, то есть это расширение понятия гипертекст на мультимедийные виды организации структур записей данных.

- Live video (Живое видео) – характеристика системы мультимедиа с точки зрения ее способности работать в реальном времени.

Вместе с тем мультимедиа – это особый вид компьютерной технологии, который объединяет в себе как традиционную статическую визуальную информацию (текст, графику), так и динамическую (речь, музыку, видеофрагменты, анимацию и т. п.). Эта технологическая трактовка понятия «мультимедиа» используется специалистами в области компьютерных технологий и позволяет включать в состав мультимедиа широкий спектр информационных возможностей, использующих различные программные и технические средства с целью наиболее эффективного воздействия на потребителя, ставшего одновременно и читателем/пользователем информации, и слушателем, и зрителем.

То есть под мультимедиа могут понимать и мультимедийную оболочку, и продукт, сделанный на основе мультимедийной технологии, и компьютерное оснащение.

Поскольку технологии мультимедиа являются комплексными, то и отдельные элементы этих технологий стали обозначаться самостоятельными терминами, где слово «мультимедиа» используется в качестве прилагательного: мультимедиа-процессы, мультимедиа-системы, мультимедиа-программы, мультимедиа-продукты, мультимедиа-ресурсы, мультимедиа-услуги.

**Мультимедиа как явление культуры человечества.** Культура выступает как характеристика самого человека, меры его развития в качестве субъекта

деятельности, меры овладения этим субъектом условиями и способами человеческой деятельности в различных сферах общественной жизни.

Прикладная составляющая культуры связана с развитием и функционированием культуры в различных ее проявлениях, формах существования, носителях информационной культуры и результатах деятельности человека, а также позволяет говорить о появлении нового вида культуры – электронной.

В настоящий момент современные информационно-коммуникационные технологии, в особенности Интернет, становятся все более эффективным средством реализации индивидуального творческого потенциала и продуктивного коллективного сотрудничества для решения общих проблем. Образование на основе совместных интересов локальных и интернациональных сообществ благодаря легкодоступной и непосредственной коммуникации, а также свободе доступа к информации в целом ускоряет развитие культуры и общественных связей, делает их динамичными.

Отличительной чертой современных информационных, прежде всего мультимедийных, технологий является их способность не только производить некий предназначенный для употребления продукт, но и, что гораздо важнее, оказывать косвенное влияние на пользующегося ими человека, меняя его представления о самом себе. Это результат таких достижений технологий информационного общества, как изобретение аппаратуры «виртуальной реальности» и превращение Интернета в глобальную компьютерную сеть. Новые виды обработки и предоставления информации (CD-ROM, DVD, другие электронные носители), новые способы доступа к информации (Интернет, технологии «виртуальной реальности» и т.п.) позволяют разнообразить нашу культуру, содействуют глобальному обмену моральными, культурными, общественными ценностями, информацией и знаниями, способствуют более интенсивной коммуникации между людьми.

**Мультимедиа как средство коммуникации.** Исторической спецификой современной новой электронно-коммуникационной системы является то, что в отличие от прежних форм и стадий культурного развития человечества нынешняя «культура реальной виртуальности» характеризуется глобальными масштабами своего распространения и воздействия на все сферы общественной жизни и человеческого бытия в целом. Становление начальных форм коммуникации (от мнемических способов общения, идеограмм и знаковых форм передачи информации) в определенной степени подготовило почву для современных мультимедийных коммуникационных аналогов.

Поскольку обмен информацией – необходимая составляющая жизни общества, то медиатехнологии, как опосредующее звено человеческой деятельности, являются одним из способов коммуникации, условием человеческой активности.

Можно условно разделить медиатехнологии на пять типов:

- ранние (дописьменные типы и письменность);
- печатные (печать, литография, фотография);
- электрические (телеграф, телефон, радио);

- массмедиа (кинематограф, телевидение, СМИ);
- цифровые (компьютер, Интернет).

Эволюция в области мультимедиа – это результат становления и развития каждого из видов медиа и новая эра, прежде всего электронных цифровых медиа (телевидения и Интернета). Именно они создают техническую возможность для создания сверхнасыщенного информационного поля, которое практически повсеместно окружает современного человека.

При этом интеграция в одной и той же системе текстов, изображений и звуков, взаимодействующих из множества разных точек, в избранное время (в режиме реального времени или с запаздыванием), в глобальной Сети и в условиях открытого и недорогого доступа фундаментально изменила характер коммуникации. Так, в течение 1980-х гг. новые технологии преобразовали мир средств массовой информации. Первые попытки «традиционных» российских СМИ выкладывать свои материалы в Интернете датируются концом 1994 – началом 1995 г. В это время возникла первая новостная интернет-служба, не имеющая оффлайнового аналога. С 1998 года началось становление самостоятельной отрасли первично-сетевых российских СМИ. Электронные СМИ (rbc.ru, gazeta.ru, lenta.ru и др.) сегодня уверенно лидируют.

Интернет обладает важной социальной функцией, которую не могут реализовать другие средства массовой коммуникации. В различных своих системах (серверы, телеконференции, чаты, IRC, ICQ и др.) Интернет формирует обширное пространство для общения, поле для формирования отношений, отличных от принятых в реальном мире, ограниченном ритуалами и рамками социальных систем, культур и субкультур. Интернет позволяет формировать открытое сообщество. Открытое в смысле форм поведения, видов информации, количества и характера участников, времени существования сообществ, активности каждого участника и времени его существования в сообществе. Все перечисленные выше переменные обладают высочайшей гибкостью и динамичностью.

Мультимедиа как новое средство электронной коммуникации характеризуется глобальными масштабами, интегрированием в себе всех средств массовой информации, а также интерактивностью, необратимо меняет культуру глобальных коммуникаций. Мультимедиа распространяет область электронных коммуникаций на все сферы жизни, стимулирует роль научного знания как источника нововведений и политических решений, предполагает возможность самоподдерживающегося технологического роста и создание новой «интеллектуальной» технологии.

**Мультимедиа как форма художественного творчества.** Мультимедиа следует рассматривать и как искусство, где особое место принадлежит наглядно-образным способам передачи информации: компьютерной графике, анимации, видео и т. д. Некоторые ученые полагают, что начало мультимедиа положил первый человек, сделавший рисунок и надпись на камне. Тогда, при отсутствии компьютерных технологий, он попытался выразить себя с помощью того средства, которое в силу объективных причин было ему доступно. Появление в

дальнейшем новых технических средств способствовало возникновению адекватных форм художественного выражения.

Мультимедиа – это новая форма художественного творчества, которая выступает не столько продуктом технологической революции, сколько цифровым воплощением идей, которые присутствуют в разных видах искусства и деятельности на протяжении тысячелетий.

Сегодня рождается новое искусство, которое не находило перспектив реализации в традиционных рамках изобразительного искусства, экранных видах культуры и т. д. Оно получило название «сетевое искусство» (NetArt) или «киберкультура». При этом компьютер осознается как средство моделирования и демонстрации в миниатюре законов, лежащих в основе художественного, научного и технического творчества, как средство создания нового произведения искусства и даже новых видов искусства. Он становится еще одним перспективным инструментом для всех искусств, альтернативной средой, способной по-новому реконструировать культуру и творить собственное искусство.

К настоящему моменту сложилось определенное количество компьютерных искусств: компьютерная музыка, интерактивный компьютерный перформанс, компьютерная анимация и компьютерная графика. Художники, использующие компьютерные средства в своем творчестве, считают одним из основных преимуществ этих видов творчества открытость художественного пространства.

Например, компьютерная графика – вид искусства, который позволяет воссоздать образы живописи, кино и фотографий. Но настоящими произведениями компьютерной графики считаются лишь те работы, которые не могут быть созданы с помощью обычных материалов. Они являются сочетанием высоких компьютерных технологий и, если этого хочет художник, имеют собственные цвет, освещение, фактуру и движение, не свойственные ни одному реально существующему предмету или лицу.

Особая роль в этом принадлежит интерактивным видам деятельности. Сам термин «интерактивный» появился в обращении достаточно давно. Его основное значение – взаимный, взаимоактивный. С развитием компьютерных технологий резко увеличились и возможности интерактивного искусства. Сегодня к его области относят произведения компьютерной графики и анимации. В Интернете также расположено огромное количество так называемых арт-галерей, интерактивность которых заключается в том, что можно любоваться изображением в трехмерном пространстве, например, рассматривать статую с разных точек зрения.

**Мультимедиа как вид компьютерных технологий.** Началом эпохи технологий мультимедиа можно считать 1981 год, когда состоялось официальное представление первого персонального компьютера на пресс-конференции IBM в Нью-Йорке. Это был 16-битный процессор с рабочей частотой 4,77 мегагерц, 64 килобайтами оперативной памяти, с приводом флоппи дисков на 5,25 дюйма.

В 1990-е гг. развитие мультимедиа переходит на новый этап. Появляются электронный телеграф, мобильные телефоны, MPEG – компрессия данных, цифровое и спутниковое телевидение.

В 1995–1996 гг. поколение «технарей» в Интернете сменяется поколением «гуманитариев». Интернет становится доступным для многих жителей крупных городов, дизайн – «национальным видом спорта», а забота о сервере – профессией. С этого времени большинство технологических инноваций мультимедиа связано с Интернетом.

Мультимедиа-технологии, захватившие рынок настольных систем и высококорпоративных сетей, находят все большее применение в сети Интернет. В настоящее время возможности интерфейса Интернет позволяют представлять информацию пользователю в мультимедийном виде. Благодаря широкому распространению WWW гипертекстовую технологию знают или, по крайней мере, используют все, кто работает на компьютере. В основе WWW лежит технология гипертекста – нелинейной формы записи текстовой информации с обозначением ссылок на фрагменты текста любого документа, находящегося в автоматизированной информационной системе, и возможностью быстрого перехода к этим фрагментам. Ссылки могут включать не только текстовую информацию, но и графическую, аудио-, видео- и др. Для такого рода документов уже используется гипермедиа, обеспечивая связь между мультимедийными объектами.

Компьютеризация и интернетизация общества происходят параллельно с утверждением новых стилей труда, новых ценностей, информационного разнообразия, и эти изменения не сводятся только лишь к технической сфере, они носят глобальный характер, проникая во все области жизнедеятельности людей. Мультимедиа не может существовать в современном мире без технического развития, но это больше чем технология компьютерных имиджей и звуков. Идея мультимедиа гораздо шире: она в культурном разнообразии и в развитии тех изменений, которые происходят в человеке под воздействием мультимедиа.

В изложенном здесь контексте понятие «мультимедиа» обозначает и вид информационных технологий, в том числе компьютерное оснащение, мультимедийную программу, носитель информации; и продукт, сделанный на основе мультимедийной технологии – мультимедиа приложение; а также и новую форму художественного выражения; и современное средство коммуникации; и инструмент бизнеса.

**Мультимедиа в обучении.** Одна из возможностей продуктивного использования мультимедиа – обучение. Обучающиеся слышат и видят дидактический материал, одновременно активно участвуют в управлении его подачей. Например, возвращаются к непонятным или особо интересным разделам. Мультимедийные программы обучения, например, языку, делают этот процесс намного приятнее, чем традиционный путь заучивания наизусть иностранных слов, реализуя методику обучения с увлечением.

Применение мультимедиа в образовании и обучении перспективно как для общего образования и самообразования, так и для бизнеса и профессио-



нального развития специалиста. Особенно велика роль мультимедиа-технологий в развитии дистанционного образования. В будущем роль мультимедиа в области образования будет возрастать, так как знания, обеспечивающие высокий уровень профессиональной квалификации, всегда подвержены быстрым изменениям.

Продукты мультимедиа учебного назначения сегодняшнего поколения предлагают пользователям множество вариантов индивидуальной настройки, то есть учащийся, осваивая учебный материал, сам устанавливает скорость изучения, объем материала и степень его трудности. Эксперты по маркетингу уже давно заметили отчетливую связь между методом, с помощью которого учащийся осваивал материал, и способностью вспомнить (восстановить в памяти) этот материал. Известно, что только четверть услышанного материала остается в памяти. Если учащийся имеет возможность воспринимать материал зрительно, то доля материала, оставшегося в памяти, повышается до одной трети. При комбинированном воздействии (через зрение и слух) доля усвоенного материала достигает половины, а если вовлечь учащегося в активные действия в процессе изучения, например при помощи интерактивных обучающих программ типа приложений мультимедиа, то доля усвоенного может составить 75%.

**Мультимедиа и информационное обеспечение различных сфер деятельности.** Наличие электронных энциклопедий, справочников, словарей, несущих огромный объем информации, позволяет получить в пользование целые «библиотеки», мощные персональные базы данных в любых сферах жизни и деятельности. Мультимедиа дает возможность продемонстрировать видеоклипы, документальные записи, показать, например, в энциклопедии о животном мире тысячи птиц с кадрами их полетов и звучанием птичьих голосов.

Современные информационные технологии позволили приступить не только к широкомасштабному переводу накопленной человечеством информации в электронную форму, но и к созданию большого числа новых информационных ресурсов сразу в электронном виде. Эта форма представления информации помимо значительного ускорения коммуникативных процессов позволяет на качественно новом уровне организовать процессы производства, хранения и распространения информации. Обеспечение удаленного доступа к электронным ресурсам стало одной из первоочередных задач информационного обслуживания всех областей деятельности, и в первую очередь науки, техники, образования и культуры.

В связи с этим существенно меняются роль и функции такого социального института, как библиотека – основное хранилище и распространитель информации. В настоящее время эффективное информационно-библиотечное обслуживание достигается путем создания электронных систем, реализующих унифицированный подход к производству, хранению и организации разнообразной информации с целью ее поиска, анализа и доступа к ней.

**Мультимедиа и технологии программирования.** Мультимедиа – это новая технология создания программных продуктов, избавляющая пользователя-непрофессионала от необходимости сложного программирования объектов

(звуки, эффекты динамической графики, диалоговые меню и т. п.). Это реализовано в специальных мультимедийных оболочках. В подготовке программ на базе таких мультимедийных оболочек существенно возрастает элемент творчества.

Мультимедийная технология служит перспективным и надежным средством, позволяющим создателю учебного текста (рекламного ролика и т. д.) предоставить массивы информации в большем объеме, чем это может ожидать пользователь; наглядно, в интегрированном виде включать не только текст, графики, схемы, но и звук, анимацию, видео и т.п.; отбирать виды информации в той последовательности, которая соответствует логике познания и темпам восприятия конкретного пользователя.

Но только совместные усилия, с одной стороны, программистов, подготовивших хорошие мультимедийные оболочки, и с другой стороны – профессионалов, прекрасно знающих свою предметную область, могут дать реальный и желаемый эффект в процессе создания мультимедийных информационных ресурсов.

**Мультимедиа и компьютерное моделирование.** Программы моделирования позволяют довольно естественно представить некую реальность с помощью движущегося изображения и звука в сочетании с интерактивной способностью такой системы. Такие системы в начале своего существования были весьма сложны и дороги, поэтому использовались лишь для военных нужд. С помощью такой системы имитировались танковые сражения, воздушные битвы. Такое применение выгодно и в финансовом плане, если подумать об огромных затратах на один час реального учения. Система моделирования для использования в гражданских условиях возникла как часть технологий двойного назначения (например, в компаниях гражданского воздушного сообщения). Здесь точно так же можно проигрывать ситуации (происшествия, конъюнктуру), близкие к реальной жизни, находить ошибки и проводить тренировки

Область, в которой возникает взаимодействие человека и компьютера, и которая проявляется в созданной виртуальной (кажущейся) реальности – называемая также CYBERSPACE (кибернетическое пространство) – расширяет и обогащает это новое направление применения мультимедиа. Этот виртуальный трехмерный изображаемый мир динамично реагирует на интерактивное общение с пользователем.

**Мультимедиа и бизнес.** Системы мультимедиа активно внедряются в деловую сферу. Бизнес становится все более глобальным и международным, фактически, благодаря современным средствам коммуникации, исчезает значение офиса, так как сотрудники могут работать у себя дома, в машине – где угодно. Уже появляются на рынке устройства, обеспечивающие дистанционный онлайн-контроль за своим рабочим местом, квартирой и т. д. Формируется новая профессиональная сфера – электронный бизнес.

Роль мультимедиа в учреждениях и офисах заметно увеличивается. Это связано не только с областью автоматизации, но и с улучшением условий для пользователя, повышением комфортности в его работе, так как цифровые изо-

бражения и речь оживляют сухие программы и существенно улучшают восприятие. Усиливается тенденция к вводу в персональный компьютер технических рисунков и документов для дальнейшей обработки или документирования. Произошли изменения в области речевого ввода информации в компьютер – задача распознавания отдельных отчетливо сказанных слов и преобразования их в цифровой сигнал уже решена. Идентификацией говорящего по его голосу сегодня уже никого не удивишь.

Классические примеры применения технологий мультимедиа в бизнесе:

- Область витринной рекламы, когда клиенты имеют возможность самостоятельно получать интересующую их информацию. Например, в операционных залах банков, где представлена информация по предложениям кредитов, различным банковским операциям, залы на выставках и ярмарках, залы автосалонов, бюро путешествий, аэропорты, железнодорожные вокзалы и т. д.
- Интернет-магазины и сетевые киоски, где пользователь может сам ознакомиться с образцами товаров, сравнить их друг с другом.
- Виртуальные туры и экскурсии в сфере туристического бизнеса.
- Разнообразные базы данных, предоставляющие информацию о производителях той или иной продукции, например, база данных «Российский генеральный регистр производителей товаров и услуг».

**Мультимедиа и другие сферы.** Средства мультимедиа превращают компьютер в центр бытовой, развлекательной, информационной, звуковой и видеоаппаратуры. Невозможно переоценить значение мультимедиа в развитии индустрии развлечения, создании компьютерных игр для детей и взрослых.

Особую область применения мультимедиа представляют системы видеоконференций. Технологии видеоконференцсвязи лежат в основе систем телемедицины, дистанционного обучения и компьютерного обеспечения работы распределенных коллективов. В развитых странах указанные технологии широко используются также в коммерческой деятельности и при управлении производством.

Актуальность развития систем видеоконференций в России обусловлена рядом присущих нашей стране особенностей: наличием значительного количества территориально удаленных друг от друга научных и образовательных центров, недостатком средств для обеспечения адекватного уровня традиционных форм научного сотрудничества, таких, как национальные и международные конференции, научные командировки и т. п.

Мультимедиа применяется в картографии, в управлении транспортом на магистралях, обучении правилам вождения автомобиля, при тренировке летчиков и космонавтов. Коллекционеры могут составлять детальные каталоги слайдов с изображениями почтовых марок, этикеток, произведений искусства из картинных галерей и др.

Перспективы мультимедиа разнообразны, области применения будут расширяться, совершенствуя наш мир и открывая новые миры, предоставляя информацию глобального масштаба, меняя не только технику, но и прежде всего самого человека, его мировосприятие.

## ЧАСТЬ 1. КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

Компьютерной графикой в последнее время занимаются многие, что обусловлено высокими темпами развития вычислительной техники. Известно, что более 90% информации человек получает через зрение или ассоциирует с геометрическими пространственными представлениями. Компьютерная графика имеет огромный потенциал для облегчения процесса познания и творчества, она позволяет развивать пространственное воображение, практическое понимание, художественный вкус. Задумавшись, что именно называют компьютерной графикой?

Понятие «компьютерная графика» очень часто трактуется по-разному. Из одних источников компьютерная графика – это область информатики, занимающаяся проблемами получения различных изображений (рисунков, чертежей, мультипликации) на компьютере.

Из других – компьютерная графика – это отрасль знаний, которая, с одной стороны, представляет комплекс аппаратных и программных средств, используемых для формирования, преобразования и выдачи информации в визуальной форме на средства отображения ЭВМ.

С другой стороны, под компьютерной графикой понимают совокупность методов и приемов для преобразования при помощи ЭВМ данных в графическое представление.

А по мнению некоторых художников компьютерная графика – это вид искусства. При этом считается, что создание произведения искусства средствами компьютерной графики даже более трудоемкое дело, чем обычная работа живописца.

В широком смысле слова, компьютерная графика – это все, для чего используется визуальная, образная среда отображения на мониторе. Если сузить понятие до практического использования, под компьютерной графикой будет пониматься процесс создания, обработки и вывода изображений разного рода с помощью компьютера.

Работа с компьютерной графикой – одно из самых популярных направлений использования персонального компьютера, причем занимаются этой работой не только профессиональные художники и дизайнеры. На любом предприятии время от времени возникает необходимость в подаче рекламных объявлений в газеты и журналы, в создании рекламной листовки или буклета. Иногда предприятия заказывают такую работу специальным дизайнерским бюро или рекламным агентствам. Без компьютерной графики не обходится ни один из современных проектов. Работа над графикой занимает до 90% рабочего времени программистских коллективов, выпускающих программы массового применения. Основные трудозатраты в работе редакций и издательств тоже составляют художественные и оформительские работы с графическими программами.

Необходимость широкого использования графических программных средств стала особенно ощутимой в связи с развитием Интернета. У страницы,

оформленной без компьютерной графики, мало шансов привлечь к себе массовое внимание.

Область применения компьютерной графики не ограничивается одними художественными эффектами. Во всех отраслях науки, техники, медицины, в коммерческой и управленческой деятельности используются построенные с помощью компьютера схемы, графики, диаграммы, предназначенные для наглядного отображения разнообразной информации. Конструкторы, разрабатывая новые модели автомобилей и самолетов, используют трехмерные графические объекты, чтобы представить окончательный вид изделия. Архитекторы создают на экране монитора объемное изображение здания, и это позволяет им увидеть, как оно впишется в ландшафт. Информация, содержащаяся в изображении, представлена в наиболее концентрированной форме, и эта информация, как правило, более доступна для анализа: для ее восприятия получателю достаточно иметь относительно небольшой объем специальных знаний.

Первые системы машинной графики появились вместе с первыми компьютерами. Формирование машинной графики как самостоятельного направления относится к началу 60-х годов прошлого века. Именно тогда были сформулированы принципы рисования отрезками, удаления невидимых линий, методы отображения сложных поверхностей, определены методы формирования теней, учета освещенности сюжета.

В 70-е годы значительное число теоретических и прикладных работ было направлено на развитие методов отображения пространственных форм и объектов. Это направление принято называть трехмерной машинной графикой. Математическое моделирование трехмерных сюжетов требует учета трехмерности пространства предметов, расположения в нем источников освещения и наблюдения, это определило необходимость разработки методов представления сложных поверхностей, генерирования текстур, рельефа, моделирования условий освещения. Методы трехмерной машинной графики позволяют визуализировать сложные функциональные зависимости, получать изображение проектируемых, еще не созданных объектов, оценить облик предмета из недоступной для наблюдения позиции и решить ряд подобных задач.

У первых поколений ЭВМ вообще не было дисплея. Вся информация загружалась в огромные ламповые монстры на бумажных носителях (перфоленгах и перфокартах), результат также выдавался на бумагу. Однако рост мощности компьютеров и сложности расчетов привели к необходимости разработки более удобного способа общения с машиной. В результате было найдено решение – дисплей. Долгое время дисплеи были сугубо текстовыми – то есть ничего кроме цифр, а позднее букв, они выводить не могли. Но уже тогда было понятно, что для удобства работы необходима возможность вывода изображений на экран дисплея.

В 80-е годы появились персональные компьютеры, позволяющие выводить графические объекты на экраны мониторов, что позволило использовать машинную графику в качестве инструмента специалистам различных областей, не связанных с программированием. Увеличение памяти и скорости обработки

информации в персональных ЭВМ, создание видеокомплексов с широким набором программ машинной графики, возможность управления ими в диалоговом режиме способствовали дальнейшему расширению применения машинной графики.

Важную роль в этом процессе сыграл выпуск компанией Apple компьютеров Macintosh (1984 г.). Они были для своего времени настоящей революцией. Во-первых, Macintosh серийно поставлялся с цветным монитором. Во-вторых, его операционная система обладала наглядным, визуальным интерфейсом (своего рода аналог более поздней ОС Windows). И в-третьих, их мощности было достаточно для обработки графических изображений. Именно поэтому Macintosh сразу заслужил внимание множества профессиональных художников и дизайнеров, которые поменяли карандаш и кисть на мышь и клавиатуру. Рынок не заставил себя долго ждать – появилось несколько очень впечатляющих для своего времени графических редакторов. Сегодня любой человек, работающий в сфере полиграфии и, тем более, веб-дизайна, просто не может не владеть основными графическими пакетами. Даже художники оцифровывают свои работы и проводят дополнительную коррекцию уже на компьютере. Фотографы, которые работают только с пленочной камерой, также встречаются все реже.

Основные области применения компьютерной графики:

- **Научная графика.** Первые компьютеры использовались лишь для решения научных и производственных задач. Чтобы лучше понять полученные результаты, производили их графическую обработку, строили графики, диаграммы, чертежи рассчитанных конструкций. Первые графики на машине получали в режиме символьной печати. Затем появились специальные устройства – графопостроители (плоттеры) для вычерчивания чертежей и графиков чернильным пером на бумаге. Современная научная компьютерная графика дает возможность проводить вычислительные эксперименты с наглядным представлением их результатов.

- **Деловая графика** предназначена для наглядного представления различных показателей работы учреждений. Плановые показатели, отчетная документация, статистические сводки – вот объекты, для которых с помощью деловой графики создаются иллюстративные материалы.

- **Конструкторская графика** используется в работе инженеров-конструкторов, архитекторов, изобретателей новой техники. Этот вид компьютерной графики является обязательным элементом САПР (систем автоматизации проектирования). Средствами конструкторской графики можно получать как плоские изображения (проекции, сечения), так и пространственные трехмерные изображения.

- **Иллюстративная графика** – это произвольное рисование и черчение на экране компьютера. Пакеты иллюстративной графики относятся к прикладному программному обеспечению общего назначения. Простейшие программные средства иллюстративной графики называются графическими редакторами.

▪ **Художественная и рекламная графика** стала популярной во многом благодаря телевидению. С помощью компьютера создаются рекламные ролики, мультфильмы, компьютерные игры, видеоуроки, видеопрезентации. Графические пакеты для этих целей требуют больших ресурсов компьютера по быстродействию и памяти. Отличительной особенностью этих графических пакетов является возможность создания реалистических изображений и «движущихся картинок». Получение рисунков трехмерных объектов, их повороты, приближения, удаления, деформации связано с большим объемом вычислений. Передача освещенности объекта в зависимости от положения источника света, от расположения теней, от фактуры поверхности, требует расчетов, учитывающих законы оптики.

▪ **Компьютерная анимация** занимается созданием движущихся изображений. Она позволяет создавать эффекты, которые невозможно получить при помощи традиционного грима и аниматроники. Компьютерная анимация может заменить работу каскадёров и статистов, а также декорации.

## ГЛАВА 1. ВИДЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

### 1.1. Основные понятия компьютерной графики

#### Пиксели, разрешение, размер изображения

Изображение на экране состоит из маленьких ячеек. Каждая из них может иметь определенный цвет. Такая ячейка получила название пикселя (pixel). Слово «пиксель» – это аббревиатура от английских слов picture element (элемент изображения). Совокупность пикселей составляет матрицу и образует изображение на экране. В зависимости от модели монитора параметры матрицы в пикселях могут изменяться: 640x480, 800x600, 1024x768, 1600x1200...

Величина матрицы не влияет на физический размер экрана и не зависит от него. Чем больше матрица на одном и том же экране, тем размер ячейки меньше, а, стало быть, качество изображения лучше.

Следует четко различать: разрешение экрана, разрешение печатающего устройства, разрешение изображения.

Все эти понятия относятся к разным объектам. Друг с другом эти виды разрешения никак не связаны, пока не потребуются узнать, какой физический размер будет иметь картинка на экране монитора, отпечаток на бумаге или файл на жестком диске.

**Разрешение экрана** – это свойство компьютерной системы (зависит от монитора и видеокарты) и операционной системы. Разрешение экрана измеряется в пикселях и определяет размер изображения, которое может поместиться на экране целиком.

**Разрешение принтера** – это свойство принтера, выражающее количество отдельных точек, которые могут быть напечатаны на участке единичной длины. Оно измеряется в единицах dpi (точки на дюйм) и определяет размер изображе-

ния при заданном качестве или, наоборот, качество изображения при заданном размере.

**Разрешение изображения** – это свойство самого изображения. Оно тоже измеряется в точках на дюйм и задается при создании изображения в графическом редакторе или с помощью сканера. Значение разрешения изображения хранится в файле изображения и неразрывно связано с другим свойством изображения – его физическим размером.

Физический размер изображения может измеряться как в пикселях, так и в единицах длины (миллиметрах, сантиметрах, дюймах). Он задается при создании изображения и хранится вместе с файлом.

Если изображение готовят для демонстрации на экране, то его ширину и высоту задают в пикселях, чтобы знать, какую часть экрана оно занимает.

Если изображение готовят для печати, то его размер задают в единицах длины, чтобы знать, какую часть листа бумаги оно займет.

## Типы изображений

Изображение характеризуется максимальным числом цветов, которые могут быть в нем использованы, то есть иметь различную глубину цвета. Существуют типы изображений с различной глубиной цвета: черно-белые штриховые, в оттенках серого, с индексированным цветом, полноцветные.

Некоторые типы изображений имеют одинаковую глубину цвета, но различаются по цветовой модели. Тип изображения определяется при создании документа.

**Черно-белые штриховые изображения.** На каждый пиксель такого изображения отводится один бит информации. Одним битом кодируются два состояния, в данном случае это два цвета: черный и белый. Этот тип изображения называется *Bitmap* (Битовый). Глубина цвета такого изображения – один бит.

**Полутоновые изображения.** Пиксель полутонового изображения (*grayscale*) кодируется 8 битами (8 бит составляют 1 байт). Глубина цвета изображения данного типа составляет, таким образом, восемь бит, а каждый его пиксель может принимать 256 различных значений. Значения, принимаемые пикселями, называются серой шкалой. Серая шкала имеет 256 градаций серого цвета, каждая из которых характеризуется значением яркости в диапазоне от 0 (черный) до 255 (белый). Этого вполне достаточно, чтобы правильно отобразить полутоновое изображение.

**Индексированные цвета.** Первые цветные мониторы работали с ограниченной цветовой гаммой: сначала 16, затем 256 цветов. Они кодировались 4 битами (16 цветов) или 8 битами (256 цветов). Такие цвета называются индексированными (*indexed color*). Разумеется, 16 (и даже 256) цветами невозможно убедительно передать цветовую гамму фотоизображений. Применение индексированных цветов снизилось с распространением высококачественных мониторов, однако с ними работают до сих пор, например, Web-мастера.



**Полноцветные изображения.** К полноцветным (true color) относятся типы изображений с глубиной цвета не менее 24 бит, то есть каждый пиксель такого изображения кодируется как минимум 24 битами, что дает возможность отобразить не менее 16,7 миллиона оттенков. Поэтому иногда полноцветные типы изображения называют True Color (истинный цвет). Битовый объем каждого пикселя распределяется по цветовым составляющим: каждый цвет кодируется 8 битами.

Мы часто наблюдаем полупрозрачные изображения, сквозь которые «просвечивает» то, что находится под ними. В этом случае со значением цвета каждого пикселя нужно хранить и степень его прозрачности. Для этого используются два способа.

В случае полноцветной графики степень прозрачности пикселя задается с помощью дополнительных восьми битов или одного байта, добавляемых к уже имеющимся 24. Эти восемь битов называются каналом прозрачности или альфа-каналом, сама цветность – TrueColor с каналом прозрачности или просто 32-битовой.

Несмотря на то, что для работы с компьютерной графикой существует множество видов программного обеспечения, различают всего три вида компьютерной графики. Это – **растровая, векторная и фрактальная графика**. Именно они составляют ветви компьютерной графики.

## 1.2. Растровая графика

Проще всего представить растровое изображение как картинку, созданную путем раскрашивания миниатюрных квадратиков на листе миллиметровой бумаги. Каждый квадратик характеризуется точным местоположением и может быть снабжен адресом в соответствии с его координатами по горизонтали и вертикали. Программы растровой графики дают возможность создавать и редактировать каждый пиксель изображения. Пиксели настолько малы, что изображение может казаться таким же четким, как и фотография.

Растровая графика имеет как достоинства, так и недостатки. Перечислим их, начав, разумеется, с достоинств.

- **Простота вывода.** В самом деле, чтобы вывести растровое изображение на экран монитора или принтер, не требуются сверхсложные вычисления. Отображение растровой графики не «нагружает» слишком сильно процессор компьютера, а значит, вывод изображения происходит очень быстро.

- **Высокая точность и достоверность передачи полутоновых изображений, например, сканированных картин и фотографий.** В самом деле, если использовать достаточно большое разрешение и цветовой режим TrueColor, то цифровая копия не будет отличаться от оригинала.

Теперь рассмотрим недостатки растровой графики.

- **Растровая графика зависит от разрешения устройства вывода: монитора или принтера.** В самом деле, если вывести изображение размером 640x480 точек на экран монитора с таким же разрешением, то этот рисунок

займет весь экран целиком. Если же его вывести при разрешении 1024x768, то на экране отобразится только часть рисунка. Как видите, в этих двух случаях размеры нашего рисунка будут сильно различаться, что не всегда приемлемо.

▪ **Растровая графика не масштабируется, так как при изменении ее размеров сильно падает ее качество.** Увеличить растровое изображение путем тупого увеличения масштаба не получится – число пикселей увеличить невозможно, в этом, я думаю, многие убеждались, когда старались разглядеть мелкие детали на маленькой цифровой фотографии, приближая ее на экране. В результате этого действия разглядеть что-то кроме увеличивающихся квадратиков (это как раз они – пиксели) не удавалось. Такой фокус удается только агентам ЦРУ в голливудских фильмах, когда они с помощью увеличения картинки с камеры внешнего наблюдения распознают номера машины. Если вы не являетесь сотрудником этой структуры и не владеете такой волшебной аппаратурой – ничего у вас не выйдет. Результат масштабирования растрового изображения показан на рис. 1.1. На увеличенном изображении зрачка видно, что картинка состоит из множества квадратиков.

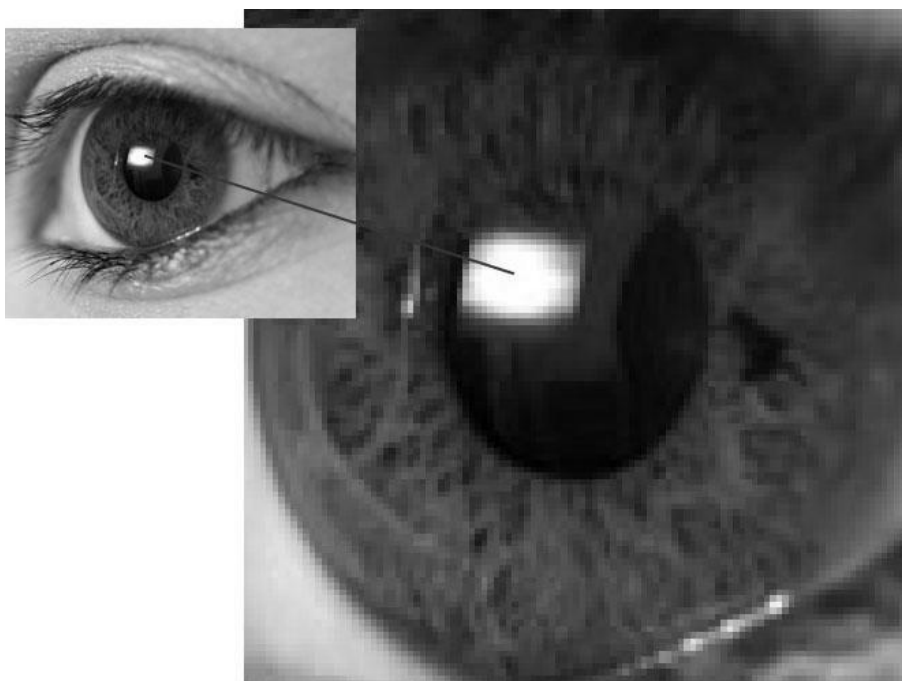


Рис. 1.1. Пример увеличения изображения растровой графики

Растровую графику применяют при разработке мультимедийных и полиграфических изданий. Иллюстрации, выполненные средствами растровой графики, редко создают вручную с помощью компьютерных программ. Чаще для этой цели используют сканированные изображения или фотографии. Последнее время для ввода растровых изображений нашли широкое применение цифровые фото- и видеокамеры. Соответственно, большинство графических редакторов, предназначенных для работы с растровыми иллюстрациями, ориентированы не столько на создание изображений, сколько на их обработку.

### 1.3. Векторная графика

Если разбить даже очень сложное графическое изображение на простые элементы: прямые и кривые линии, эллипсы, прямоугольники и т.д., то эти простейшие элементы можно назвать примитивами. Описываются они с помощью определенных формул. В результате мы получим набор параметров для этих формул, используя которые можно воссоздать исходный набор примитивов, а значит и исходное изображение. Графика, состоящая из примитивов, называется векторной графикой.

В векторной графике каждый элемент изображения представляет собой независимый объект, который можно перемещать, масштабировать и изменять. Все линии определяются начальными точками и формулами, описывающими сами линии. Поэтому при изменении размера рисунка пропорции и очертания всегда точно выдерживаются. Векторную графику часто называют также объектно-ориентированной графикой, так как изображение состоит из отдельных объектов: прямых и кривых линий, замкнутых и разомкнутых фигур, прямоугольников, эллипсов и т.п., каждый из которых имеет свои характеристики цвета, толщины контура, стиля линии и т.д.

Вся сила векторной графики заключается в использовании текста для описания изображений. Если вам необходимо увеличить растровое изображение, то у вас есть два варианта. Вы можете добавить в него новые пиксели, что соответствует вставке новых данных и увеличению размера файла, а также сглаживанию «зазубренности» увеличенных деталей, или вы можете просто увеличить сами пиксели. Добавить новые данные не всегда возможно, а при увеличении пикселей понижается общее разрешение, что сказывается на качестве твердой копии. Если же вы увеличиваете размер векторного изображения, изменяется программный код, задающий координаты точек X и Y. Качество изображения при этом остается неизменным, кроме того, практически не изменяется и размер файла (рис. 1.2).

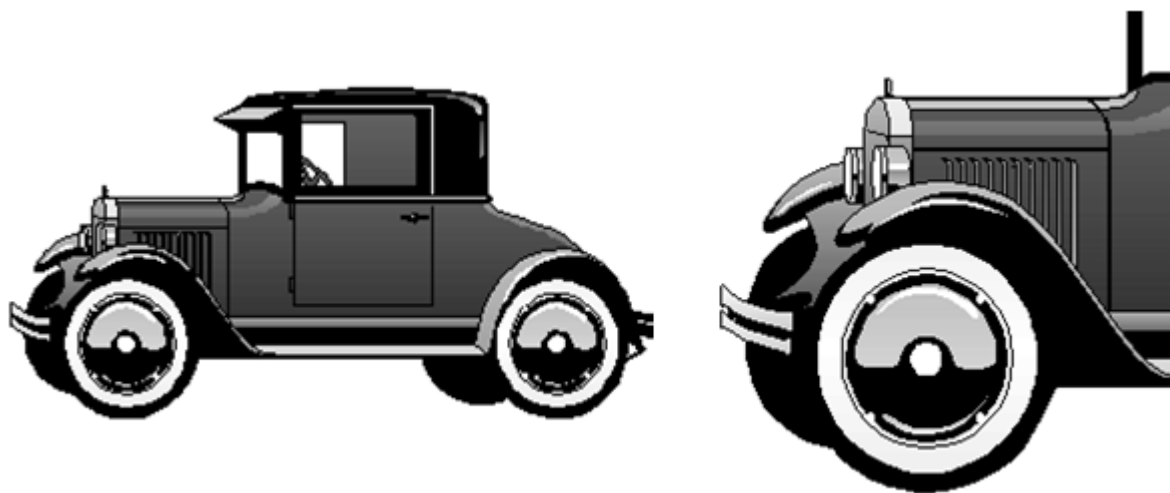


Рис. 1.2. Пример увеличения изображения векторной графики

Векторные изображения имеют следующие преимущества.

- Небольшой размер файла векторного изображения. В файл записывается не огромный массив цветовых значений для всех пикселей, составляющих изображение, а только в типы и параметры всех задействованных в нем примитивов, занимающих сравнительно небольшой объем.

- Прекрасная масштабируемость.

- Как следствие масштабируемости – независимость от разрешения устройства вывода монитора или принтера.

- Исключительные возможности по обработке изображений. Векторные изображения можно поворачивать, искажать, отображать зеркально, перекрашивать, делать полупрозрачными и т.д. Аналогичные манипуляции с растровыми изображениями потребуют много системных ресурсов.

Теперь перечислим недостатки векторной графики.

- Практически невозможно преобразовать растровое изображение в векторное без больших потерь его качества.

- Вывод векторной графики требует больше времени и больших системных ресурсов. В этом смысле растровая графика работает быстрее.

Векторная графика широко применяется в различных областях инженерной конструкторской деятельности и медицины:

- построение графиков;

- создание логотипов;

- создание новых символов и шрифтов;

- проектирование микросхем;

- проектирование строительных объектов;

- архитектура;

- ландшафтный дизайн;

- дизайн спортивного инвентаря;

- автоматизированное проектирование имплантантов;

- анатомические векторные модели (для исследований и хирургической практики).

## 1.4. Фрактальная графика

Вы, наверное, часто видели довольно хитроумные картины, на которых непонятно что изображено, но все равно необычность их форм завораживает и привлекает внимание. В качестве примера можно привести узоры на стекле после мороза или, необычные кляксы, оставленные на листе каплями чернил. Кажется, что эти картины невозможно описать математически, однако были разработаны алгоритмы их создания.

Подобные алгоритмы называют **фрактальными**. Фракталы не похожи на привычные нам фигуры, известные из геометрии, и строятся они по определенным алгоритмам, а эти алгоритмы с помощью компьютера можно изобразить на экране. Вообще, если все слегка упростить, то фракталы – это некое преобразование, многократно примененное к исходной фигуре.

**Фракталы** – самые красивые, очаровательные и странные порождения геометрии XX века. Это детища сухой математики, но они настолько эстетичны, что выставка фракталов, построенных с помощью компьютера, потрясла мир, а книга организаторов выставки Хайнца-Отто Пайтгена и Петера Рихтера «Красота фракталов» раскупалась как художественный альбом.

Фракталы упорядочены, но это не упорядоченность монотонного орнамента, повторяющего без изменений один и тот же мотив.

Фракталы геометричны, но это геометрия не идеалиста Платона, искавшего везде отполированные формы правильных многогранников, а геометрия реального мира – ветвистого, пористого, шершавого, зазубренного. Фракталы остро обнажили то, что не замечалось раньше, а именно то, что почти два тысячелетия человечество изучало правильные и гладкие кривые, считая евклидову геометрию геометрией природы.

Не зря человек, давший фракталам имя, – польский математик Мандельброт с французским именем Бенуа, проработавший большую часть жизни на американскую корпорацию IBM, – назвал свой главный труд «Фрактальная геометрия природы».

Козьма Прутков говорил: «Многие вещи нам непонятны не потому, что наши понятия слабы, а потому, что сии вещи не входят в круг наших понятий». Как только Мандельброт открыл понятие фрактала, оказалось, что мы буквально окружены ими. Фрактальны слитки металла и горные породы, фрактальны расположение ветвей, узоры листьев, капиллярная система растений; кровеносная, нервная, лимфатическая системы в организмах животных, фрактальны речные бассейны, поверхность облаков, линии морских побережий, горный рельеф...

Определение фрактала, данное Мандельбротом, звучит так: **«Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому»**. Перефразируя это определение, можно сказать, что в простейшем случае небольшая часть фрактала содержит информацию обо всем фрактале. Например, снежинка несет информацию о снежном сугробе, а горный камень имеет те же самые очертания, что и горный хребет.

Но на самом деле этот термин имеет гораздо более широкий смысл. Фрактал – объект, обладающий бесконечной сложностью, позволяющий рассмотреть столько же своих деталей вблизи, как и издалека. Земля – классический пример фрактального объекта. Из космоса она выглядит как шар. Если приближаться к ней, мы обнаружим океаны, континенты, побережья и цепи гор. Будем рассматривать горы ближе – станут видны еще более мелкие детали: кусочек земли на поверхности горы в своем масштабе столь же сложный и неровный, как сама гора. И даже еще более сильное увеличение покажет крошечные частички грунта, каждая из которых сама является фрактальным объектом.

Отсюда основной рецепт построения фракталов: возьми простой мотив и повторяй его, постоянно уменьшая размеры. В конце концов, выйдет структура, воспроизводящая этот мотив во всех масштабах, – бесконечная лестница вглубь.

Так же как в векторной и трёхмерной графике, создание фрактальных изображений математически вычисляемо. Главное отличие от первых двух видов графики в том, что фрактальное изображение строится по уравнению или системе уравнений, – ничего кроме формулы в памяти компьютера для выполнения всех вычислений хранить не нужно, – и такая компактность математического аппарата позволила использовать эту идею в компьютерной графике. Просто изменяя коэффициенты уравнения, можно с лёгкостью получить совершенно иное фрактальное изображение – при помощи нескольких математических коэффициентов задаются поверхности и линии очень сложной формы, что позволяет реализовать такие приёмы композиции, как горизонталь и вертикаль, симметрию и асимметрию, диагональные направления и многое другое.

В настоящее время возрастает интерес к применению методов фрактальной геометрии в различных областях науки и техники – физике, астрономии, биологии, медицине, социологии, экономике, информационных и телекоммуникационных технологиях и др. Так, в физике фракталы применяются при изучении поглощения или рассеяния излучения в пористых средах, при анализе процессов усталостного разрушения материалов, для характеристики сильно развитой турбулентности, при моделировании свойств поверхности твёрдых тел, для описания диэлектрического пробоя и молнии и пр. В биологии фракталы применяются, например, для моделирования процессов, происходящих во внутренних органах (процессов кровообращения, биения сердца и др.), моделирования популяций. Фракталы используются и для моделирования поведения хаотических динамических систем, таких, как поведение погоды, описан способ моделирования исторических процессов и явлений средствами фрактальной геометрии. В экономике фракталы применяют при анализе колебаний курса валют.

Фракталы не обошли и музыку. Идея о том, что хаос, связанный с фрактальными траекториями, – это порядок, но порядок очень сложный, легла в основу музыкального редактора FractMus. Что такое музыка? Это нечто среднее между абсолютно беспорядочным шумом и абсолютно упорядоченной монотонной нотой, это свобода звуков, подчиненная строгим законам гармонии, и наоборот – это комбинирование внутренне упорядоченных звуковых конструкций по прихоти композитора. Но фрактальные траектории ведут себя очень похоже. Программа FractMus генерирует фрактальную траекторию по одному из известных алгоритмов и полученную последовательность чисел по простым правилам переводит в последовательности нот.

Конечно, наиболее широко фракталы применяются в области компьютерной графики, например, для получения изображений природных объектов (растений, облаков, гор, береговых линий, ландшафтов, поверхности морей, карт и пр.) при создании компьютерных игр. Другое перспективное направление – фрактальное сжатие изображений, позволяющее добиться сверхвысокой степени сжатия (по некоторым данным – до 2000 раз) с малыми потерями качества.

Фракталы можно разделить на два класса. Один класс представлен «рукотворными» фракталами, другой класс представлен природными фрактальными структурами. К классу «рукотворных» фракталов относятся геометрические, алгебраические и стохастические фракталы.

**Геометрические фракталы.** Фракталы этого класса самые наглядные. В двухмерном случае их получают с помощью некоторой ломаной (или поверхности в трехмерном случае), называемой **генератором**. За один шаг алгоритма каждый из отрезков, составляющих ломаную, заменяется на ломаную-генератор, в соответствующем масштабе. В результате бесконечного повторения этой процедуры, получается геометрический фрактал.

Примерами геометрических фракталов являются: кривые Гильберта (рис. 1.3) и снежинка Коха (рис. 1.4).

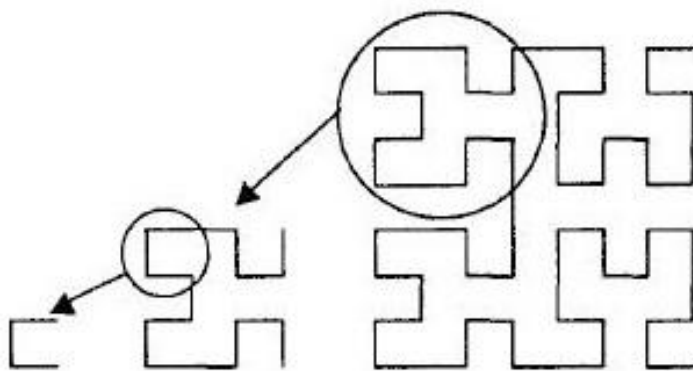


Рис. 1.3. Кривые Гильберта

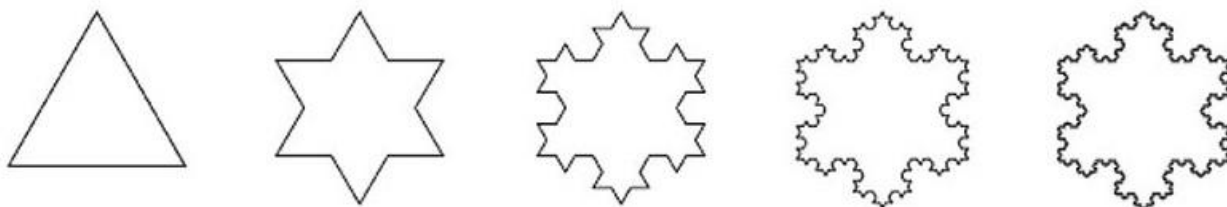


Рис. 1.4. Снежинка Коха

В 1915 году польский математик Вацлав Серпинский придумал интересный объект, известный как решето Серпинского. Этот треугольник один из самых ранних известных примеров фракталов. Существует несколько способов построения этого фрактала. Один из них представляет следующий процесс. Берётся сплошной равносторонний треугольник, на первом шаге из центра удаляется перевернутый треугольник. На втором шаге удаляется три перевернутых треугольника из трёх оставшихся треугольников. Продолжая этот процесс, на  $n$ -ом шаге удаляем  $3^{n-1}$  перевернутых треугольников из центров  $3^{n-1}$  оставшихся треугольников. Конца этому процессу не будет, и в треугольнике не останется живого места, но и на части он не распадется – получится объект, состоящий из одних только дырок. Это и есть треугольник Серпинского (рис. 1.5). Треугольник Серпинского также называют салфеткой Серпинского.



Рис. 1.5. Трегольник Серпинского

**Алгебраические фракталы** – это самая крупная группа фракталов. Классический пример алгебраических фракталов – множество Мандельброта, описанное французским математиком Пьером Фату еще в 1905 году. Однако впервые оно было построено Бенуа Мандельбротом в 1980 г.

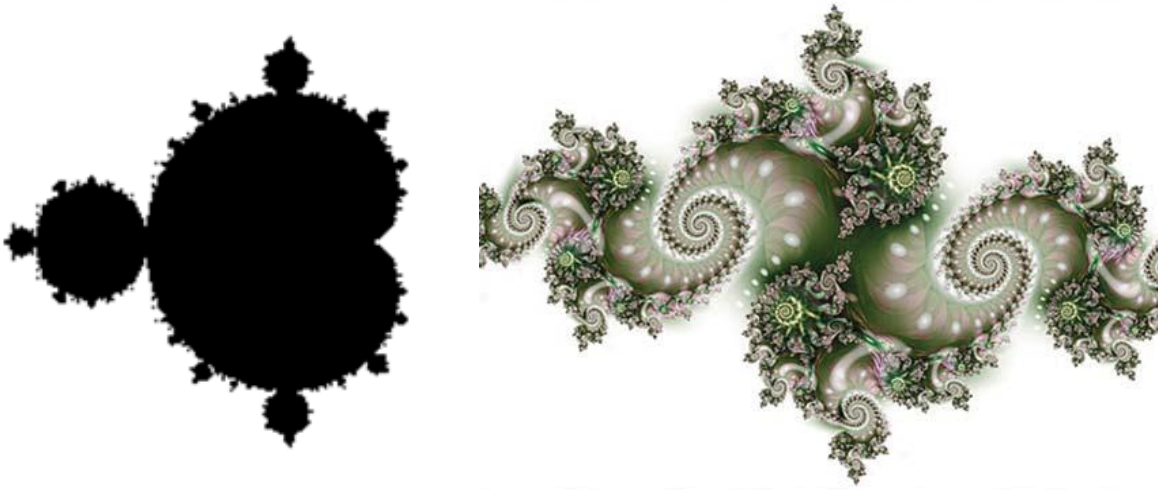


Рис. 1.6. Множество Мандельброта

Алгебраические фракталы получают с помощью нелинейных процессов в  $n$ -мерных пространствах. Наиболее изучены двухмерные процессы. Интерпретируя нелинейный итерационный процесс как дискретную динамическую систему, можно пользоваться терминологией теории этих систем: фазовый портрет, установившийся процесс, аттрактор и т.д.

Известно, что нелинейные динамические системы обладают несколькими устойчивыми состояниями. То состояние, в котором оказалась динамическая система после некоторого числа итераций, зависит от ее начального состояния. Поэтому каждое устойчивое состояние (или, как говорят, аттрактор) обладает некоторой областью начальных состояний, из которых система обязательно попадет в рассматриваемые конечные состояния. Таким образом, фазовое пространство системы разбивается на области притяжения аттракторов. Если фазовым является двухмерное пространство, то окрашивая области притяжения различными цветами, можно получить цветовой фазовый портрет этой системы (итерационного процесса). Меняя алгоритм выбора цвета, можно получить сложные фрактальные картины с причудливыми многоцветными узора-



ми. Неожиданностью для математиков стала возможность с помощью примитивных алгоритмов порождать очень сложные нетривиальные структуры.

Результатирующее изображение – удивительно точная копия настоящего папоротника. Заметьте явное самоподобие в структуре папоротника: каждый листочек – уменьшенное изображение самого папоротника.

Чтобы описывать изображения таких объектов, как деревья, облака, горы (и рельеф вообще), листья и т. д. на языке фрактальной геометрии, порой нужно всего две-три строчки, по ним полностью генерируется готовый рисунок.

В настоящее время разработчики компьютерных игр и создатели всевозможных графических пакетов часто прибегают к таким способам, чтобы повысить реалистичность создаваемых ими миров, да и объем, занимаемый изображением или трехмерной моделью, когда они представлены с помощью нескольких формул, а не побитно, гораздо меньше. Прекрасным примером фрактала является сгенерированный компьютером лист папоротника (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Папоротник Барнсли



Рис. 1.8. Фрактальное дерево

**Стохастические фракталы.** Еще одним известным классом фракталов являются стохастические фракталы, которые получаются в том случае, если в процессе построения случайным образом менять какие-либо его параметры. При этом получаются объекты, очень похожие на природные – несимметричные деревья, изрезанные береговые линии и т.д. Именно двумерные стохастические фракталы используются при моделировании рельефа местности и поверхности моря.

Примерами стохастических фракталов являются траектория частицы, со-

вершающей броуновское движение, различные виды рандомизированных фракталов, то есть фракталов, полученных с помощью рекурсивной процедуры, в которую на каждом шаге введен случайный параметр.

На рис.1.8 в качестве примера стохастического фрактала показано построение фрактального дерева.

Сначала строится ствол дерева случайной длины, от него строятся несколько ветвей также случайной длины, при этом их толщина уменьшается. Затем от каждой из веток в зависимости от их длин может строиться еще несколько веток, и цикл повторяется. На каждом шаге проверяется длина ветки: если она меньше некоторой заранее определенной величины, то вместо веток рисуется лист, и для этой ветки итерационный процесс прекращается.

## ГЛАВА 2. СВЕТ И ЦВЕТ

### 2.1. Немного философии

Жизнь – в отличие от простого существования – от начала до конца представляет собой неустанный процесс приема, обработки и оценки информации, получаемой из окружающей среды, а затем выбора: немедленно действовать на основе этой информации, или пренебречь ею, или, наконец, отложить ее в запас для будущего использования. Центром, обрабатывающим информацию, служит головной мозг. Мозг человека – орган величиной с два сжатых кулака и весом от 1300 до 1400 г. Оба его полушария покрыты тонким слоем серого вещества, называемого корой головного мозга. Мозг изрезан бороздами и складками и внешне напоминает грецкий орех; площадь его поверхности достигает 1500 см<sup>2</sup>. Серое вещество содержит около 10 миллиардов нервных клеток или нейронов.

Организм человека состоит из множества клеток, и некоторые из них – сенсорные (или рецепторные) – специально предназначены для получения информации из окружающей среды и передачи ее в мозг. Когда эти клетки получают по нервным волокнам сенсорную информацию, в мозгу возникают ощущения и субъективные «образы» внешнего мира. Мозг, сам по себе, не может ни слышать, ни видеть, ни испытывать какие-либо другие ощущения. Существует восемь различных чувств, а именно: зрение, слух, обоняние, вкус, осязание, температурные ощущения, чувство положения и движения, ощущение боли. Источниками информации об окружающем мире, в которой так нуждается организм, служат раздражители (стимулы), имеющие физическую или химическую природу. Так, свет представляет собой электромагнитные волны, звук – волны сжатия и разрежения; запах и вкус возникают в результате химических воздействий, а остальные чувства (за исключением боли) связаны с физическими стимулами. Боль могут вызывать как физические, так и химические раздражители.

Наибольшую информацию об окружающем мире дает нам зрение. Неудивительно, что и исследованию самого зрения посвящено очень много работ.

Проблема зрительного восприятия в течение многих веков является предметом исследований многих ученых.

Величайший из материалистов древности Демокрит (460–370 гг. до н.э.) объяснял зрительное ощущение воздействием попадающих в глаз атомов, которые испускает светящееся тело. По-видимому, первое описание строения человеческого глаза дано в работах Галена (130–200 гг.). Это описание очень несовершенно, но в нем уже упоминается зрительный нерв, сетчатка, хрусталик. Примерно через девять столетий знаменитый арабский ученый Альхазен (XI в.) первым попытался осмыслить механизм формирования зрительного образа. До Альхазена считали, что зрительный образ возникает как-то сразу, целиком, как некий единый, не расчлененный на части процесс. Альхазен высказал гениальную догадку: каждой точке на видимой поверхности объекта должна соответствовать своя точка внутри глаза, и, следовательно, процесс формирования изображения объекта в глазу складывается из множества элементарных процессов формирования изображений отдельных точек объекта. Правда, Альхазен считал, что точки восприятия находятся не на сетчатке, а на передней поверхности хрусталика.

Великий итальянский художник и естествоиспытатель Леонардо да Винчи (1452–1519 гг.) «перенес» точки восприятия с поверхности хрусталика на сетчатку. Более того, подробно описывая камеру-обскуру, он прямо указал, что «то же самое происходит и внутри глаза». Известны рисунки, сделанные рукой Леонардо да Винчи, объясняющие строение глаза и построение изображений в нем.

Существенный вклад в физиологическую оптику внес И. Ньютон, заложивший основу для современных работ по цветовому зрению. Широко известны труды Г. Гельмгольца (XIX в.) по физиологии зрения. В середине прошлого века ему удалось с помощью специально изготовленного зеркала с отверстием увидеть через темный зрачок глазное дно. Это было гениальным открытием, изменившим коренным образом представление о теории зрения, позволившим заглянуть в новый мир и увидеть «часть мозга, выдвинутого на периферию».

Особенно возрос интерес к проблеме зрения в двадцатом веке. Это связано с развитием телевидения, медицинской и атмосферной оптики, светотехники, аэрофотосъемки, тепловидения, электронно-вычислительной техники и др. Сформировалась наука, изучающая глаз и его работу, – физиологическая оптика.

На вопрос: «**Что такое цвет?**» – чаще всего отвечают: «**Цвет – это длина волны**», «**Цвет – это свойство поверхности**», «**Цвет – это спектральный состав электромагнитного излучения**». Ответы эти неточны или, как минимум, неполны.

Рассмотрим эти ответы более подробно.

▪ **«Цвет – это длина волны»** – но электромагнитное излучение с длиной волны, к примеру, 675 нм в зависимости от интенсивности воспринимается либо как красно-коричневый, либо как алый цвет.

▪ **«Цвет – это свойство поверхности»** – но серые стены домов, освещенные закатным солнцем, кажутся нам оранжевыми.

▪ **«Цвет – это спектральный состав электромагнитного излучения»** – но электромагнитное излучение различного спектрального состава может восприниматься как один и тот же цвет.

Более того, когда мы в полной темноте ударимся о дверной косяк, в нашем сознании появится цветное изображение без всякого электромагнитного излучения. Во сне или в воспоминаниях также возникают самые настоящие цветовые ощущения.

Итак, ключевыми словами в исследовании данного вопроса являются: «восприниматься», «казаться», «выглядеть», «сознание», «ощущение». То есть никакого «цвета» не существует, если нет «сознания», если некому испытывать «ощущения». Исходя из этого, дадим такое определение цвета:

**Цвет – это ощущение, которое возникает в сознании человека при воздействии на его зрительный аппарат электромагнитного излучения с длиной волны в диапазоне от 380 до 760 нм. Эти ощущения могут быть вызваны и другими причинами: болезнь, удар, мысленная ассоциация, галлюцинации, и др.**

Таким образом, цвет – это, прежде всего, ощущение. «Цвет» не существует без наблюдателя. Цветовые ощущения могут существовать без объекта, но не могут существовать без субъекта. В этой главе мы будем рассматривать, разумеется, ощущения, вызываемые только электромагнитным излучением видимой части спектра – светом.

Способность к цветоощущению возникла в процессе эволюции как способ получения сведений об окружающем мире и способ ориентирования в нем. Каждый человек воспринимает цвета индивидуально, отлично от других людей. Однако у большей части людей цветовые ощущения очень схожи.

Физической основой цветовосприятия является наличие специфических светочувствительных клеток в сетчатке глаза (палочек и колбочек) с максимумами спектральной чувствительности в трех разных спектральных участках: красном, зелёном и синем. Огромную роль в цветовосприятии играет переработка сигнала, поступающего на сетчатку глаза, в коре головного мозга. Мозг извлекает информацию об окружающем мире с КПД, недостижимым даже для самых современных компьютеров. Суть этих процессов, несмотря на наличие большого количества разнообразных теорий, непонятна, а сколько-нибудь серьезные, инструментальные измерения в коре головного мозга невозможны. Поэтому к человеческому цветовосприятию стоит относиться как к «черному ящику»: на входе имеем свет определенного спектрального состава, на выходе – некое цветовое ощущение.

По мере социализации у человека росла потребность в передаче знаний и эмоций: на скальные рисунки, выполненные природной охрой и углем, несли различную информацию, необходимую для эффективной охоты, а заодно выражали эмоции охотников. Позднее живопись стала нести религиозные знания и раскрывать эстетические переживания людей, а жизнь современного техноло-

гического общества немыслима без телевидения, цветной фотографии и полиграфии. Таким образом, еще в самом начале своего существования homo sapiens столкнулся с необходимостью **воспроизведения и повторения цветовых ощущений**, и эта проблема остается и по сей день.

## 2.2. Устройство глаза и его работа

Наши глаза дают нам возможность воспринимать размеры, форму, фактуру, блеск, прозрачность, мерцание и цвет объектов. Один из разработчиков фотоэлектрических колориметров однажды сказал, что человеческий глаз – слишком совершенная система, чтобы пытаться создать достаточно недорогой прибор, способный быть сравнимым с ним. Он оснащен термостатической системой регулирования, поддерживающей глаз при определенной температуре, с точностью не меньшей 1°C. Он снабжен устройством (веками), которые очищают роговую оболочку глаза несколько раз в минуту. Его фоторецепторы имеют надлежащую спектральную чувствительность. И все это оборудование стандартно и досталось большинству из нас без всяких дополнительных расходов

Нормально функционирующий глаз выполняет удивительно разнообразную работу и прекрасно с ней справляется. Глаз отыскивает интересующие нас объекты, фокусирует изображение объекта на светочувствительном слое (сетчатке), защищает это изображение от рассеянного света, не несущего информации об объекте, преобразует сформированное таким образом оптическое изображение в совокупность нервных импульсов и передает закодированное в этих импульсах оптическое изображение в мозг по специальному каналу связи (зрительному нерву).

На рис. 2.1 схематически показано устройство глаза.

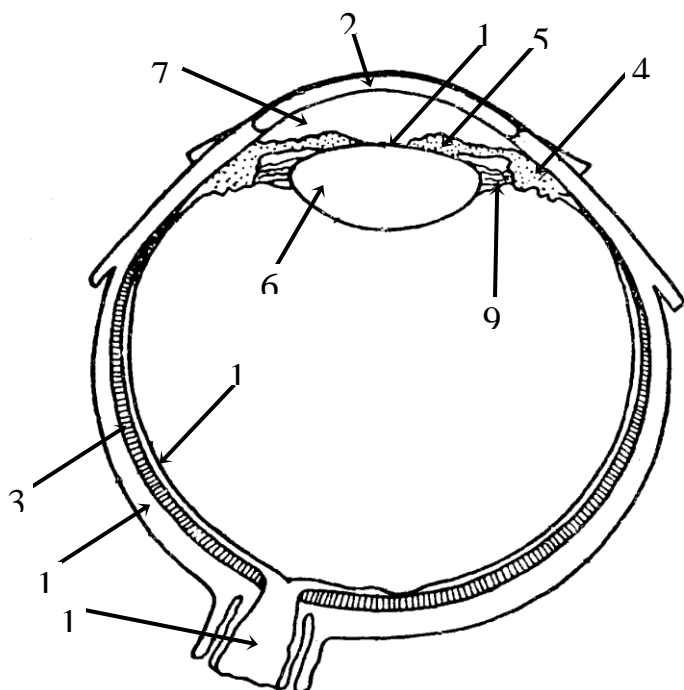


Рис. 2.1. Схема строения глаза

1 – склера; 2 – роговица; 3 – сосудистая оболочка; 4 – ресничное тело; 5 – радужная оболочка; 6 – хрусталик; 7 – передняя камера; 8 – стекловидное тело; 9 – цинновы связки; 10 – сетчатка; 11 – зрительный нерв; 12 – зрачок

Глаз представляет собой шарообразное тело, образованное несколькими оболочками. Внешняя, называемая белковой оболочкой или склерой 1, состоит из сухожилий, непрозрачна и выполняет защитную роль. Спереди она переходит в прозрачную и более выпуклую оболочку 2 – роговую. Под склерой находится сосудистая оболочка 3, в которой заключены кровеносные сосуды, питающие глаз. К ней по внутренней стороне примыкает пигментный слой клеток, которые поглощают рассеянный свет. Пигментный слой предохраняет оптическое изображение, создаваемое глазной линзой – хрусталиком 6, от чрезмерного искажения рассеянным светом. Сосудистая оболочка спереди переходит в ресничное тело 4, а затем – в радужную оболочку (радужку) 5, содержащую пигментные клетки. Пространство между хрусталиком и роговой оболочкой (передняя камера 7) заполнено так называемой водянистой влагой. Она преимущественно состоит из воды (99%), в которой растворены соли и белки. За хрусталиком находится стекловидное тело 8, также состоящее главным образом из воды.

### 2.2.1. Фокусирующие элементы

В отличие от общепринятого представления, основная функция фокусирования света в виде изображения на задней поверхности человеческого глаза выполняется не хрусталиком глаза, а роговицей – криволинейным передним слоем глаза. Хрусталик глаза выполняет лишь незначительное фокусирование, благодаря мускулам, которые удерживают его на месте и регулируют его форму.

**Роговица.** Роговица представляет собой легко проницаемое для световых лучей продолжение белой склеротической оболочки глаза (белка глаза). Передняя ее часть очень близка по форме к участку сферы, а ее внешняя поверхность поддерживается с точки зрения оптики в хорошем состоянии, постоянно промываясь соленой водой, которая поступает через слезные протоки. Эта поверхность достаточно часто очищается при мигании век, которые уносят загрязненную пылью соленую воду, заменяя ее чистой. Если какой-либо посторонний предмет попадает на роговицу, его присутствие тотчас же обнаруживается нервными окончаниями в самой роговице и на внутренней поверхности век. Нервные окончания столь чувствительны, что обычно непроизвольно предпринимаются немедленные меры, удаляющие этот предмет и восстанавливающие таким образом нормальное оптическое состояние поверхности роговицы.

Если между роговицей и хрусталиком скапливается чрезмерно большое количество так называемой камерной влаги, роговица становится сильно выпуклой, и ее кривизна становится больше. При этом изображения наблюдаемых предметов фокусируются не на сетчатке, а перед нею (близорукость). Если же камерная жидкость создает слишком малое давление, поверхность роговицы становится плоской, в результате чего изображения фокусируются за сетчаткой (дальнозоркость) или не фокусируются вообще.

**Зрачок и радужная оболочка.** Зрачок представляет собой отверстие

(ирисовую диафрагму) в радужной оболочке глаза, через которое проходит свет. Поскольку чрезвычайно малая доля света, попадающего в глаз, выходит из него, зрачок обычно выглядит черным. Радужная оболочка (радужка), окружающая зрачок, может быть черной, коричневой, зеленой или голубой в зависимости от содержания коричневого пигмента (меланина). Голубая окраска, соответствующая полному отсутствию меланина, обусловлена избирательным рассеянием света в тканях радужки. Механизм этого рассеяния аналогичен механизму, определяющему голубой цвет неба. Когда в радужке нет никакого цветного вещества (как, например, у белых кроликов), то она нам кажется красной от крови, заключенной в пронизывающих ее кровеносных сосудах. В этом случае глаза плохо защищены от света, они страдают светобоязнью (альбинизмом), но в темноте превосходят по остроте зрения глаза с темной окраской.

Диаметр зрачка в зависимости от уровня освещения меняется в пределах от 2 до 8 мм, регулируя тем самым количество света, попадающее в глаз. Явление приспособления глаза к яркости поля зрения называется **адаптацией**. Однако, как будет показано далее, основную роль в процессе адаптации играет не зрачок, а сетчатка.

Если какой-нибудь из двух глаз подвергается внезапному резкому облучению более ярким светом, зрачки обоих глаз автоматически сужаются. Это обусловлено сокращением круговых мышц, расположенных по внутреннему краю отверстия в радужке. Вследствие этого при ярком освещении используется лишь лучшая, центральная часть оптической системы глаза. В результате изображение на сетчатке становится более четким (сферическая аберрация резко уменьшается), а окрашенные полосы между темными и светлыми участками изображения (хроматическая аберрация) почти полностью исчезают. При полном солнечном освещении мы максимально используем оптические свойства наших глаз.

**Хрусталик.** Хрусталик удерживается на месте радиальными мышцами, стремящимися растянуть его, а также сфинктерной мышцей, расположенной вокруг основания радиальных мышц. Сфинктерная мышца снимает напряжение с хрусталика, представляющего собой полутвердое упругое тело, и позволяет ему вновь вернуться в исходное выпуклое состояние. Для того чтобы видеть близлежащие объекты с достаточно высокой резкостью, сфинктерная мышца должна сократиться, позволяя хрусталику принять естественную выпуклую форму. При рассматривании удаленных объектов сфинктерная мышца расслабляется и позволяет радиальным мышцам сделать поверхность хрусталика почти плоской. Этот процесс фокусировки оптической системы называется **аккомодацией**.

С возрастом вещество хрусталика постепенно теряет свою упругость, так что растягивающие радиальные мышцы на него не действуют. Так приходит время, когда нам для работы необходимы очки. Кроме того, с возрастом хрусталик желтеет, а иногда и столь сильно изменяется, что совершенно теряет свою прозрачность – наступает катаракта. Ее появление может быть вызвано и продолжительным облучением инфракрасными излучениями. По мере того

как хрусталик мутнеет, все предметы в поле зрения воспринимаются как сквозь туман, и так до тех пор, пока глаз не перестает различать какие бы то ни было детали, а опознает предметы лишь по их цвету. В этом случае требуется замена хрусталика путем сложной хирургической операции.

Кроме фокусировки изображения хрусталик выполняет еще одну важную функцию – он действует подобно фильтру ультрафиолетового излучения, защищая сетчатку от повреждения высокоэнергетическим ультрафиолетовым излучением. Поэтому если сетчатка и способна воспринимать свет в фиолетовом диапазоне (а некоторые эксперименты показывают, что она способна на это), то отчасти из-за хрусталика глаза мы не можем видеть в ультрафиолетовом диапазоне, в отличие от систем зрения других живых существ и устройств, в том числе пчел, птиц, сканеров и цифровых камер.

**Стекловидное тело.** Стекловидное тело представляет собой вязкую жидкость, заполняющую внутренний объем глаза. Оно поддерживает почти постоянным расстояние между хрусталиком и сетчаткой. Его оптические свойства далеки от совершенства: обычно в нем свободно плавают пеплообразные и нитеобразные частицы ткани, частично собирающиеся вблизи сетчатки. Эти частицы ухудшают качество изображения на сетчатке, особенно те из них, которые располагаются близ нее. Они отбрасывают тени, которые можно увидеть при рассматривании любой яркой и однородно окрашенной поверхности. Как правило, эти тени имеют вид медленно перемещающихся почти прозрачных полосок и бусинок, переплетенных змеек и т. д. Вдобавок к этим довольно большим кусочкам плавающей светорассеивающей ткани стекловидное тело содержит и мельчайшие рассеивающие свет частицы. Поэтому его оптические свойства напоминают свойства воздуха, в котором взвешены пылевые и образующие туман мелкие водяные частицы. Несмотря на все эти несовершенства, оптическая система глаза может формировать очень четкое изображение, определяемое свойствами светочувствительного слоя глаза, т.е. его сетчатки.

### 2.2.2. Свето- и цветочувствительные элементы

Светочувствительная часть глаза представляет собой мозаику реагирующих на свет клеток (фоторецепторов), расположенных на сетчатке. Сетчатка глаза содержит два типа светочувствительных рецепторов, занимающих область с раствором около  $170^\circ$  относительно зрительной оси: 120...130 млн. палочек (длинные и тонкие рецепторы ночного зрения), 6.5...7,0 млн. колбочек (короткие и толстые рецепторы дневного зрения). Прежде чем попасть на сетчатку, свет должен вначале пройти слой нервной ткани и слой кровеносных сосудов. Такое расположение светочувствительных элементов с точки зрения здравого смысла не является оптимальным. Любой разработчик телевизионной камеры позаботился бы о монтаже соединительных проводов так, чтобы не мешать свету, падающему на фотоэлементы. Сетчатка построена по другому принципу и причины для такого обратного устройства сетчатки не полностью понятны.



Палочки и колбочки плотно примыкают друг к другу удлинёнными сторонами. Размеры их очень малы: длина палочек 0,06 мм, диаметр 0,002 мм, длина и диаметр колбочек соответственно 0,035 и 0,006 мм. Плотность размещения палочек и колбочек на различных участках сетчатки составляет от 20000 до 200000 на 1 мм<sup>2</sup>. При этом колбочки преобладают в центре сетчатки, палочки – на периферии. В центре сетчатки находится так называемое желтое пятно овальной формы (длина 2 мм, ширина 0,8 мм). В этом месте находятся почти одни колбочки. «Желтое пятно» является участком сетчатки, обеспечивающим наиболее отчетливое резкое зрение.

Палочки и колбочки различаются между собой содержащимися в них светочувствительными веществами. Вещество палочек – родопсин (зрительный пурпур). Максимальное поглощение родопсина соответствует длине волны примерно 510 нм (зеленый свет), т.е., палочки имеют максимальную чувствительность к излучению с  $\lambda = 510$  нм. Светочувствительное вещество колбочек (йодопсин) бывает трех типов, каждое из которых имеет максимальное поглощение в различных зонах спектра.

Под действием света молекулы светочувствительных веществ диссоциируют (распадаются) на положительно и отрицательно заряженные частицы. Когда концентрация ионов и, следовательно, их суммарный электрический заряд достигают определенной величины, под действием заряда в нервном волокне возникает импульс тока, который направляется в мозг.

Реакции светового распада родопсина и йодопсина обратимы, т.е. после того, как под действием света они были разложены на ионы и заряд ионов возбуждал в нерве импульс тока, эти вещества снова восстанавливаются в своей первоначальной чувствительной к свету форме. Энергию для восстановления дают продукты, которые поступают в глаз через разветвленную сеть мельчайших кровеносных сосудов. Таким образом, в глазу устанавливается непрерывный цикл разрушения и последующего восстановления светочувствительных веществ.

Если уровень количества света, действующих на глаз, не изменяется по времени, то между концентрациями веществ в состояниях распада и первоначальной светочувствительной формы устанавливается подвижное равновесие. Величина этой концентрации зависит от количества света, действующих на глаз в данный или предшествующий моменты, т.е. световая чувствительность глаза изменяется при различных уровнях действующего света.

Известно, что, если войти с яркого света в очень слабо освещенное помещение, сначала глаз ничего не различает. Постепенно способность глаза различать предметы восстанавливается. После длительного пребывания в темноте (около 1 ч) чувствительность глаза становится максимальной, так как концентрация светочувствительных веществ достигает своего верхнего предела. Если же после длительного пребывания в темноте выйти на свет, то в первый момент глаз будет находиться в состоянии ослепления: восстановление светочувствительных веществ отстает от их распада. Постепенно глаз приспособливается к уровню освещения и начинает работать нормально.

Напомним, что свойство глаза приспособляться к уровню количества действующего света, которое выражается изменением его световой чувствительности, называется **адаптацией**.

**Палочки – ночное зрение.** Палочки могут реагировать на самое малое количество света. Они ответственны за нашу способность видеть при лунном свете, свете звездного неба и даже в тех случаях, когда это звездное небо скрыто облаками. На рис. 2.2 пунктирная кривая отображает зависимость чувствительности палочек от длины волны. Палочки обеспечивают только ахроматическое, или нейтральное в цветовом отношении восприятие в виде белого, серого и черного. Более того, каждая палочка не имеет непосредственной связи с мозгом. Они объединяются в группы. Подобное устройство объясняет высокую чувствительность палочкового зрения, но препятствует различению с его помощью мельчайших деталей. Эти факты поясняют общую бесцветность и нечеткость ночного зрения и справедливость пословицы: «Ночью все кошки серы».

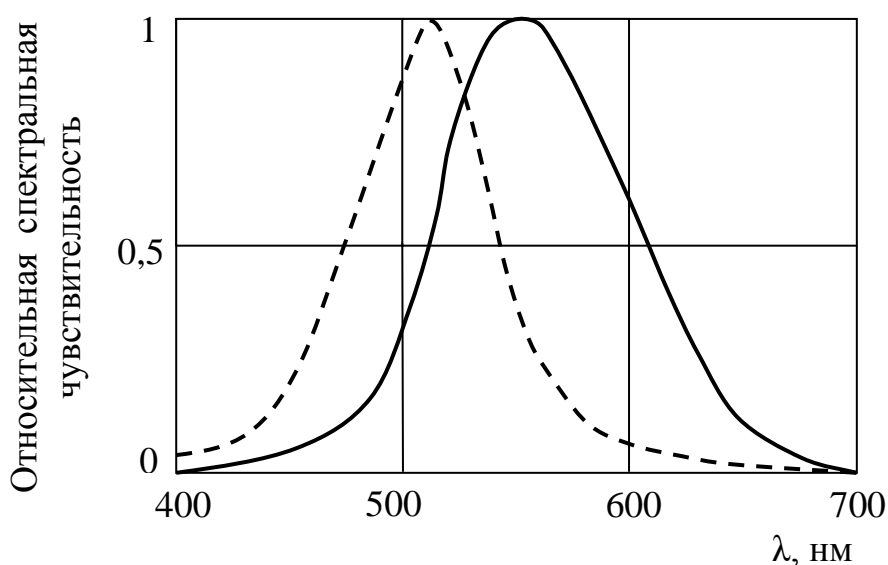


Рис. 2.2. Относительная спектральная чувствительность палочек и колбочек

**Колбочки – дневное зрение.** Реакция колбочек более сложна, чем у палочек. Вместо простого различения света и темноты, а также восприятия ряда различных серых цветов, колбочки обеспечивают восприятие хроматических цветов. Другими словами, с помощью колбочкового зрения мы можем видеть различные цвета. Спектральное распределение чувствительности колбочкового зрения по длинам волн показано на рис. 2.2 сплошной линией. Эту кривую принято называть кривой видности, а также кривой спектральной чувствительности глаза. Палочковое зрение по сравнению с колбочковым гораздо более чувствительно к излучениям коротковолнового участка видимого спектра, а чувствительность к излучениям длинноволнового (красного) участка спектра примерно такая же, как у колбочек. Однако колбочки продолжают реагировать на малые увеличения интенсивности падающего света (формирующего изображение на сетчатке) даже тогда, когда плотность его потока на какое-то время

становится столь велика, что палочки уже не реагируют на них – они насыщены. Иначе говоря, все палочки в таком случае дают максимально возможное количество нервных сигналов. Таким образом, наше дневное зрение обеспечивается почти полностью колбочками. Сдвиг чувствительности к воздействию света по оси длин волн от колбочкового (дневного) зрения к палочковому (или ночному) зрению носит наименование эффекта Пуркинье (правильнее Пуркине). Этот «сдвиг Пуркинье», названный так в честь впервые открывшего его в 1823 г. чешского ученого Пуркине, обуславливает тот факт, что объект, красный при дневном свете, воспринимается нами как черный при ночном или сумеречном освещении, в то время как объект, воспринимаемый днем как голубой, ночью кажется светло-серым.

Наличие у человека двух типов светочувствительных приемников (палочек и колбочек) представляет собой большое преимущество. Не всем животным так повезло. Куры, например, имеют только колбочки и поэтому должны ложиться спать с заходом солнца. У сов же есть только палочки; они вынуждены весь день шурить глаза.

**Палочки и колбочки – сумеречное зрение.** В сумеречном зрении участвуют и палочки, и колбочки. Сумерки – это диапазон освещения, который простирается от освещения, создаваемого излучением от неба при солнце, опустившемся больше, чем на несколько градусов за горизонт, до освещения, которое дает поднявшаяся высоко в ясное небо луна в половинной фазе. К сумеречному зрению относится и видение в слабо освещенном (например, свечами) помещении. Поскольку в таких условиях относительное участие палочкового и колбочкового зрений в общем зрительном восприятии непрерывно изменяется, суждения о цвете отличаются крайней ненадежностью. Тем не менее, имеется ряд продуктов, цветовую оценку которых необходимо производить именно с помощью подобного смешанного зрения, так как они и предназначены для потребления нами именно при тусклом свете. Примером может служить фосфоресцирующая краска, используемая в дорожных знаках для условий затемнения.

### 2.2.3. Работа мозга

Информация от рецепторов передается в мозг по зрительному нерву, содержащему около 800 тысяч волокон. Кроме такой прямой передачи возбуждения от сетчатки к мозговым центрам существует сложная обратная связь для управления, например, движениями глазных яблок.

Где-то в сетчатке происходит сложная переработка информации – логарифмирование плотности тока и преобразование логарифма в частоту импульсов. Далее информация о яркости, кодированная частотой импульсов, по волокну зрительного нерва передается в мозг. Однако по нерву проходит не просто ток, а сложный процесс возбуждения, некоторое сочетание электрических и химических явлений. Отличие от электрического тока подчеркивается тем, что скорость распространения сигнала по нерву очень мала. Она лежит в пределах

от 20 до 70 м/с.

Поступающая от трех типов колбочек информация преобразуется в импульсы и до передачи в мозг кодируется в сетчатке. Эта закодированная информация посылается в виде сигнала о яркости от всех трех типов колбочек, а также в виде разностных сигналов каждого двух цветов (рис. 2.3). Сюда подключается также и второй яркостный канал, берущий начало, вероятно, от независимой палочковой системы.

Первый разностный цветовой сигнал представляет собой сигнал К-З. Он формируется красными и зелеными колбочками. Второй сигнал представляет собой сигнал Ж-С, который получается аналогичным образом, за исключением того, что информация о желтом цвете получается при сложении входных сигналов из К+З колбочек.

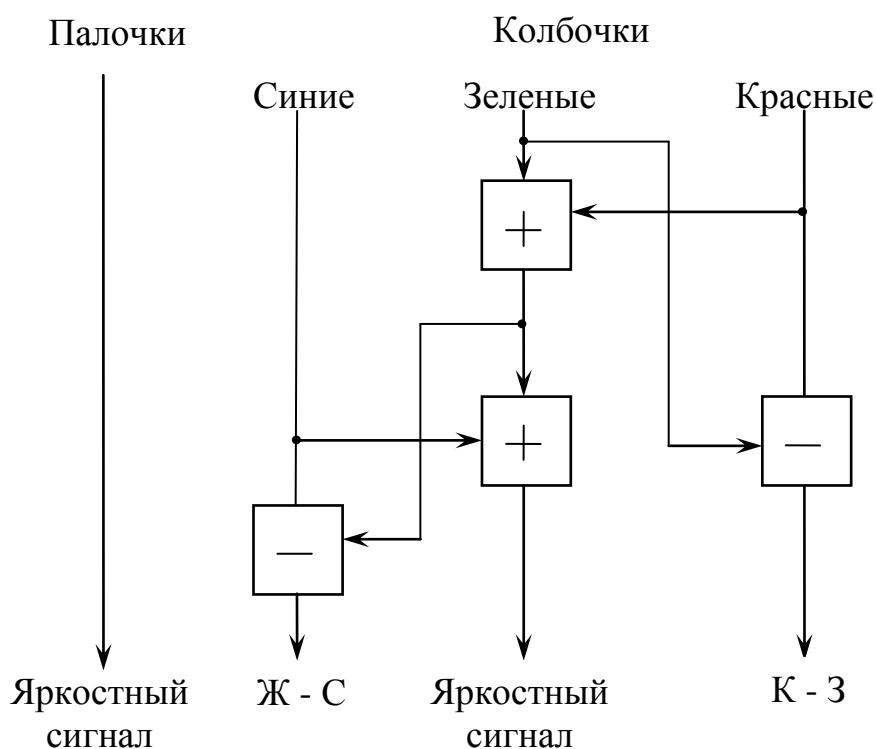


Рис. 2.3. Модель зрительной системы

Мозг не раз уподобляли гигантскому центру, собирающему и перерабатывающему большой объем информации. Попытки разобраться в миллионах соединений этого невероятно сложного устройства были в значительной степени успешными. Мы знаем, например, что зрительный нерв одного глаза соединяется со зрительным нервом другого (перекрест зрительных нервов) таким образом, что нервные волокна правой половины одной сетчатки идут рядом с волокнами от правой половины другой сетчатки и после прохождения ретрансляционной станции (коленчатого тела) в среднем мозгу заканчивают свой путь почти в одном и том же месте в затылочной доле мозга, в задней его части. Возбуждения сетчаток проецируются в этой доле, причем часть их, соответствующая центру глаза (желтому пятну), в большой степени усилена по сравнению с возбуждениями других участков сетчатки. На ретрансляционной станции

имеется возможность для боковых соединений, да и сама затылочная часть имеет множество соединений со всеми другими участками мозга.

## 2.3. Зрительное восприятие светового излучения

### 2.3.1. Общие сведения

Напомним, что основное различие между палочками и колбочками состоит в том, что все палочки по своей спектральной чувствительности однотипны, в то время как колбочки делятся на три группы. Колбочки каждой из трех групп имеют наибольшие чувствительности в длинно-, средне- и коротковолновой зонах спектра (рис. 2.4). При действии света преимущественно на колбочки одного типа возникает ощущение определенного цвета. Для колбочек, имеющих наибольшие чувствительности в длинно-, средне- и коротковолновой зонах спектра, это ощущения соответственно красного, зеленого и синего света. Поэтому совокупности колбочек каждого типа называются красно-, зелено- и синечувствительными приемниками, или кратко КЗС-приемниками. Относительные спектральные чувствительности КЗС-приемников обычно обозначаются:  $K_\lambda$ ,  $Z_\lambda$ ,  $C_\lambda$ , а соответствующие кривые, показанные на рис. 2.4, называются кривыми основных возбуждений. Красный, зеленый и синий цвета, ощущения которых могут возникнуть при действии света на каждый из этих приемников в отдельности, называют основными физиологическими цветами. При одновременном действии излучения на два или все три КЗС-приемника возникают ощущения других цветов.

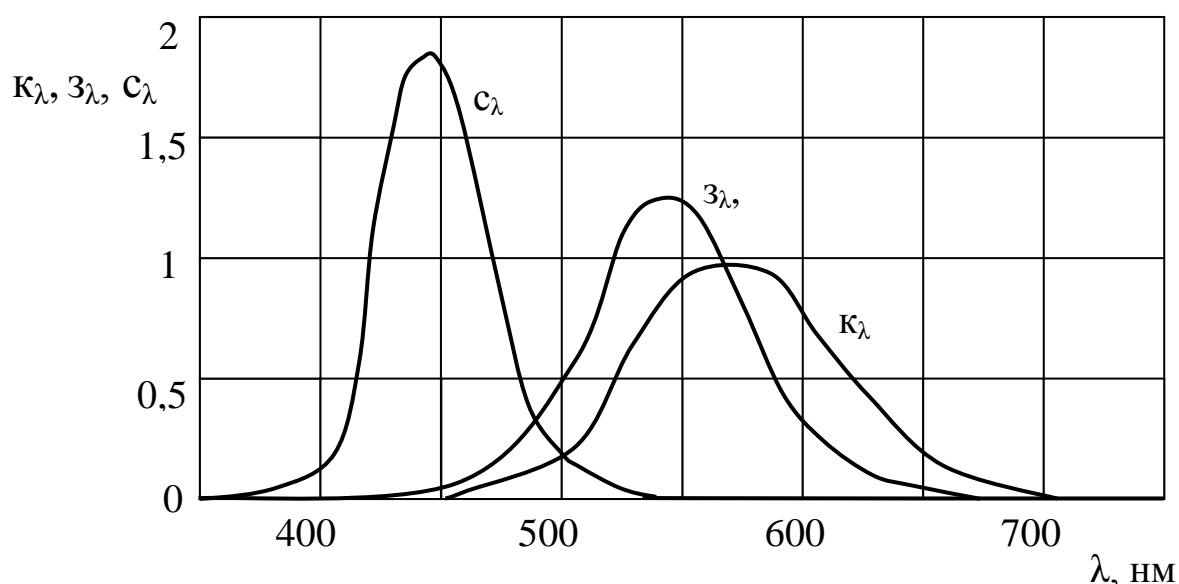


Рис. 2.4. Кривые спектральной чувствительности КЗС-приемников глаза – кривые основных возбуждений

Отсюда понятно, что цвет излучения зависит от его спектрального состава. Однако эта связь не является непосредственной. Вполне определенно о цвете можно судить только по величинам трех основных возбуждений. Поэтому связь между спектральным составом излучения и его цветом устанавливается путем пересчета спектрального состава в величины трех основных возбуждений. Такая связь имеет свои особенности. Например, многие очень различные по спектральному составу излучения имеют одинаковые величины трех основных возбуждений. Это значит, что различные по спектральным составам излучения могут иметь одинаковые цвета. Но если цвета различны, то излучения обязательно имеют разные спектральные составы.

Чтобы понять эти особенности цветового зрения, рассмотрим наиболее характерные соотношения между спектральными составами и их цветами.

Цвета однородных излучений представляют наибольший интерес, так как все многообразие излучений – это всевозможные комбинации однородных излучений. Природные излучения в большинстве своем имеют сложные спектральные составы. Цвета однородных излучений можно наблюдать при разложении излучений в спектр. Поэтому их часто называют цветами спектра, или спектральными цветами.

**Спектральные цвета.** В сплошном спектре постепенному изменению длины волны соответствует непрерывное изменение цвета. Однако деление спектра на участки по цветам обычно довольно грубое. Это объясняется не только бедностью словесного описания цветов, но и тем, что на некоторых участках спектра изменение цвета с изменением длины волны незначительно.

Одно из делений спектра на цветовые участки приведено в таблице 2.1. Выделение именно этих участков объясняется тем, что на их границах происходят наиболее заметные изменения цветов.

Таблица 2.1. Деление спектра на цветовые участки

Длины волн, определяющие границы участков $\lambda$ , нм	Цвета однородных излучений, преобладающие на данном участке
400...450	Фиолетовые
450...480	Синие
480...510	Голубые
510...550	Зеленые
550...575	Желто-зеленые
575...585	Желтые
585...620	Оранжевые
620...700	Красные

Наиболее заметные изменения цветов в спектре объясняются характером изменения спектральных чувствительностей КЗС-приемников. Переход фиолетовых цветов в синие при длине волны 450 нм связан с резким падением чувствительности С-приемника и заметным возрастанием чувствительностей З- и К-приемников, которые наблюдаются с увеличением длины волны после 450 нм. С увеличением длины волны от 480 нм преобладающими становятся чувстви-

тельности двух приемников – С и З. Поэтому здесь заметен переход синих цветов в голубые. Примерно после 500 нм чувствительность З-приемника начинает преобладать над двумя другими. Голубые цвета постепенно переходят в зеленые, различные оттенки которых от зелено-голубых до желто-зеленых занимают сравнительно большой участок спектра. После 550 нм чувствительность З-приемника заметно падает, а чувствительность К-приемника приближается к своему максимуму. Зеленые цвета переходят в желто-зеленые. При 570 нм чувствительности З- и К-приемников уравниваются – цвета становятся желтыми. Затем чувствительность К-приемника начинает постепенно уменьшаться. Но у З-приемника она падает значительно быстрее и после длины волны 585 нм чувствительность К-приемника становится преобладающей. Желтые цвета начинают переходить в оранжевые. Особенно заметным преобладание чувствительности К-приемника становится после 620 нм. Здесь оранжевые цвета переходят в красные, и эта цветность сохраняется до конца спектра.

### 2.3.2. Закон Вебера-Фехнера

В середине 19 века немецкий физик Вильгельм Эдуард Вебер ставил опыты для того, чтобы найти зависимость между величинами раздражения и ощущения. В частности, он определял ощущения тяжести, вызываемые различными грузами. В 1851 г. Вебер открыл закон, общий для всех органов чувств: величина раздражения (вес, яркость света, сила звука и др.) является мерой замечаемости его изменения. Поясним это сначала на примере с грузами. Допустим, мы поднимаем груз Р весом 200 г (вес является величиной раздражения). Потом, постепенно увеличивая вес груза и каждый раз поднимая его, мы обнаруживаем, что груз стал заметно тяжелее, когда вес его достиг 250 г, т.е. пороговая разность веса  $\Delta P_{\text{пор}}$  при уровне 200 г составляет 50 г. Относительное увеличение веса, которое показывает, на какую долю от первоначального веса он увеличился, равно:  $\Delta P_{\text{пор}}/P = (250-200)/200 = 0,25$ , т.е. груз весом 200 г должен увеличиться на 0,25 долю своей первоначальной величины, или на 25%, чтобы мы чувственно обнаружили это увеличение, как увеличение тяжести.

Возьмем другой вес, например, 10 кг. По закону Вебера теперь этот вес (величина раздражения) должен служить мерой замечаемости его изменения. Иными словами, увеличение тяжести будет обнаружено, когда вес увеличится на определенную долю исходной величины. В соответствии с законом Вебера эта величина уже установлена нами в предыдущем опыте и составляет 0,25, или 25%. Это значит, что, постепенно увеличивая груз, начиная с 10 кг и каждый раз поднимая его, мы чувственно обнаружим увеличение тяжести, когда вес достигнет 12,5 кг ( $\Delta P_{\text{пор}} = 2,5$  кг).

Таким образом, мерой чувственно воспринимаемых различий является не величина  $\Delta P_{\text{пор}}$ , которая все время изменяется в зависимости от уровня исходной величины, а относительная пороговая величина  $\Delta P_{\text{пор}}/P$ , которая постоянна.

Поскольку закон Вебера применим ко всем органам чувств, он применим и к зрению, где величиной раздражения является яркость В. Величина  $\Delta V_{\text{пор}}/V$  называется **относительным порогом яркостей**. Она показывает, на какую до-

лю заданной величины яркости  $V$  надо изменить ее, чтобы при этом произошло едва заметное изменение светлоты. Относительный порог яркостей удобно выражать в процентах. Допустим, что  $\Delta V_{\text{пор}}/V = 0,02$ , или 2%. Это значит, что для едва заметного различия яркости ее исходную величину надо изменить на 2%. Например, яркость 1 нит надо изменить на 0,02 нит, а яркость 100 нит – на 2 нит.

Немецкий физик и врач Густав Фехнер в 1858 г. вывел математическую формулу зависимости изменения ощущения яркости (именно его называют светлотой) от изменения величины яркости:

$$\Delta S = k \cdot \Delta \lg V,$$

где  $\Delta S$  – изменение ощущения;

$\Delta \lg V$  – изменение логарифма раздражения;

$k$  – коэффициент пропорциональности, показывающий каково соотношение между изменениями яркости, выраженными в величинах  $\lg V$ , и соответствующими изменениями ощущения, выраженными в порогах светлоты.

Из формулы следует, что одинаковые изменения логарифмов яркостей вызывают одинаковые изменения светлоты. Это и есть формулировка закона Вебера-Фехнера применительно к зрительному восприятию яркостей. Часто этот закон приводят в общей для всех органов чувств формулировке: **изменение ощущения прямо пропорционально изменению логарифма раздражения.**

### 2.3.3. Объективные и субъективные характеристики цвета

**Яркость и светлота.** Свойство зрительного ощущения, согласно которому предметы кажутся испускающими больше или меньше света, называется **светлотой**. На сетчатку попадают только определенные доли всей световой энергии, испускаемой предметами в окружающее пространство. Они выражаются величинами **яркостей**. Таким образом, интенсивность светового раздражения определяется величинами яркостей, а интенсивность светового ощущения – величинами светлот. Чем больше яркость, тем больше светлота, поэтому можно сказать, что **светлота есть мера ощущения яркости.**

В обыденной речи между понятиями яркости и светлоты часто нет отчетливого различия. Но при изучении зрительного восприятия света им придаются вполне определенные различные значения, которые отражают реально существующие различные явления. Яркость – объективная величина. Это значит, что ее можно измерить соответствующим прибором («яркомером»), который при одних и тех же яркостях, независимо от их величины и принадлежности, всегда будет давать одни и те же показания. Светлота – величина субъективная. Интенсивность светового ощущения, т.е. светлоту, непосредственно измерить каким-либо прибором нельзя. Это объясняется не техническими трудностями, а самой природой субъективных величин. Например, мы не можем измерить ощущение тяжести. Но вес и массу тел, вызывающих это ощущение, мы измеряем и выражаем числами. Другой пример: лист белой бумаги на солнечном свете летом имеет яркость порядка 30 000 нит, а при свете настольной лампы – порядка 10...30 нит. Однако никто не скажет, что один и тот же лист бумаги в



одном случае более светлый, чем в другом. В числе ряда особенностей зрительного восприятия здесь проявляется его способность отделять характеристику освещения от характеристики освещаемого предмета. Это явление относится к разряду психологических, связанных с высшей нервной деятельностью, в частности, с таким явлением, как память.

Из сказанного следует, что светлота не может быть непосредственно измерена и выражена абсолютными числами. Однако возможна количественная оценка, выражаемая словами: больше, меньше, равно, намного больше или меньше, едва различается. Причем такие выражения, как «равно» и «едва различается» имеют совершенно точное количественное значение. Эти выражения можно сопоставлять с соответствующими измеренными величинами яркостей и выражать градации световых ощущений относительными яркостями. Между раздражением и ощущением в таком количественном выражении существует определенная зависимость. Экспериментально доказано, что рост светлоты происходит медленнее роста яркости (в среднем тысячекратному изменению яркости соответствует лишь (3,5...8)-кратное увеличение светлоты) и контраст между двумя деталями определяется не отношением яркостей этих деталей, а разностью их светлот.

**Цветовой тон и доминирующая длина волны.** Цветовым тоном называют то характерное свойство, которое отличает данный цвет от белого и серого. Названия цветов: красный, голубой, зеленый, оранжевый и пр. – являются приблизительными обозначениями цветового тона. Допустимость применения цветового тона в качестве характеристики цветности любого излучения, (в том числе и излучений со сложным спектром) основана на экспериментально установленной возможности тождественного воспроизведения любого цвета смесью белого с однородным.

В соответствии с этим цветовой тон любого излучения численно принято характеризовать **доминирующей длиной волны**, т. е. длиной волны того однородного (спектрального) цвета, который, будучи смешан с белым в определенной пропорции, обеспечивает зрительное тождество цвета смеси с цветом исследуемого излучения. Эксперименты, проведенные рядом исследователей, показали, что глаз неодинаково чувствителен к изменению цветового тона по всему спектру. По полученным данным, пороговое изменение цветового тона колеблется в пределах от  $\Delta\lambda=1$  нм до  $\Delta\lambda=22$  нм, причем глаз наименее чувствителен к изменению цветового тона по краям спектра, особенно в длинноволновой его части.

**Насыщенность и чистота.** Насыщенность определяется степенью различия ощущения цветности заданного излучения от ощущения цветности белого. Опыт показывает, что насыщенность различных спектральных цветов неодинакова. Так, например, красный или синий спектральные цвета воспринимаются нами как цвета с высокой степенью насыщенности. Мы с уверенностью можем сказать, что в этих цветах нет примеси белого. По сравнению с этими цветами желтый спектральный цвет, в котором примесь белого также полностью отсутствует, кажется нам гораздо менее насыщенным.

Если к спектральному цвету добавить примесь белого, то насыщенность его

уменьшится. Уменьшение насыщенности для различных спектральных цветов происходит неравномерно: в то время как при некотором количестве белого в смеси со спектральным желтый цвет уже становится не отличимым от белого, синий и красный мы еще отличаем. Наиболее распространенным количественным критерием насыщенности является число порогов цветоразличения на участке изменения цветности от спектрального цвета до белого в условиях постоянства цветового тона и светлоты сравниваемых излучений. Насыщенность, выраженная числом порогов цветоразличения, как следует из экспериментов, резко снижается в желтой зоне спектра.

Степень выраженности цветового тона количественно можно представить отношением яркости спектрального в смеси  $B_\lambda$  к яркости смеси ( $B_\lambda + B_w$ ):

$$P = \frac{B_\lambda}{B_\lambda + B_w} .$$

Величина  $P$  называется **чистотой цвета**. Она количественно характеризует долю чистого спектрального в смеси его с белым при постоянной яркости смеси. Если  $B_\lambda=0$ , то  $P = 0$  (белый цвет), если  $B_w= 0$ , то  $P=1$  (чистый спектральный цвет), таким образом цветами, обладающими максимальной чистотой, являются цвета однородных излучений, а цветами с «нулевой» чистотой – белый, серый, черный. Степень выраженности цветового тона у этих последних цветов равна нулю, поэтому их называют ахроматическими, т. е. бесцветными.

Нетрудно видеть, что между чистотой цвета излучения и цветовой насыщенностью вызванного им ощущения, так же как между яркостью и светлотой или между доминирующей длиной волны и цветовым тоном, имеется качественное соответствие. Это соответствие заключается в том, что возрастание чистоты цвета сопровождается ростом насыщенности, увеличение яркости – повышением светлоты, а изменение доминирующей длины волны – изменением цветового тона.

**Итак, мы установили три объективные характеристики цвета: яркость, доминирующая длина волны и чистоту цвета, а также три субъективные характеристики: светлоту, цветовой тон и насыщенность цвета.**

#### 2.3.4. Яркостная и цветовая адаптация глаза

Известно, что глаз человека способен работать в очень широком диапазоне яркостей. Однако воспринимать весь этот диапазон одновременно глаз не может. В процессе зрения глаз приспособляется к преобладающему в поле зрения уровню яркости. Это явление объясняется зависимостью световой чувствительности глаза от уровня возбуждения его светочувствительных элементов. Максимальной световой чувствительностью глаз обладает после длительного пребывания в темноте. На свету чувствительность глаза понижается. Процесс приспособления зрительного органа человека к различным уровням яркости принято называть **яркостной адаптацией**.

Экспериментально доказано, что диапазон воспринимаемых яркостей при заданном уровне адаптации сильно ограничен. Все поверхности, имеющие яр-

кость меньше минимальной для данного диапазона, кажутся нам черными. Максимальная яркость создает ощущение белого. Если в поле зрения появится поверхность, яркость которой превышает максимальную для данного диапазона, то адаптация зрения изменится, и весь диапазон видения соответствующим образом сдвинется в сторону более высоких яркостей. При этом те поверхности, которые при более низком уровне адаптации казались нам серыми, будут восприниматься как черные.

Яркостная адаптация возникает в результате изменения яркости поля зрения, а, следовательно, и освещенности сетчатки в зоне изображения. Частными случаями яркостной адаптации являются **темновая** и **световая** адаптация. Темновая адаптация возникает при мгновенном уменьшении яркости поля зрения от некоторой величины до нулевого значения яркости адаптации. Световая – при увеличении яркости от нулевого ее значения до некоторой конечной величины. Длительность процессов световой и темновой адаптации различна. В то время как понижение чувствительности зрения (световая адаптация) происходит за время от долей секунды до нескольких секунд, процесс темновой адаптации длится 60...80 мин.

Если в течение 10...15 сек наблюдать лист белой бумаги, половина которого закрыта чем-нибудь черным, а затем черное снять, то закрытая до этого часть листа покажется светлее остальной его части. В этом случае принято говорить о **местной яркостной адаптации**. Явление местной яркостной адаптации можно объяснить тем, что при одновременном наблюдении деталей различной яркости, т. е. когда освещенности различных участков сетчатки в один и тот же момент времени оказываются различными, уровень возбуждения одних участков влияет на световую чувствительность других.

**Цветовая адаптация** возникает в результате изменения цветности поля зрения при неизменной его яркости. В то время как яркостная адаптация характеризуется несоответствием светлоты и яркости, для цветовой адаптации характерно несоответствие между цветностью излучения и ощущением этой цветности.

Явление цветовой адаптации объясняется изменением чувствительности глаза в результате изменения соотношения уровней возбуждения трех его приемников при воздействии на глаз излучения определенной цветности. Цвет, на который адаптируется глаз, как бы выцветает. Это происходит в результате понижения чувствительности к данному цвету того участка сетчатки, который на этот цвет адаптирован. Так, если после наблюдения зеленой фигуры в течение 15...20 сек перевести взгляд на ахроматический фон, то на фоне возникает последовательный образ (след от предшествующего раздражения) красноватого цвета. Если некоторое время смотреть сквозь желтые очки, то после того, как очки сняты, все окружающие предметы будут казаться синеватыми. Изменение цвета в результате предварительного действия на глаз других цветов называют **последовательным цветовым контрастом**. Экспериментально показано, что изменения ощущения цветности в процессе цветовой адаптации могут быть достаточно велики, причем характер изменения цветности не зависит от яркости наблюдаемого цвета.

В зависимости от наличия в поле зрения деталей различного цвета могут иметь место изменения визуальных контрастов как вследствие изменения светлоты, так и вследствие изменения цветности. Детали, рассматриваемые на темном фоне, светлеют, а на светлом – темнеют. Так, два кусочка одной и той же бумаги, положенные в одном случае на черный бархат, а в другом – на белую ткань, кажутся неодинаковыми по светлоте. Светлота детали под влиянием цвета фона меняется независимо от того, является ли фон и рассматриваемая на нем деталь ахроматическими или цветными.

Поместив кусочки одной и той же серой бумаги на фоны различного цвета, заметим, что эти кусочки будут казаться нам различными по цветовому тону. На красном фоне серое поле приобретет зеленоватый оттенок, на синем – желтоватый, а на зеленом – красноватый. Подобное явление наблюдается и в том случае, если на цветных фонах поместить кусочки бумаги цветов, отличных от цвета фона: желтое на красном покажется слегка зеленоватым, желтое на зеленом – оранжевым и т. д. Это явление, в отличие от последовательного контраста, носит название **одновременного цветового контраста**.

Известно, что один и тот же лист белой бумаги воспринимается «белым» в любых условиях освещения: при свече, при лампах накаливания и при дневном свете. Несмотря на то, что различия в спектральном составе «белого» света иногда превышают различия в спектральных кривых отражения большинства объектов, глаз почти всегда безошибочно определяет цвета объектов. Так, например, хотя поверхности, голубые в условиях дневного освещения, при освещении лампами накаливания оказываются зеленоватыми, человек продолжает считать их голубыми. Объясняется это тем, что в любых условиях освещения легче всего узнаются белые детали, так как они всегда самые светлые. Все же остальные цвета оцениваются глазом по отношению к ним. Иными словами, при наблюдении некоторой сцены, содержащей ряд цветных объектов, в определенных условиях освещения относительные чувствительности трех приемников глаза изменяются таким образом, что соотношение уровней возбуждения их на том участке сетчатки, где оказалось изображение самого светлого объекта сцены, становится равным соотношению уровней возбуждения, вызывающему ощущение белого. Это явление носит название явления **константности цвета**, или **поправки на освещение**. Этим явлением объясняется, например, и то, что зритель при просмотре кинофильмов (в затемненном помещении) не замечает цветной вуали. Более того, если в действительности в прозрачных местах кадра имеется голубая вуаль, то эти места, будучи самыми светлыми, воспринимаются зрителем как белые, вследствие чего все остальные детали кадра кажутся ему желтоватыми.

## 2.4. Характеристика источников света

Нетрудно заметить, что один и тот же образец цвета при разном освещении воспринимается человеческим глазом по-разному. Существует множество источников света, при которых может наблюдаться образец. Основным из них является дневной свет, который, в свою очередь, имеет различные фазы: пря-

мой солнечный свет, ясное небо, облачное небо и т. д. Помимо дневного света, существует большое количество искусственных источников освещения, например, лампы накаливания, люминесцентные лампы.

Поскольку источники света играют очень важную роль при определении цвета предметов и материалов, они были подробно изучены, и была разработана специальная система их классификации, в основе которой положено понятие **цветовой температуры**.

Как известно, если нагревать металлический предмет до высокой температуры, он начнет испускать световое излучение. Чем выше температура тела, тем более интенсивным будет это свечение. При этом в зависимости от температуры тела, будет также меняться и его цвет. Вначале оно будет темно-красным, затем красным, затем оранжевым, затем белым. Как оказывается, это явление свойственно не только металлу, но наблюдается при нагревании многих твердых тел с высокой температурой плавления. Именно на его использовании построены электрические лампы накаливания: по тонкой вольфрамовой проволоке пропускается электрический ток, в результате чего проволока нагревается и испускает свет. Причем цвет свечения предмета может быть довольно точно оценен в зависимости от температуры нагрева вольфрама: при нагревании до температуры в несколько сотен градусов он имеет красноватый оттенок, при нагревании до температуры  $1000^{\circ}\text{K}$  – оранжевый,  $2000^{\circ}\text{K}$  – желтый; свечение тела нагретого до нескольких тысяч градусов воспринимаются нами уже как белое. Свет солнца также обусловлен излучением, возникающим в результате реакций протекающих на его поверхности, нагретой до температуры около  $6500^{\circ}\text{K}$ . Поверхность некоторых звезд имеет температуру свыше  $10000^{\circ}\text{K}$  и поэтому цветность их излучения является голубой.

Так как характер излучения для большинства самосветящихся источников подчиняется одним и тем же законам, было предложено использовать температуру в качестве характеристики цветности излучения. Поскольку для разных тел в зависимости от их химического состава и физических свойств нагревание до заданной температуры дает разный спектр излучения, в качестве эталона цветовой температуры используется гипотетическое абсолютно черное тело, которое представляет собой излучатель, излучение которого зависит только от его температуры и не зависит ни от каких других его свойств.

Несмотря на существующие различия, все другие тела ведут себя при нагревании довольно схожим с идеальным черным телом образом и потому использование цветовой температуры как характеристики цветности излучения самосветящихся источников, как природных, так и искусственных, оказывается оправданным для большого числа случаев. Поскольку спектральное распределение излучения, и, соответственно его цветность, даваемые реальным телом редко совпадает со спектральным распределением и цветностью идеально черного тела при данной цветовой температуре, при характеристике излучения реально существующих тел используют понятие **коррелированной цветовой температуры**, что означает ту цветовую температуру идеального черного тела, при которой цветность его излучения совпадает с цветностью излучения данно-

го тела. При этом спектральный состав излучения и физическая температура этих тел, как правило, оказываются различными, что вполне логично следует из различия физических свойств реального и идеального черного тела.

Соответственно, сколько существует в мире источников света, эксплуатируемых при разных условиях, столько существует и спектральных распределений их излучения. Так фазы солнечного света и их коррелированные цветовые температуры меняется в очень широких пределах в зависимости от географического положения, времени суток и состояния атмосферы (табл. 2.2). Это касается и искусственных источников света, например, ламп накаливания, цветовая температура которых меняется в зависимости от их конструкции, рабочего напряжения и режима эксплуатации (табл. 2.3).

Таблица 2.2. Цветовые температуры, соответствующие различным условиям дневного освещения

Источник света	Цветовая температура, ° К
Утреннее или вечернее сумеречное небо	2000
Небо близ восходящего или заходящего Солнца	2300...2400
Солнце через час после восхода	3500
Солнце за час до захода	3500
Луна	4125
Утреннее или вечернее Солнце в ясном небе под углом больше 15° над линией горизонта	3600...5000
Солнце около полудня при легкой облачности	5100...5600
Свет летнего полуденного Солнца близ поверхности Земли при ясном голубом небе	5300...5700
Свет полуденного Солнца при легкой облачности	5700...5900
Летнее Солнце в зените в синем ясном небе	6000...6500
Дневной свет неба при легкой высокой облачности	6700...7000
Дневной свет неба при сильной облачности	7000...8500
Дневной свет неба при слабой облачности	12000...14000
Облачное небо в северной части	12000...25000
Ясное голубое небо	15000...27000

Однако, несмотря на существующие разнообразие различных источников света, большинство используемых в промышленности и технологии источников света могут быть стандартизированы. Такая стандартизация была предложена Международной комиссией по освещению (МКО), в соответствии с которой было выделено несколько так называемых стандартных колориметрических излучателей, которые были обозначены латинскими буквами **A**, **B**, **C**, **D**, **E** и **F**. В отличие от реальных источников света стандартные излучатели МКО описывают классы источников света в целом, основываясь на усредненных значениях их спектральных распределений. Подобная стандартизация показала свою достаточную эффективность, поскольку, как оказывается, несмотря на имеющиеся

различия, большинство реальных источников света могут быть довольно точно сопоставлены с соответствующими стандартными излучателями.

Таблица 2.3. Цветовая температура искусственных источников света

Источник света	Цветовая температура, ° К
Пламя спички	1700
Пламя стеариновой свечи	1850...2000
Керосиновая лампа	1900...2050
Ацетиленовое пламя	2360
Пламя газовой зажигалки	2500
Электrolампа перекальная вакуумная	2450...2500
Электrolампа перекальная газонаполненная	2600...2900
Фотолампа с зеркальным рефлектором мощностью 250...500 Вт	3250...3500
Фотолампа перекальная с зеркальным рефлектором мощностью до 1000 Вт	3600...4000
Импульсная лампа-вспышка	3400...6500
Лампа кинопроекторная	3300...3400
Лампа прожекторная	3300...3500
Лампа галогенная	3300...3350
Вспышка магния	3650
Лампа дуговая	3700...5500
Лампа люминесцентная типа ЛТБ	2800
Лампа люминесцентная типа ЛБ	3500 ± 300
Лампа люминесцентная типа ЛХБ	4300 ± 400
Лампа люминесцентная типа ЛД	6750 ± 800

**Стандартное излучение А.** Излучение А представляет собой излучение абсолютно черного тела при температуре 2856° К. К излучению А как по спектру, так и по цветовой температуре близки обычные лампы накаливания. Стандартное излучение А имеет желтоватый оттенок, поскольку его мощность в красной области преобладает над мощностью в синей.

**Стандартные излучения В и С.** Источник цвета типа В – это прямой солнечный свет с цветовой температурой примерно 4870°К. Источник цвета типа С – это не прямой солнечный свет с цветовой температурой примерно 6770°К. Эти излучения плохо воспроизводят фазы дневного света и поэтому редко используются и в спецификации стандартных излучателей МКО они часто вообще не указываются.

**Стандартные излучения D.** Излучатель D является стандартным источником света, под который калибруется большинство имиджингового оборудования. Он воспроизводит различные фазы среднедневного света в диапазоне коррелированных цветовых температур от 4000°К до 7500°К. Данные спек-

трального распределения излучения **D** были определены путем усреднения данных многочисленных измерений спектра дневного света выполненных в различных районах Великобритании, Канады и США. Для различных целей было определено несколько спектральных распределений источника **D** для различных значений цветовой температуры: **D50**, **D55**, **D60**, **D65**, **D70**, **D75** с коррелированными цветовыми температурами соответственно 5000°K, 5500°K, 6000°K, 6500°K, 7000°K, 7500°K, соответствующим определенным фазам дневного света.

Источник **D50** принят в качестве стандартного в полиграфии, поскольку лучше всего подходит для характеристики изображения, напечатанного стандартными типографскими красками на бумаге.

Источник **D65** следует считать наиболее универсальным, поскольку он наиболее точно аппроксимирует среднедневной свет.

Источник **D55** принят в качестве стандартного в фотографии: именно лампы с цветовой температурой 5500°K используются в просмотрном оборудовании для слайдов и эту цветовую температуру имеет свет лампы-вспышки. В отличие от других стандартных источников, в точности воспроизвести стандартные источники **D** довольно сложно, поскольку искусственных источников света с таким спектральным распределением излучения не существует. В качестве оптимального решения, удовлетворяющего потребителя как качественно, так и экономически, можно назвать использование люминесцентных ламп с соответствующей коррелированной цветовой температурой, спектр излучения которых дополнительно откорректирован с помощью специальных светофильтров

**Стандартное излучение E.** Гипотетический источник излучения **E** имеет равноэнергетический спектр с цветовой температурой 5460°K. Реально не существует в природе и используется в колориметрии только в расчетных целях

**Стандартные излучения F.** Излучениями **F** стандартизованы различные типы люминесцентных ламп. Стандартом определены 12 люминесцентных источников излучения, включающих в себя холодный белый (F2), теплый белый (F1), имитирующие D50 и D65 (F8, F7), трехполосный (F11) и др. С момента принятия стандарта в производстве люминесцентных источников освещения многое изменилось. Некоторые из стандартизованных источников уже не производятся, поэтому МКО готовит новую редакцию по излучениям **F**.

**Особенности светодиодного освещения.** Светодиодные световые приборы имеют общие черты с традиционной светотехникой и в то же время отличаются от нее. Очень важно понимать эти сходства и различия для того, чтобы корректно проводить сравнения между обычными и светодиодными приборами, а также для того, чтобы правильно подбирать светодиодные приборы для различных областей применений.

Главным отличием светодиодных источников света от традиционных является то, что в светодиодах применяется совершенно иной принцип генерации света и используются абсолютно другие материалы. Менее очевидным отличием является то, что в светодиодном источнике света стирается граница между лампой и светильником. В светодиодной осветительной технике «лампы», ко-



торыми являются светодиоды, неотделимы от «светильника», а именно: корпуса, электроники и линзы.

Эти два различия оказывают очень большое влияние на методы испытаний светодиодных источников света, измерение их светового потока, оценку их пригодности для конкретного применения и способы сравнительной оценки светодиодных и традиционных световых приборов.

Понимание различий между двумя типами систем освещения поможет избежать многих трудностей, связанных с использованием светодиодов. Корректная интерпретация основных технических характеристик светодиодных световых приборов поможет правильно выбрать осветительное устройство для конкретной области применения.

Светодиодная же промышленность сделала следующий шаг после открытия закона Хайтца, названного в честь доктора Роланда Хайтца, бывшего научного сотрудника компании Agilent. Он предсказал, что эффективность светодиодов – количество света, которое может быть произведено диодом – увеличивается в двадцать раз каждые десять лет, а стоимость этого освещения уменьшается в десять раз. То же самое бывает с эффективностью производства, где на протяжении последних трех десятилетий происходит сокращение расходов на полупроводниковые компьютерные чипы, что способствует росту рынка светодиодного освещения.

При организации светодиодного освещения имеется возможность регулировать цветовую температуру светодиодных светильников и ламп в очень широких пределах. Вы только представьте, что цветовая температура светодиодов может находиться от 2 000К до 18 000К!

Светодиоды подбираются не только по цветовой температуре, но и еще одному не менее важному показателю – индексу цветопередачи. Это параметр, который характеризует соответствие естественного цвета какого-либо предмета видимому цвету этого предмета, при освещении его световым диодом. Индекс цветопередачи обозначается аббревиатурой CRI от английских слов colour rendering index. Идеальным считается индекс цветопередачи солнца, равняющийся 100 единицам.

Светодиоды выпускаются различных цветов излучения. Большая номенклатура выпускаемых цветов и недостаток терминов для точного указания различных оттенков приводит к появлению большого разнообразия в названиях цветов у различных производителей. Чтобы облегчить сравнение светодиодов различных производителей по цвету и оттенку, ниже приведены таблицы для наиболее крупных производителей светодиодной техники.

Светодиоды белого цвета свечения также могут различаться по оттенкам. Для более точного указания оттенка могут использоваться цветовые координаты или цветовая температура.

Таблица 2.4. Названия цветов и длины волн для светодиодов OSRAM и Cree

OSRAM			Cree		
Цвет (русский)	Цвет (англ.)	Длина волны, нм	Цвет (русский)	Цвет (англ.)	Длина волны, нм
Гиперкрасный	Hyper red	645			
Сверхкрасный	Super red	628-633	Красный	Red	620-630
Красный	Red	625			
Янтарный	Amber	615, 617	Красно-оранжевый	Red-orange	610-620
Оранжевый	Orange	606			
Желтый	Yellow	587, 590	Янтарный	Amber	585-595
Зеленый	Green	570			
Чистый зеленый	Pure green	560			
Истинный зеленый	True green	520-529	Зеленый	Green	520-535
Сине-зеленый	Verde	503, 505			
Голубой	Blue	464-471	Голубой	Blue	456-475
Синий	Deep blue	453-457	Синий	Royal blue	450-465

Таблица 2.5. Названия оттенков белого цвета и цветовая температура для светодиодов OSRAM и Cree

OSRAM			Cree		
Название оттенка (русский)	Название оттенка (англ.)	Цветовая температура, К	Название оттенка (русский)	Название оттенка (англ.)	Цветовая температура, К
Холодный белый	Ultra white	5700-8200	Холодный белый	Cool white	5000-10000
Белый	White	5000-5600	Нейтральный белый	Neutral white	3700-5000
Теплый белый	Warm white	2500-4800	Теплый белый	Warm white	2600-3700

## ГЛАВА 3. МЕТРОЛОГИЯ ЦВЕТА

### 3.1. Общие сведения

Человеку на протяжении всей своей жизни часто приходится иметь дело с оценкой цвета, как на бытовом уровне, так и в профессиональной деятельности. Особенно это касается специалистов, практически постоянно сталкивающихся в своей работе с цветовыми оценками. Полиграфистам, кинематографистам, работникам телевидения, текстильной промышленности, дизайнерам, да и многим другим необходимо знать численные характеристики цветов, уметь устанавливать допуски на цветовоспроизведение, определять точность воспроизведения цвета. Это значит, что им нельзя обойтись без цветовых измерений.

Созданию современной колориметрии, как и всякого другого измерительного дела, предшествовал длительный период постепенного развития и усовершенствования понятий цвета.

Все известные нам языки имеют специальные слова для обозначения главных цветов, таких как белый, черный, красный, зеленый, синий, желтый. Однако для многих других вариантов цвета в языках древних народов специальных названий нет. Это привело некоторых авторов к неверному заключению, будто люди в древности, обладая менее совершенным, чем мы, зрением, были неспособны воспринимать или различать некоторые, теперь для нас вполне обычные цвета. Такое заключение совершенно неправильно. Изучение жизни народов, находящихся на низком культурном уровне, показывает то, хотя их язык в отношении обозначения цветов иногда бывает очень беден и во многих случаях ограничивается 4-6 наименованиями, способность их зрения к различению тонких цветовых оттенков не только не ниже, а, напротив, нередко выше, чем у высококультурного человека. Таким образом, здесь дело не в свойствах зрительного аппарата, а в примитивности хозяйственного уклада жизни, который, довольствуясь лишь очень общим определением цвета, не нуждается в детальном описании более тонких цветовых различий.

Даже наш прекрасный и богатый русский язык в вопросах цвета в известных случаях прибегает к иноземным заимствованиям, выражая некоторые цвета, которые мы теперь причисляем к «главным», названиями различных предметов, взятых из других языков. Так, «розовый» цвет явно происходит от розы, хотя этот цветок далеко не всегда имеет этот связанный с его именем цвет, поскольку красные и белые розы встречаются очень часто. Оранжевый цвет происходит от французского слова orange – апельсин, слово «фиолетовый» происходит от violette – фиалка и т. д. Было бы, конечно, смешно думать, что русский человек XVI или XVII века не отличал оранжевый цвет от желтого или красного или путал синий с фиолетовым. Просто условия жизни того времени не создавали надобности в таких словах, а в случае необходимости всегда можно было вместо термина «оранжевый» сказать «красновато-желтый», а вместо фиолетовый – «красно-синий». Удивительно, что такой распространенный в окружающей нас обстановке цвет, как коричневый, не имеет специального слова в

языке и назван по имени корицы – малосущественного и редко применяемого продукта.

Со временем жизнь потребовала более точной номенклатуры цвета. Как это ни смешно, но одна из областей, где возникла такая потребность, явилась область дамских нарядов. Вместе с заграничными тканями и парижскими моделями к нам пришли из-за рубежа и многие названия для цветов и оттенков, сохранившиеся до наших дней наряду с названиями пирожных, сортов одеколona и тому подобных предметов.

Научное цветоведение непременно должно отказаться от всех этих неопределенных описательных характеристик цвета и перейти к точным цифровым показателям. Иначе говоря, необходимо уметь измерять цвет, необходимо создать метрику цвета.

Однако тут возникает одна особенность, которая резко отличает измерение цвета от измерения других величин, скажем, той же яркости. Дело в том, что цвет не является величиной: он только некоторое качество. Поэтому к нему не может быть применен основной принцип всякого измерения, базирующийся на том, что подлежащую измерению величину сравнивают с величиной того же рода, принятой за единицу, и устанавливают, сколько таких единиц заключается именно в этой величине. Такой подход к цвету явно неприменим: мы не можем сказать, что такой-то цвет больше или меньше другого, тем более нельзя сказать, во сколько именно раз он больше или меньше,

Измерить цвет означает выразить его через какие-либо величины, определяющие его место среди множества цветов, выраженных в некоторой системе.

Учение об измерении цвета называется метрологией цвета, или колориметрией. Наряду с собственно измерением цвета колориметрия изучает вопросы его систематизации и математического описания. Одним из главных требований, предъявляемых к метрологии, является однозначность и воспроизводимость результатов. Однозначность подразумевает, что одна и та же величина должна всегда давать одинаковые численные значения, а воспроизводимость означает сопоставимость полученных результатов.

Колориметрия использует две основные системы измерения цвета.

Первая – колориметрическая система – состоит в определении цветовых координат, то есть численных характеристик, по которым можно не только описать цвет, но и воспроизвести его.

Вторая – система спецификаций – представляет собой набор цветов (атлас), в котором выбирают цвет, тождественный воспроизводимому (измеряемому).

### 3.2. Цветовые координаты

Основой для колориметрических систем являются законы Грассмана (1853 г.).

**Первый закон Грассмана (закон трехмерности).** Любой цвет однозначно выражается тремя, если они линейно независимы. Линейная зависи-

мость заключается в том, что нельзя получить никакой из указанных трех цветов сложением двух остальных. Закон утверждает возможность описания цвета с помощью цветовых уравнений.

**Второй закон Грассмана (закон непрерывности).** При непрерывном изменении излучения цвет изменяется также непрерывно. Не существует такого цвета, к которому невозможно было бы подобрать бесконечно близкий.

**Третий закон Грассмана (закон аддитивности).** Цвет смеси излучений зависит только от их цветов, но не от спектрального состава. Из этого закона следует факт, имеющий первостепенное значение для теории цвета, – аддитивность цветовых уравнений: если цвета описаны цветовыми уравнениями, то цвет выражается суммой этих уравнений.

Для пояснения представим себе, что на одно поле фотометра падает как-то окрашенный световой поток интенсивностью  $\Phi$  люменов. Направляя на другое поле одновременно три монохроматических потока с определенными длинами волн, мы можем подобрать для них такие величины  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$  (тоже в люменах), что яркость и цвет этого поля будут для зрения совершенно одинаковы с первым полем. Это обстоятельство мы запишем в форме равенства

$$\Phi \equiv \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3,$$

где три черты означают тождество не только по интенсивности, но и по цвету.

Это равенство полностью характеризует цвет, но это больше, чем нужно для колориметрии, так как цвет с абсолютным значением светового потока непосредственно не связан. Для выражения собственно цветности светового потока совсем не нужно задавать смешиваемые три потока в люменах или других абсолютных единицах, поскольку цвет однозначно определяется относительным распределением энергии по спектру. Поэтому для того, чтобы определить цвет, достаточно указать, какую долю составляет каждый из потоков  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ , в их общей сумме, то есть привести величины

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3}, \quad \frac{\Phi_2}{\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3}, \quad \frac{\Phi_3}{\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3}.$$

Однако такие величины для практики неудобны, и вот почему. Оказывается, что равные потоки разного цвета оказывают на цвет смеси неодинаковое влияние. Например, значительная примесь зеленого влияет гораздо слабее, чем ничтожное количество синего или фиолетового. Поэтому, если смешать красный, зеленый и синий потоки в фотометрически равных количествах (например, если каждого взять по 1 люмену), то смесь будет отнюдь не белой, как можно ожидать, а синей. Вообще все смеси, в которых синий поток по интенсивности одного порядка с красным и зеленым, будут иметь разные оттенки синих цветов. Чтобы получить другие цвета, надо добавлять в смесь синий поток в очень небольших дозах. Например, чтобы получить белый цвет, надо взять красный поток в 1 люмен, зеленый в 4,6 люмена и добавить синий поток всего в 0,06 люмена,

Для того чтобы избежать таких неудобных соотношений и сделать выра-

жение цвета арифметически простым и наглядным, условились выражать смешиваемые потоки не в люменах, а в различных для каждого цвета особых относительных единицах, называемых **единичными цветами** или **единичными стимулами**. Они выбираются так, чтобы при их сложении в численно равных количествах получался белый цвет. Из этого следует, что если мы за единицу красного стимула **R** примем поток красного света с  $\lambda = 700$  нм в 1 люмен, то за единицу зеленого стимула **G** мы должны взять поток с  $\lambda=546,1$  нм в 4,6 люмена, а за единицу синего стимула **B** – поток с  $\lambda=453,8$  нм в 0,06 люмена.

Пусть для получения цвета **F** надо взять  $r'$  таких новых единиц цвета **R**,  $g'$  единиц цвета **G** и  $b'$  единиц цвета **B**.

Это мы запишем в виде равенства:

$$F = r'R + g'G + b'B.$$

Вспоминая опять, что цвет зависит только от относительного количества компонентов, а не от их абсолютных величин, заменим числа  $r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  их относительными долями в общей смеси, которые обозначим через  $r$ ,  $g$  и  $b$ :

$$r = \frac{r'}{r' + g' + b'}; \quad g = \frac{g'}{r' + g' + b'}; \quad b = \frac{b'}{r' + g' + b'};$$

причем, очевидно, должно быть

$$r + g + b = 1.$$

Числа  $r$ ,  $g$  и  $b$ , выражающие доли красного, зеленого и синего единичных цветов в данной смеси, называются **трехцветными коэффициентами**. Они служат выражением цвета в описываемой трехцветной системе.

Тот факт, что данный цвет **F** составляется из  $r$  долей единичного основного цвета **R**,  $g$  долей цвета **G** и  $b$  долей цвета **B**, записывают в форме **цветового уравнения** вида

$$F = rR + gG + bB.$$

Из законов Грассмана следует, что цвет можно выразить точкой в трехмерном пространстве. Трехмерное пространство для геометрического изображения цвета принято называть цветовым пространством. В нем каждому цвету будет соответствовать определенная точка, а каждой точке пространства – соответствующий цвет.

В цветовой системе координат каждый цвет выражается через основные цвета этой системы, причем они должны быть линейно независимы (то есть ни один из них не должен получаться сложением двух других). Положение точки в пространстве, характеризующей тот или иной цвет, задается тремя координатами. Эту же точку можно рассматривать и как конец вектора, проведенного из начала координат (рис. 3.1).

Для того чтобы процесс трехкомпонентного цветосмешения был интуитивно понятен, его можно изобразить на трехмерном графике, оси которого образованы тремя основными цветами **R**, **G** и **B** (рис. 3.2). В прямоугольной сис-

теме координат это построение реализуется в виде так называемого **цветового куба**.

В цветовом кубе грани образованы координатами **R, G, B**, а вершины соответствуют положению чистых цветов: красного, зеленого, синего и образуемых в результате их смешения желтого, пурпурного и голубого. Точка начала координат осей **R, G, B** соответствует положению черного цвета. Напротив него располагается белый цвет, образуемый смешением чистых красного, зеленого и синего цветов, а линия **K–W** представляет собой ось нейтральных цветов. Цвет **A**, показанный на графике, задается следующими координатами:  $R = 0,8$ ,  $G = 0,2$ ,  $B = 0,6$ .

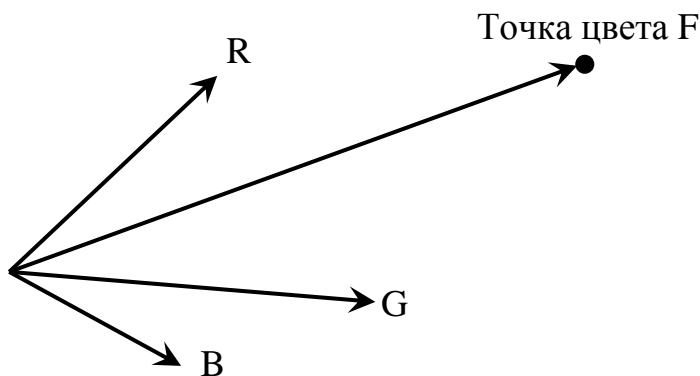


Рис. 3.1. Вектор цвета в произвольной цветовой координатной системе

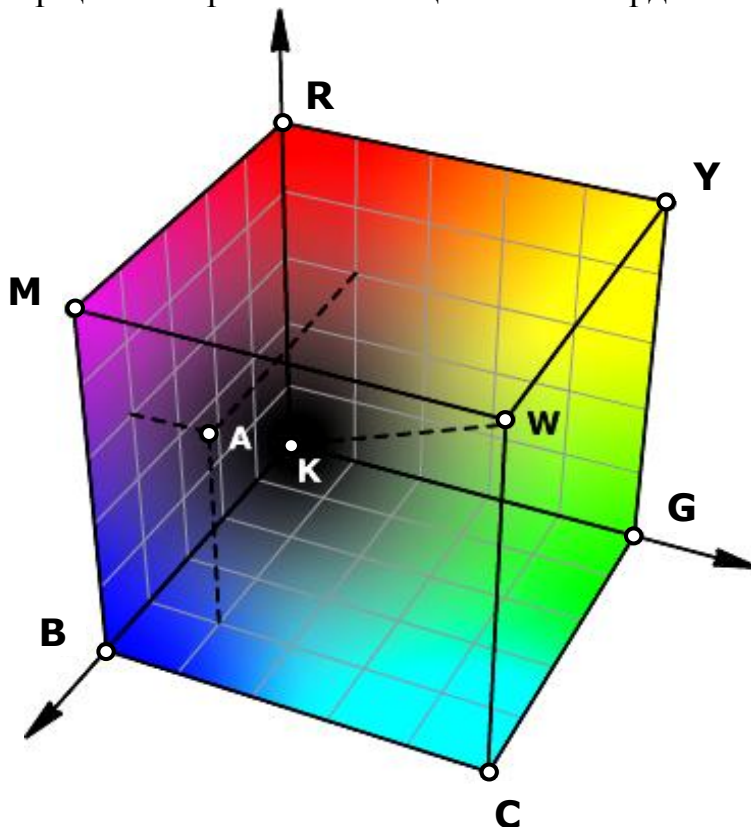


Рис. 3.2. Цветовой график трехкоординатного цветового пространства

Однако еще Максвелл заметил, что для описания цветности нет необходимости прибегать к пространственным представлениям. Достаточно использо-

вать плоскость треугольника цветности (рис. 3.3).

Максвелл значительно упростил этот график, вычертив его на плоскости в виде треугольника, представляющего собой проекцию точек трехмерного цветового графика на одной плоскости. Полученное им построение называется цветовым треугольником Максвелла (рис. 3.4). Он представляет собой равносторонний треугольник, вершины которого соответствуют координатам основных красного, зеленого и синего цветов. Фактически этот треугольник представляет собой график цветностей цветового тела RGB. Значение яркости (светлоты) света в нем не учитывается.

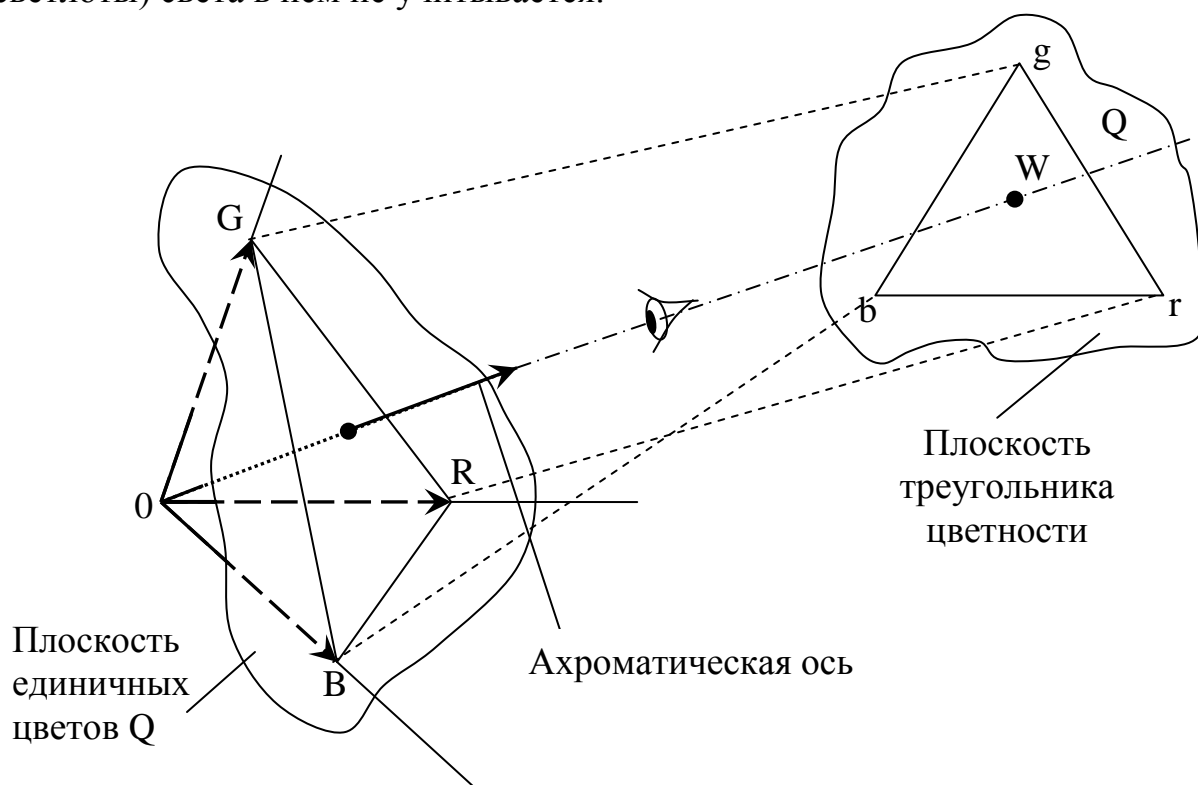


Рис. 3.3. Плоскость единичных цветов и образование треугольника цветности

Вершины треугольника соответствуют положению трех основных цветов: красного (R), зеленого (G) и синего (B). В центрах сторон треугольника располагаются дополнительные желтый (Y), пурпурный (C) и голубой цвета (M), а в точке пересечения перпендикуляров восстановленных от сторон треугольника находится белый цвет (W), задаваемый координатами цветности  $r = g = b = 1/3$ . На линиях W–R, W–G, W–B располагаются красные, зеленые и синие цвета, а на линиях W–C, W–M, W–Y – дополнительные им желтый, пурпурный и голубой цвета по степени увеличения их насыщенности. Цвет A1 определяется координатами цветности  $r = 0.1, g = 0.2$  и получается смешением красного, зеленого и синего цветов в соответствующих пропорциях, в то время как цвет A2 с координатами цветности  $r = 0.8, g = -0.2$  лежит вне цветового треугольника и не может быть получен смешением красного, зеленого и синего цветов (лежит вне их цветового охвата).



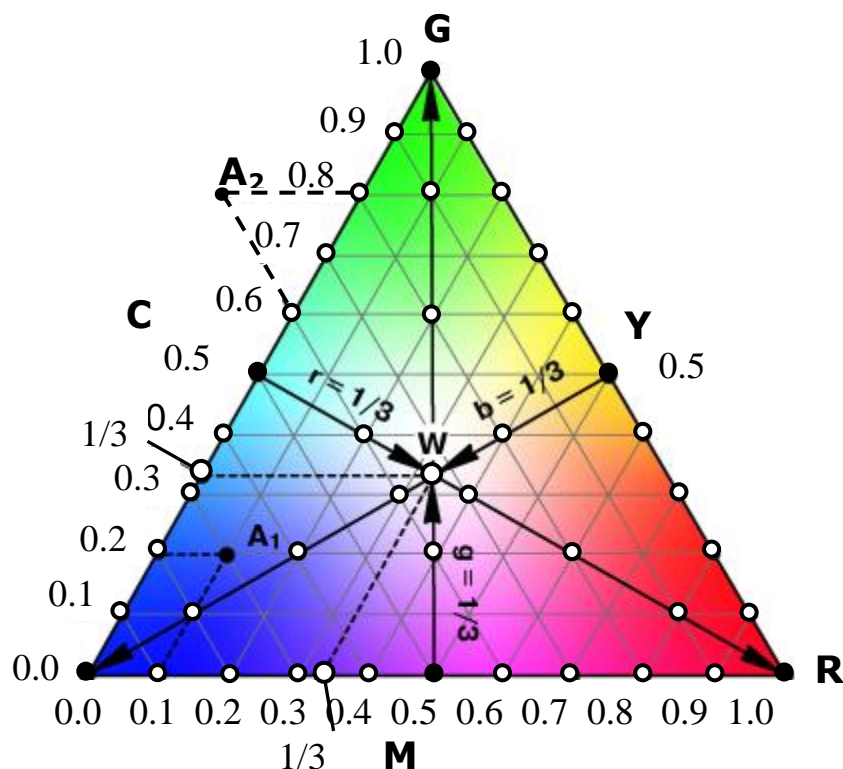


Рис. 3.4. Цветовой треугольник Максвелла

### 3.3. Системы описания цвета (системы спецификаций)

С давних времен человечество пыталось создать систему описания цвета. Естественно, что понятие «цвет» в первую очередь ассоциируется с определенным красящим веществом или краской. Издавна были известны такие из них, как египетская голубая, индиго, медная лазурь, сурик, киноварь, а позднее и ультрамарин. Для получения желтых и красных тонов применяли часто встречающиеся в природе сорта охры, а для черных – измельченный древесный уголь. Средние века дали нам зеленую краску, полученную из ягод крушины. Развитие химии быстро пополняло этот список.

Первой для обозначения цветов стала словесная система. По сохранившимся до наших дней памятникам античной письменности, у древних греков и римлян названия имели всего четыре цвета – белый, черный, желтый и красный. Однако долгое время понятие цвета было весьма нечетким, например, в древнерусской литературе «синее» нередко ассоциировалось с темно-голубым, серым или сумрачным.

Первый шаг по научному упорядочению мира цветов сделал Исаак Ньютон, открывший зависимость между преломлением света и полученными в результате этого цветами. Он обнаружил, что пучок света, проходя через стеклянную призму, разлагается на спектральные составляющие. Выделив в спектре семь цветов – красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый, Ньютон расположил их в виде круга.

По мере развития науки и производства появилось множество теоретических и экспериментальных работ по классификации цветов. Первую таблицу

красок создал И. Бреннер (Стокгольм, 1680 г.). В 1730 г. гравировщик по меди Ле Блок, применив для печати семь цветов Ньютона, установил, что тех же результатов можно достичь, используя всего три основных цвета – желтый, красный и синий. Дюфей описал, как, используя только их, можно получить окрашенную пряжу и ткань всех оттенков.

Предложений о том, как систематизировать цвета и создать единую обобщенную модель представления цветов, было множество. Рассматривались плоскостные модели расположения цветов – полосы, круги, треугольники, а затем и пространственные – шары, сферы, пирамиды. В 1745 г. математик Майр смешивает основные тона, добавляя в них белый и черный, и располагает полученные образцы в виде треугольников.

Более совершенные цветовые системы изобрели лишь к концу 19 – началу 20 века: сдвоенный конус В. Оствальда (Германия) и цветовая сфера Манселла (США). Эти ученые впервые использовали закон, определяющий равноступенчатость перехода цветовых оттенков на основе их зрительного восприятия (рис. 3.5).

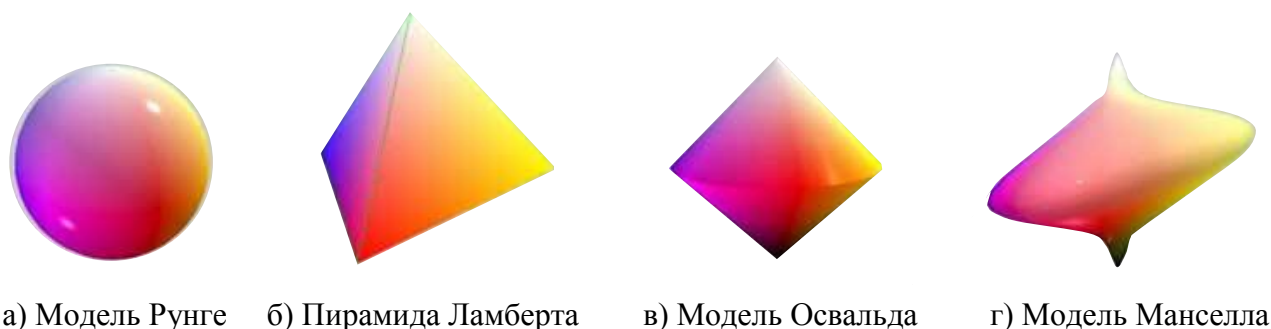


Рис. 3.5. Цветовые модели конца 19 – начала 20 века

Одним из классических примеров цветовой модели служит **шар Рунге** – абсолютно симметричное по всем осям тело. В качестве его главного сечения взят цветовой круг максимальной насыщенности и нормальной яркости, а длина серой шкалы равна диаметру круга. Начальные интенсивности всех цветов считаются равными и изменяющимися к полюсам по одному и тому же закону. Модель Рунге является одной из наиболее удобных иллюстраций принципа построения пространственной цветовой модели.

Следующая более упрощенная модель по сравнению с шаром Рунге **модель Ламберта**, наиболее существенным отличием которой является упрощенное, линейное, а не экспоненциальное изменение светлоты или насыщенности. Одним из самых простых вариантов пространственной модели является и **пирамида Оствальда**, построенная на базе плоской треугольной модели вдоль однонаправленной серой шкалы.

При всем изяществе и наглядности этих моделей они не учитывают особенностей психофизического восприятия человеком различных областей спектра, предполагая одинаковую для всех цветов интенсивность. Между тем, даже при беглом взгляде на радугоу, заметна ощутимая разница кажущейся яркости

цветов. Попыткой учесть это явление стала **модель Манселла**, сечения которой получили отличные от круговых формы. В ней «радиусы» различных цветов пропорциональны их интенсивности – для «ярких» цветов они больше, для «приглушенных» – меньше. Существенным отличием этой модели является отсутствие явно выраженной главной цветовой плоскости. Здесь каждый цвет наделен собственной плоскостью, место которой определяется светлотой тона – чем он светлее, тем она выше.

Следует отметить, что образы цветковых тел представляют собой только иллюстрации и помогают найти их общие черты и проследить логику их возникновения. Большинство этих моделей разрабатывалось в расчете на практическое применение, поэтому их авторы сознательно ограничивали количество локальных цветов и градаций серого. Наибольшую популярность получили модели, базирующиеся на стандартизованных пигментах, и оказавшиеся наиболее практичными для достоверных описаний цветковых смесей.

Цветовые системы позволили создать наборы цветковых образцов – атласы, шкалы и картотеки. Например, Атлас-словарь цветов Мерца и Пауля (США, 1930), Атлас цветов Корнерупа и Ванмера (Дания, 1961). Часть из них принята в качестве национальных стандартов, чтобы решать как метрологические, так и практические задачи нормирования и контроля цветковых характеристик промышленных изделий, а также выбора цвета материалов, применяемых для оформления интерьеров и отделки зданий.

В наши дни наиболее признанной стала **СИСТЕМА ПРИРОДНЫХ ЦВЕТОВ NCS (NATURAL COLOUR SYSTEM)**, созданная в Швеции в 1968/69 г. и принятая в качестве национального стандарта также в Норвегии и Испании.

Посредством NCS, иллюстрируемой 1950 оттенками, можно описать и обозначить любые цвета, кроме люминесцентных и металлических. К тому же, она имеет специальные «ключи» совместимости с другими национальными системами цвета.

В системе NCS любой цвет можно выразить графически трехмерной геометрической моделью в виде сдвоенных конусов с общим основанием. Вершина верхнего конуса – белый цвет, вершина нижнего – черный.

Основание совмещенных конусов – цветовой круг, разделенный на четыре равные части по числу цветов, принятых за основные. В верхней части круга находится желтый (Y), справа – красный (R), внизу – голубой (B), слева – зеленый (G) цвет. Каждая четвертинка разделена на 100 частей. По образующим круг сегментам можно наблюдать постепенный переход от одного цвета к другому.

Для описания характеристик цвета в системе NCS используется буквенно-цифровой код. Например, один из цветковых тонов, с наличием 90% красного и 10% желтого, обозначается как Y90R.

Для описания других характеристик цвета – его насыщенности и светлоты – используется вертикальное сечение модели, представляющее собой равнобедренный треугольник. Левая его часть образует вертикальную шкалу (едини-

цы измерения – те же самые), и через оттенки серого демонстрирует постепенный переход от белого к черному. Насыщенность цвета в треугольнике возрастает по мере удаления вправо от этой вертикальной шкалы.

Особенно актуальным представляется введение цветowych карт NCS в процесс обучения, о чем говорят преподаватели архитектурных и дизайнерских вузов. Цветовые контрасты, гармоничные сочетания, пространственное действие гораздо легче усваиваются с помощью стандартных цветowych карт.

В настоящее время в нашей стране ежегодно выпускается 1 млн. тонн красок. Из 600 фирм-производителей, усилиями которых и держится этот сегмент отечественного рынка, к сожалению лишь незначительная часть использует NCS, а большинство применяет различные, непонятные другим, коды. Принятие цветовой стандартизации равносильно переходу России от аршин, сажений и других древних единиц измерения к европейской метрической системе, что в свое время позволило нашей стране освоить общий со всем миром язык мер.

К категории атласов относятся и так называемые **цветовые палитры**. Под цветовой палитрой понимается коллекция заранее определенных цветов. Особенно богато представлены цветovые палитры в программе CorelDRAW. В этот пакет включено большое количество стандартных и специализированных палитр, которые позволяют охватить самые разные сферы человеческой деятельности. В их число входят семь наиболее распространенных во всем мире цветových палитр: DIC, SpectraMaster® Colors (DuPont), FOCOLTONE, PANTONE MATCHING SYSTEM® Colors (PANTONE® плашечные цвета), PANTONE® Process Colors (Pantone® основные цвета), TOYO COLOR FINDER и TRUMATCH, а также несколько палитр, появившихся относительно недавно: PANTONE® HEXCHROME™(TM) Colors, Netscape Navigator™ (TM), Microsoft® Internet Explorer и Lab Colors.

Перечисленные стандартные палитры предоставляют исходные цвета в соответствии с установленными системами сопоставления цветов. Каждая из них имеет специфические свойства и свои области применения.

Здесь требуется пояснить широко используемое понятие **плашечного цвета**. Цветная печать обычно производится последовательным наложением четырех базовых красок – голубой, пурпурной, желтой и черной. Поднесите к глазам иллюстрацию в журнале или цветной газете или посмотрите на нее в лупу, и вы увидите, что она состоит из прихотливо переплетающегося узора точек разных цветов. Глаз человека «обманывается», и вместо разноцветных точек мы видим реалистичную картинку. Заметьте, что реального смешения красок не происходит! Однако есть и иной способ печати. Можно на самом деле приготовить краску нужного цвета, а затем наложить ее на бумагу в соответствии с печатной формой. Таким способом вы получите сам нужный цвет и его оттенки. Цвета, печатаемые заранее смешанными красками, называются плашечными. Иногда их называют простыми, а триадные цвета составными.

Разработчики перечисленных стандартных палитр, опираясь на теорию цвета, сделали еще один шаг вперед, создав одноименные **системы со-**

**поставления цветов.** Каждая система сопоставления цветов включает в себя эталонную таблицу цветов. Изготовление эталона тщательно контролируется с целью минимизации вариаций цветов. Каждому цвету присваивается свое уникальное имя и указывается тип пигмента или состав смеси из различных пигментов, необходимых для его реализации. Указывается также идентифицированный с данным пигментом тип бумаги. В дополнение к этой таблице, используемой как справочник, пользователь получает образцы цветов, которые можно вырезать и прикрепить к изображению. Это позволяет точно указать печатнику и заказчику, какой цвет предполагается получить.

### 3.4. Цветовые координатные системы

#### 3.4.1. Координатная система RGB

**Все ли реально воспринимаемые зрением цвета уместаются внутри цветового треугольника RGB?**

Для получения ответов на этот вопрос в 1931 году Международная Комиссия по освещению (CIE – Communication Internationale de l'Eclairage) предприняла масштабную акцию, профинансированную компаниями – производителями красок. Фирмы были заинтересованы в том, чтобы выработать стандарты, позволяющие добиться удобства и оперативности в работе, а также повысить качество своей продукции.

Для измерения цветовых ощущений был проведен эксперимент, упрощенное описание которого мы приводим ниже.

На экран (рис. 3.6) проецировались два световых пятна в непосредственной близости друг от друга. Первое пятно получали путем пропускания белого цвета через стеклянную призму. В результате белый цвет раскладывался на спектральные составляющие. Большую часть из них закрывала непрозрачная шторка, и только интересующая исследователей часть спектра оставалась видимой на экране. Таким образом, первое пятно представляло собой **спектрально-чистый цвет**.

Второе пятно создавалось тремя потоками белого цвета, идущими через фильтры, пропускающие свет только в определенных зонах видимого спектра. В эксперименте CIE были использованы фильтры, пропускающие свет на участках с длинами волн: 700,0 нм (красный), 546,1 нм (зеленый) и 435,8 нм (синий). Таким образом, второе пятно образовывалось за счет смешивания трех лучей: красного, зеленого и синего. В эксперименте данные три цвета носили название **основных цветов**.

Перед наблюдателем ставилась задача: вращая ручки регуляторов яркости трех основных цветов, добиться визуального совпадения цвета образованного ими пятна с цветом спектрально-чистого пятна.

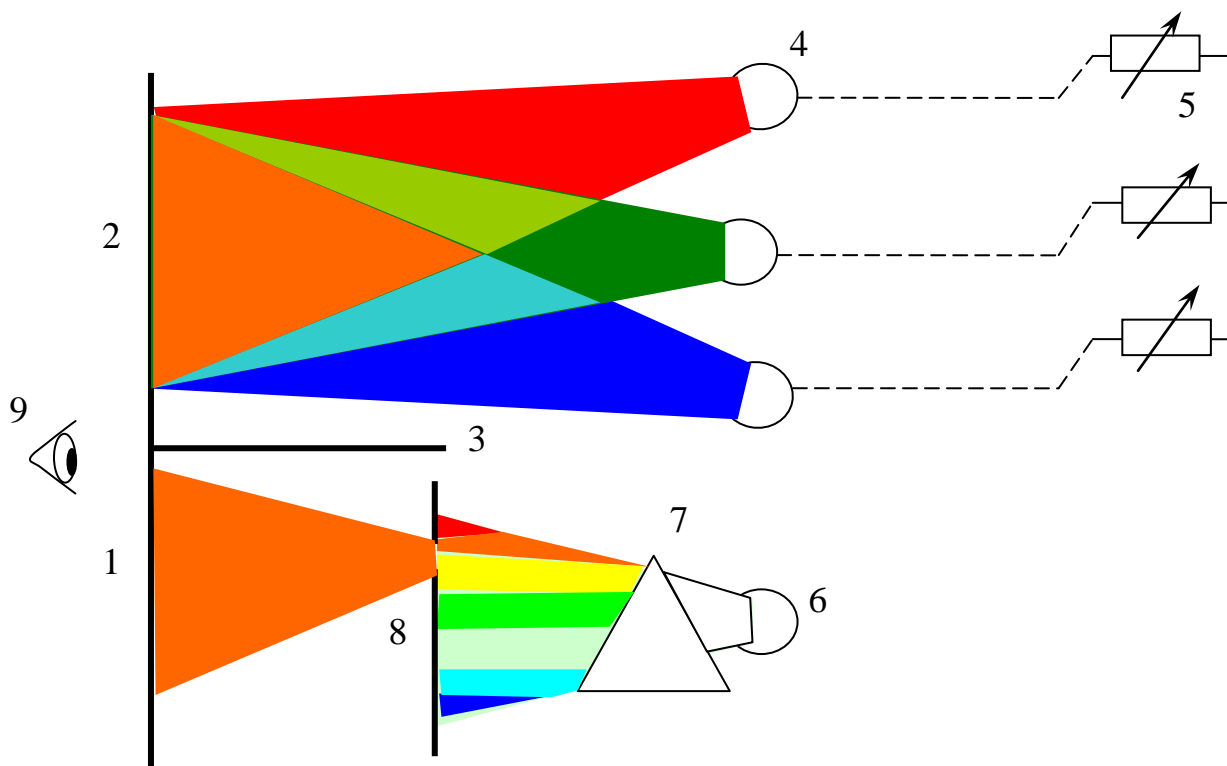


Рис. 3.6. Опыты СИЕ по уравниванию цветов

1 – уравниваемый цвет на экране; 2 – уравнивающий цвет на экране; 3 – разделительная перегородка; 4 – источники белого света с фильтрами; 5 – регуляторы яркости; 6 – источник белого света; 7 – призма; 8 – шторка; 9 – наблюдатель

Когда наблюдатель говорил, что добился максимального цветового совпадения пятен, лаборант фиксировал в журнале значения позиций трех регуляторов.

Сумма яркостей трех основных цветов, совпадающая с белым цветом, была принята за единицу. Для каждого измеряемого цвета в журнал заносились не абсолютные значения позиций регуляторов, а доля яркости каждого компонента по отношению к его доле в образовании белого.

В процессе исследования выяснилось, что значительную часть чистых спектральных цветов не удастся воспроизвести описанным способом. Но перед исследователями и не стояла задача именно воспроизведения спектрально-чистых цветов при помощи трех лучей. Стояла задача **измерения** цветовых ощущений, т.е. необходимо было найти для каждого видимого спектрально-чистого цвета уникальное числовое значение, точнее – уникальную комбинацию **трех** числовых значений.

Поэтому исследователи могли позволить себе небольшую хитрость (рис. 3.7): в случае, когда уравнять спектрально-чистый цвет не удавалось, к нему добавляли некоторое количество основного цвета (чаще красного), перенаправляя луч со смешанного пятна на спектрально-чистое пятно. Спектрально-чистый цвет «загрязнялся», но это уже позволяло уравнивать цветовые ощущения от обоих пятен, и для «непокорного» спектрально-чистого цвета удавалось най-

ти определенную комбинацию числовых значений. Правда, в данном случае она содержала отрицательные величины, которые возникали из-за того, что один (иногда два) основных цвета «вычитались» из общей смеси и добавлялись к спектрально-чистому цвету.

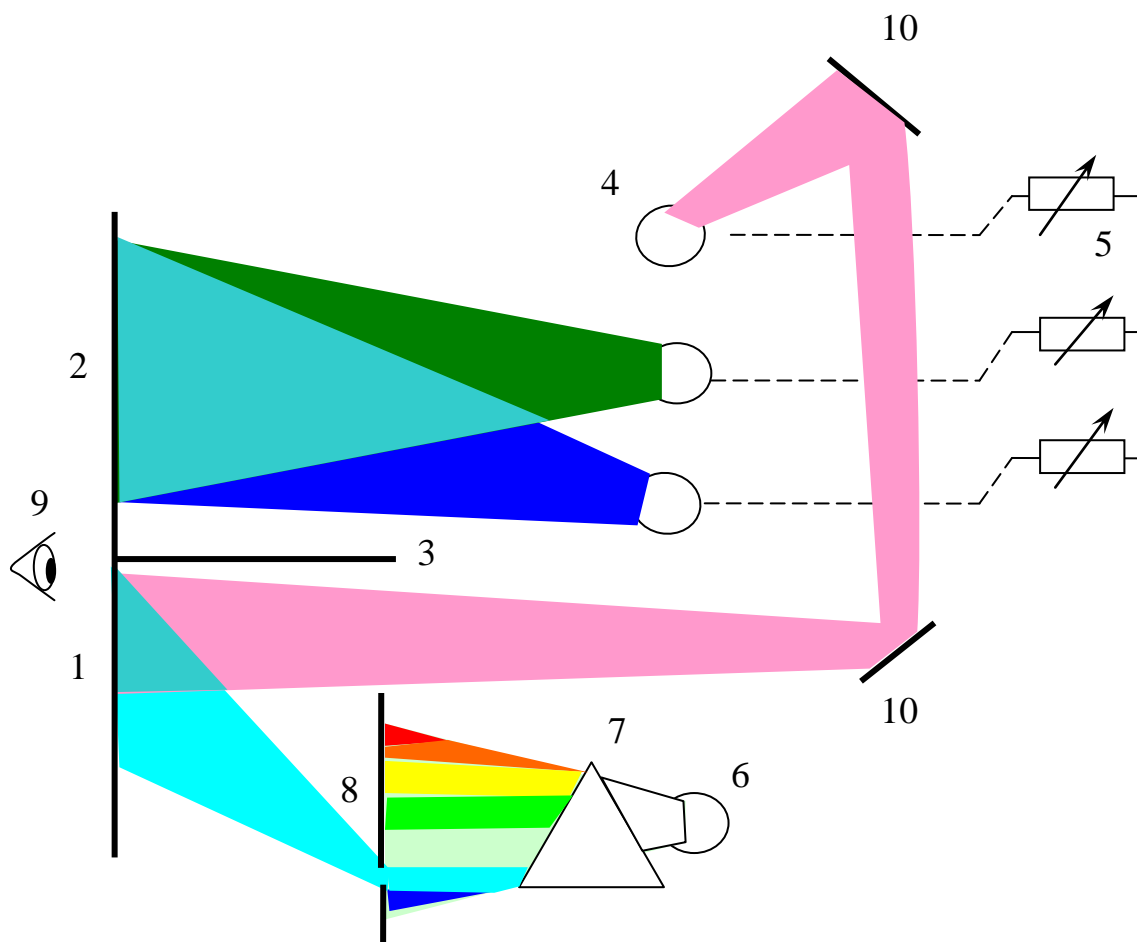


Рис. 3.7. опыты СИЕ по уравниванию цветов

1 – уравнивающий цвет на экране; 2 – уравниваемый цвет на экране; 3 – разделительная перегородка; 4 – источники белого света с фильтрами; 5 – регуляторы яркости; 6 – источник белого света; 7 – призма; 8 – шторка; 9 – наблюдатель; 10 – зеркала, перенаправляющие световые потоки

Таким образом, при усреднении результатов экспериментов с большим числом наблюдателей были измерены цветовые ощущения, вызываемые спектрально-чистыми цветами, расположенными на всем протяжении видимого спектра: от фиолетового до красного.

Особый акцент сделаем на том, что данный эксперимент не является измерением спектральной чувствительности сетчатки глаза, как многие думают, а является косвенным измерением цветовых ощущений человека, возникающих от спектрально-чистых цветов различной длины волны. Напомним, что при исследовании цветовых ощущений прямые измерения, т.е. измерения в коре головного мозга человека, невозможны и по сей день.

**В экспериментах СИЕ были получены числовые значения, соответствующие определенным цветовым ощущениям, т.е. цветовые ощущения были измерены.**

Коль скоро каждому цветовому ощущению от монохроматического излучения определенной длины волны соответствуют три строго определенных числа, то не составит труда разместить эти числа в трехмерной системе координат. Такая трехмерная система координат будет представлять собой **физиологическую цветовую координатную систему – ФЦКС**, или, сокращенно, – **ЦКС**.

Измерение цветовых ощущений человека является конечным результатом эксперимента СИЕ и положено в основу всей современной колориметрии – науки о цветовых измерениях. Физиологическая цветовая координатная система, полученная в результате экспериментов СИЕ, носит название **СИЕ RGB**.

Конечно, цветовых координат физически не существует, но, тем не менее, они математически реальны. Найти цветовые координаты – это значит найти численное выражение цветового ощущения, т.е. измерить цвет.

Опыты, произведенные СИЕ, показали, что далеко не все реально воспринимаемые зрением цвета умещаются внутри цветового треугольника RGB.

Все цвета, которые были получены путем смешения трех основных цветов с положительными коэффициентами, располагаются внутри очерчиваемого ими треугольника. Таким образом, цветовой треугольник показывает нам те цвета, которые могут быть получены путем смешения друг с другом трех выбранных основных цветов, однако не показывает нам всех цветов, которые могут быть видны человеческим глазом. Это именно и есть те цвета, которые в опыте пришлось уравнивать, разбавляя уравниваемый чистый спектральный цвет тем или иным основным цветом, и которые привели к появлению в кривых сложения отрицательных участков. Если нанести их на график, то получится фигура, напоминающая своей формой подкову (рис. 3.8).

Эта фигура называется в колориметрии **линией чистых спектральных цветов** или **цветовым локусом**, а сам график, на который она нанесена, называется **цветовым графиком**. Все цвета, попадающие внутрь этой фигуры, могут быть видны человеческим глазом. Наоборот, цвета, не попадающие внутрь фигуры, человек видеть не может (хотя теоретически может их себе представить).

По периметру локуса размещаются спектральные цвета максимальной насыщенности. Их, как известно, семь: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый и красный. Четких границ между спектральными цветами нет, и они плавно переходят друг в друга, порождая более ста различных глазом оттенков. На левом конце локуса находится фиолетовый цвет, а на правом – красный. Нижняя часть локуса является линией пурпурных цветов. Мы уже отмечали, что в природе не существует спектрально чистых пурпурных цветов (пурпурные цвета представляют собой смесь красных и фиолетовых излучений), поэтому на этой линии отсутствуют значения длин волн. Локус вместе с линией пурпурных цветов охватывает все цвета, воспринимаемые глазом.



Понятно, что кривая локуса обязательно проходит через вершины треугольника, поскольку основные цвета R, G, B тоже относятся к числу спектральных. На участке от 700 до 550 нм кривая практически совпадает с прямой RG, из чего следует, что в длинноволновом участке спектра смешение двух спектральных цветов дает один из промежуточных спектральных цветов. Что касается коротковолновой части спектра, то соответствующие ей цвета лежат вне площади треугольника. Это значит, что такие цвета нельзя получить путем смешения основных цветов R, G и B.

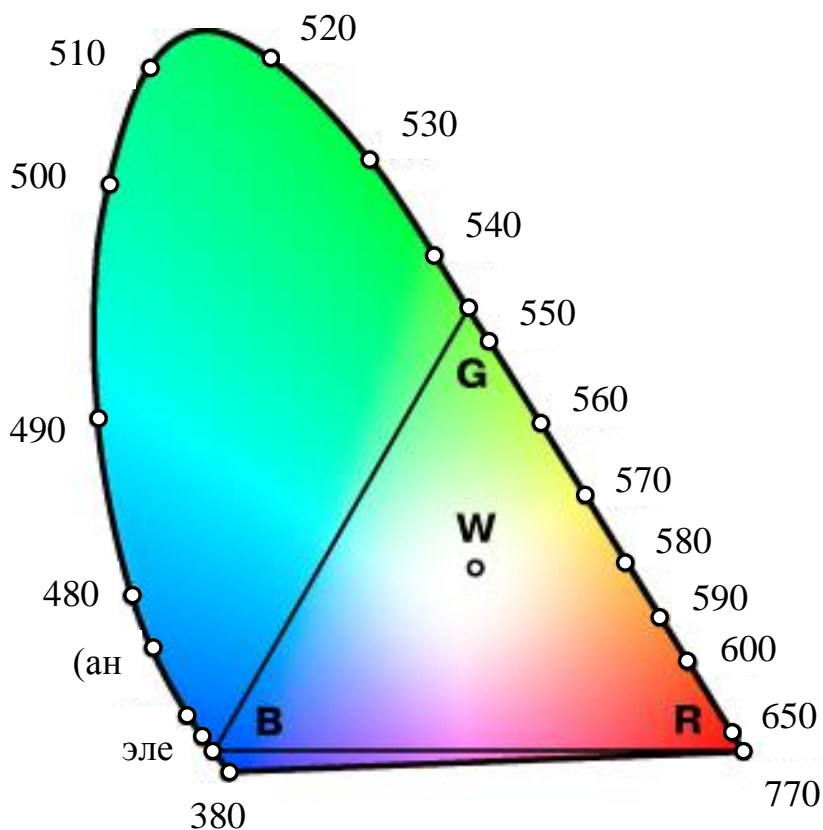


Рис. 3.8. Положение области реальных цветов по отношению к цветовому треугольнику

Невозможность создания всех цветов спектра с помощью основных цветов R, G, B объясняет также и рис. 3.9.

Как видно из рисунка, для имитации спектрального цвета путем аддитивного цветового синтеза в области между 450 нм и 550 нм требуется отрицательная красная составляющая. Это как раз та область, где данная методика неработоспособна. Какое значение это имеет на практике? Хотя источник света, излучающий отрицательный красный свет, математически вполне допустим, с практической точки зрения, очевидно, он не имеет смысла – таких источников света просто не существует. Отсюда следует, что устройство, на котором цвета получаются путем аддитивного цветового синтеза, позволяет имитировать не все цвета, содержащиеся в световом спектре.

Поскольку графическое изображение цвета условно, форма цветового треугольника может быть любой. На рис. 3.8 мы использовали равносторонний

треугольник. В литературе более часто можно встретить вариант, в котором используется прямоугольный треугольник (рис. 3.10). Одну из вершин треугольника, например В, примем за начало прямоугольной системы координат. Величины  $r$  и  $g$  в этом случае откладывают от начала координат ( $r = g = 0$ ) по горизонтальной и вертикальной осям. Величина  $b$  для любой точки определяется из соотношения  $r + g + b = 1$ . В этом случае мы используем для цветового треугольника удобную и привычную форму прямоугольной системы координат на плоскости.

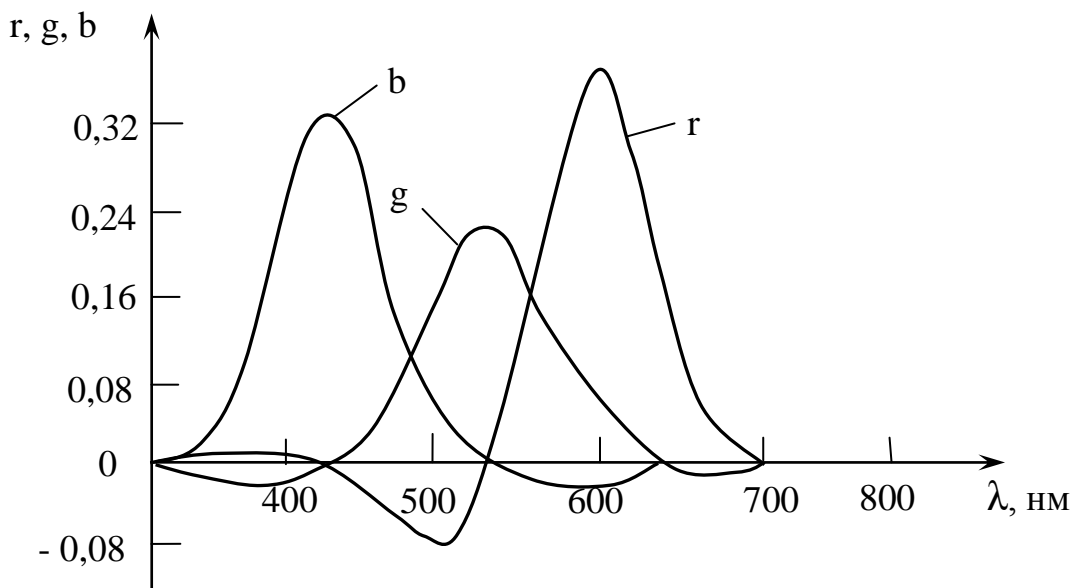


Рис. 3.9. Трехцветные коэффициенты в системе RGB

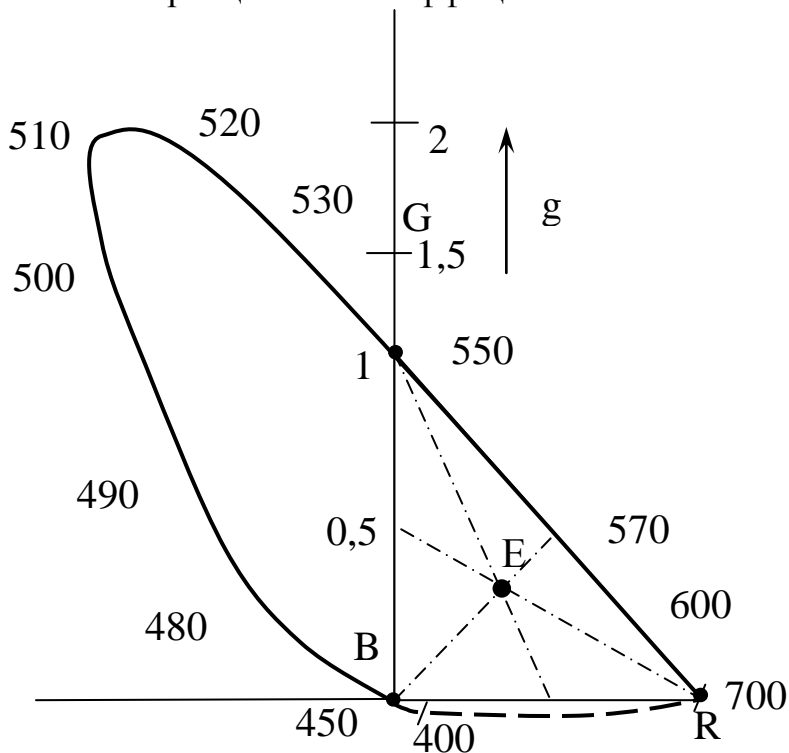


Рис. 3.10. Цветовой треугольник RGB с линией спектральных цветов

### 3.4.2. Координатная система XYZ

Напомним, что в эксперименте CIE существенную часть чистых спектральных цветов уравнивать не удалось (исследователи были вынуждены прибегнуть к сознательному «загрязнению» чистых цветов основными цветами), в результате чего в цветовой координатной системе CIE RGB некоторые цвета имеют отрицательные координаты. Последнее создает большие неудобства и при математических расчетах. Поэтому, вскоре после возникновения CIE RGB, была предложена другая цветная координатная система, которая получила название CIE XYZ (по трем координатным осям – XYZ). ЦКС CIE XYZ не имеет отрицательных значений и обладает рядом положительных свойств, упрощающих вычисления.

В основу выбора новой колориметрической системы XYZ положено требование максимального упрощения цветных расчетов. Для этого нашли необходимым, чтобы система XYZ удовлетворяла следующим основным условиям:

- все существующие цвета должны выражаться только положительными компонентами;
- сумма равных компонент должна давать белую смесь W (равноэнергетическую);
- положение точки белого цвета W должно занимать центр тяжести некоторого треугольника.

В системе XYZ надо взять вместо треугольника RGB другой треугольник, построенный так, чтобы вся область реально существующих цветов лежала внутри него. Для того чтобы этого достигнуть, вершины треугольника придется вынести за область реальных цветов. Иначе говоря, вместо действительно существующих основных цветов R, G и B придется взять некоторые воображаемые, реально не существующие цвета, или «стимулы», обладающие значительно большей насыщенностью, чем цвета спектра. Может показаться, что система таких воображаемых цветов на практике будет непригодна. На самом деле именно практика потребовала их введения, поскольку это упрощает расчеты цвета. Цвета эти принято обозначать буквами X, Y и Z. Цвет X можно назвать сверхкрасным, Y – сверхзеленым, а Z – сверхсиним. Относительные количества этих трех цветов, необходимые для получения данного цвета, принято обозначать малыми буквами x, y и z. При таких обозначениях цветное уравнение принимает вид

$$F = xX + yY + zZ,$$

причем и здесь, конечно, должно быть

$$x + y + z = 1.$$

Имея значения цветных координат для спектрально-чистых цветов, можно вычислить цветные координаты и для цветных ощущений, вызываемых светом сложного спектрального состава.

Равнобедренный цветной треугольник, соответствующий этой ЦКС, представлен на рис. 3.11, а прямоугольный на рис. 3.12. Мы видим, что вся область реальных цветов (локус) теперь лежит внутри треугольника. При этом все

трехцветные коэффициенты будут иметь положительные значения (рис. 3.13). Графически цветовые координаты всех цветовых ощущений, которые может испытывать человек, будут представлять собой некую объемную фигуру в пространстве данной ЦКС. Эту фигуру можно назвать пространством цветовых ощущений человека или **цветовым пространством** человека.

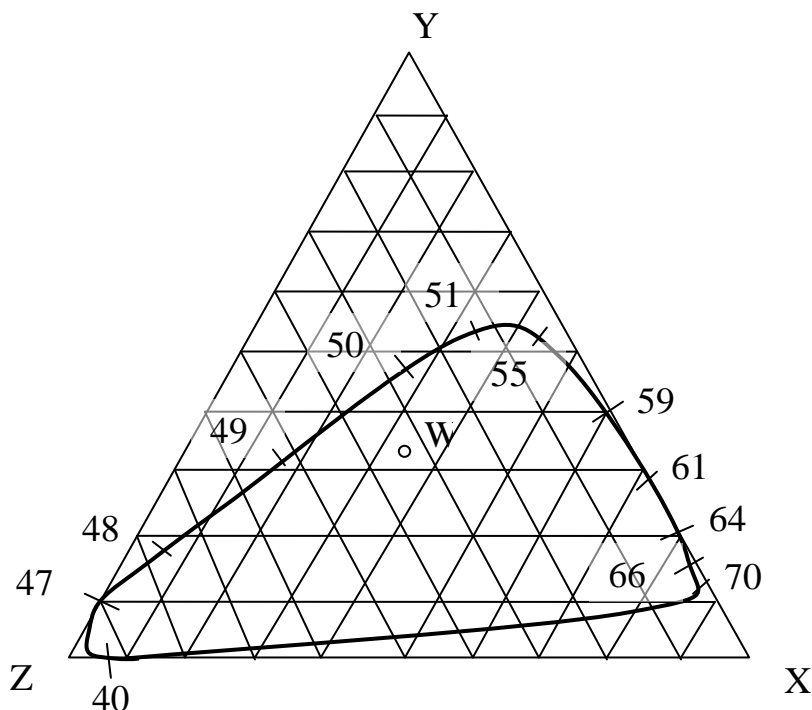


Рис. 3.11. Цветовой равнобедренный треугольник XYZ с локусом

Следует помнить, что цветовое пространство человека не заполняет собою весь объем той или иной координатной системы.

Заметим, что в отношении цветовоспроизводящих аппаратов нельзя говорить о цветовом пространстве сканера, принтера или печатного станка: они не испытывают ощущений, а могут только регистрировать или воспроизводить различные спектры, вызывающие цветовые ощущения в определенной ограниченной части цветового пространства человека. Эта часть цветового пространства человека называется **цветовым охватом** данного аппарата.

Когда возникает необходимость продемонстрировать цветовой охват того или иного устройства, прибегают к еще одной координатной системе –  $xuY$  (рис. 3.14). ЦКС  $xuY$  получена из ЦКС XYZ путем простого математического пересчета:

$$\begin{aligned}x &= X/(X+Y+Z); \\y &= Y/(X+Y+Z); \\Y &= Y.\end{aligned}$$

Оси «x» и «y» – это оси цветности, а ось «Y» – ось светлоты. На диаграммах принято изображать не сам охват, а его проекцию на плоскость «xy». Так удобнее, поскольку, с одной стороны, создание пространственных диаграмм – довольно хлопотное дело, с другой стороны – восприятие пространст-

венной иллюстрации также затруднено. В координатах  $xu$  обычно отображают locus – набор всех цветов, воспринимаемых глазом.

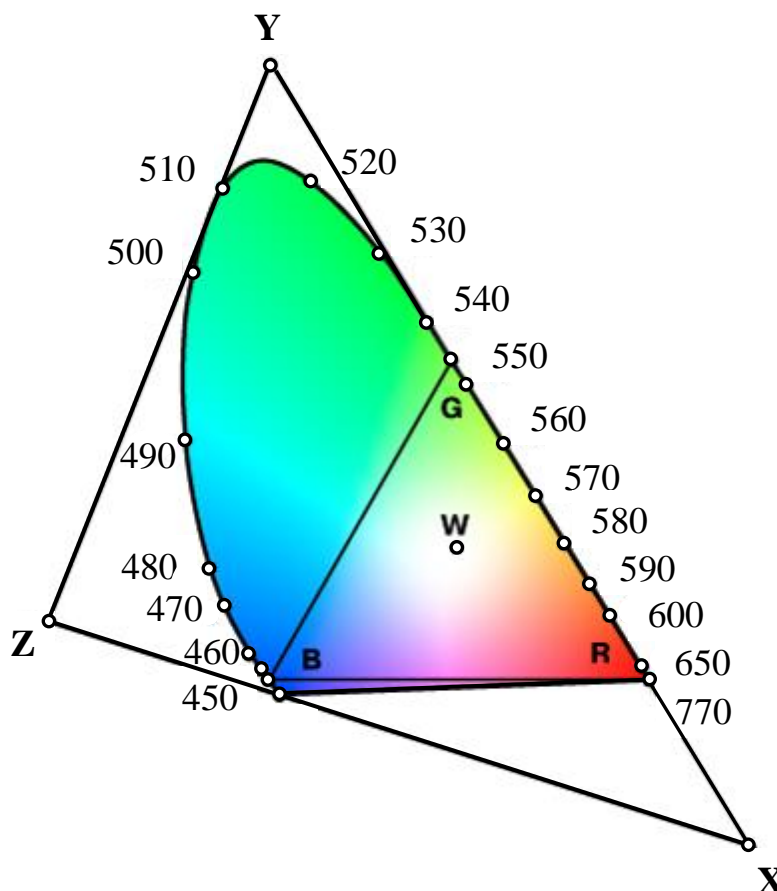


Рис. 3.12. Цветовой прямоугольный треугольник XYZ с локусом

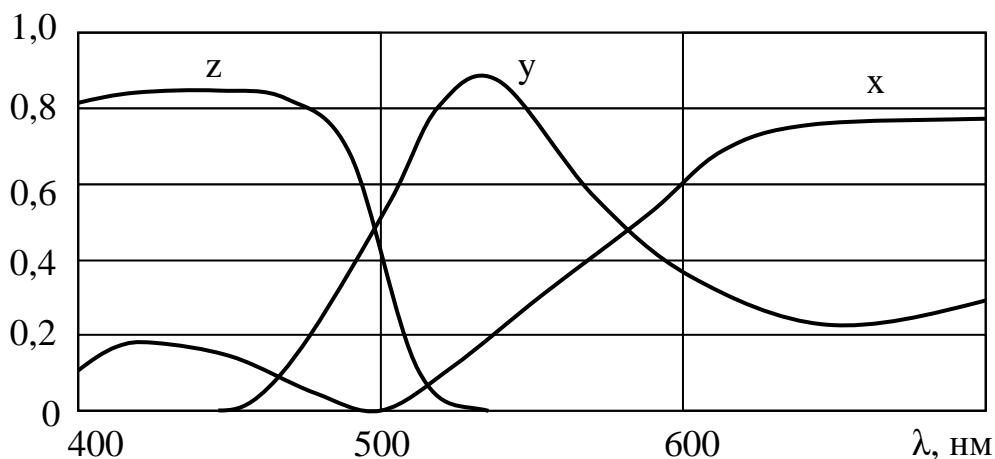


Рис. 3.13. Координаты цветности в системе XYZ

При этом считается, что яркость этих цветов равна нулю. Конечно, физически нельзя получить или даже представить себе цвета, яркость которых была бы равна нулю. Но в колориметрических расчетах мы совершенно свободно можем отделять яркость от цветности, так как эти характеристики независимы друг от друга.

Диаграмма, приведенная на рис. 3.15, поясняет физическую природу использования вышеописанной проекции. Из рисунка видно, что максимальное цветовое пространство соответствует нулевой светлоте. По мере роста светлоты цветовое пространство уменьшается.

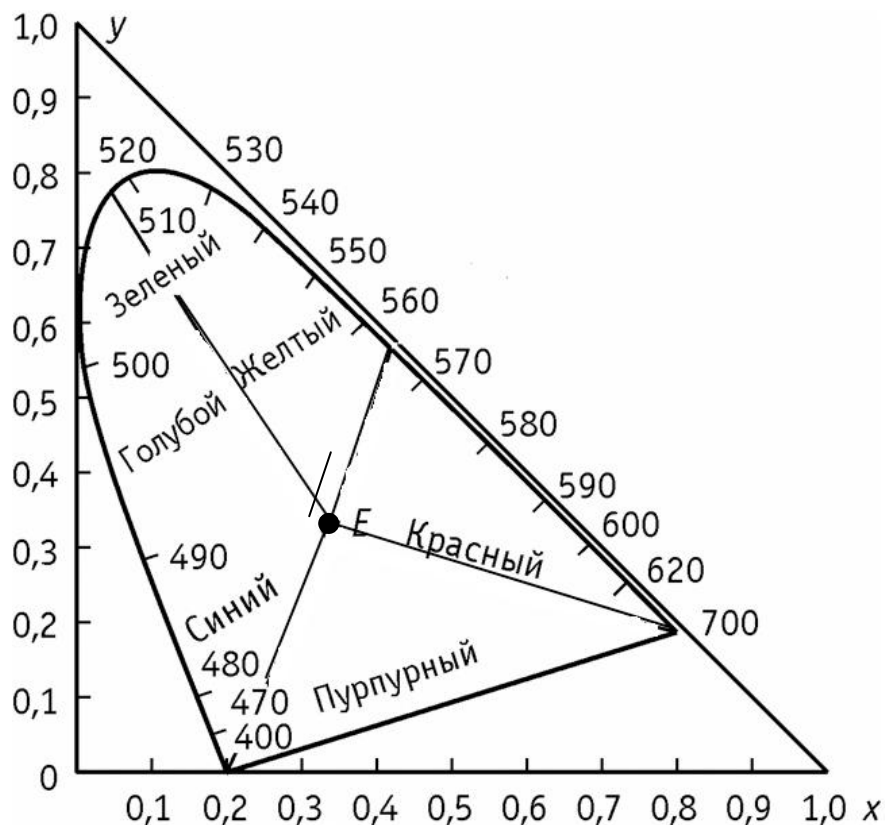


Рис. 3.14. Координатная система хуY

Системы XYZ и хуY получили широкое распространение. Одним из существенных недостатков этих цветовых пространств является то обстоятельство, что одинаковым изменениям численных координат цвета не соответствуют равнозначные изменения цветовых ощущений. Иначе говоря, разница между двумя соседними цветами, находящимися в одной области графика будет не так ощутима, как разница между двумя соседними цветами, находящимися в другой области графика. Из-за этого мы вынуждены говорить о перцептуальной нелинейности цветовых координатных систем. Перцептуально линейной (однородной) называется система, в которой равные изменения одного значения дают такие же изменения внешнего вида независимо от исходного значения. Если бы, например, система RGB была бы перцептуально однородной, то изменение значения компонента R с 1 до 11 давало бы такое же увеличение ощущаемого красного цвета, как и изменение с 101 до 111. Однако это не так, и, следовательно, вычисление расстояния между двумя цветами на основе RGB-значений не является мерой того, что мы воспринимаем как разницу между ними. Это в

свою очередь затрудняет поиск ближайшего цветового соответствия, особенно при работе с ограниченной палитрой.

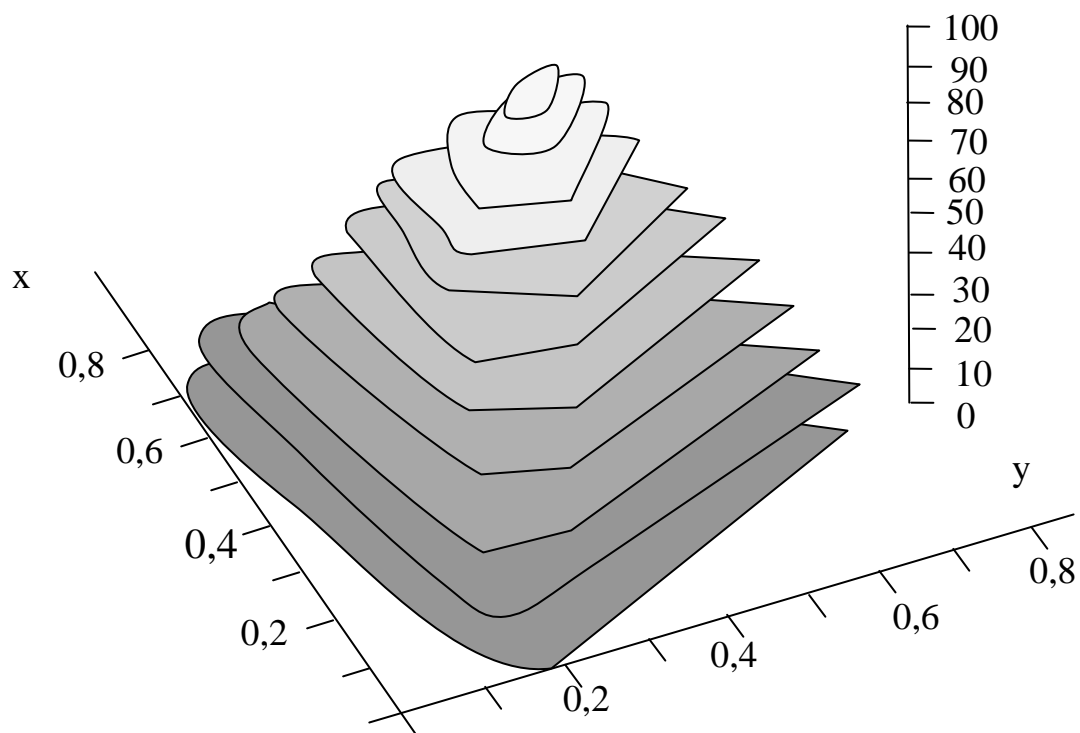


Рис. 3.15. Диаграмма цветности  $xuY$

Для определения нелинейности цветовых координатных систем исследователь Мак Адам провел серию опытов с целью выяснить пороги цветоразличения для различных цветов и получил интересные данные, которые четко показывают, что области порогов изменения цветности, границы которых для среднего наблюдателя соответствуют областям визуально одинаковой цветности на графике  $xuY$  МКО 1931 г. имеют форму эллипсов, имеющих разный размер и наклон своих осей. Эти эллипсы так и были названы в цветоведении эллипсами Мак Адама. Эти эллипсы, нанесенные на график МКО 1931 г. (для наглядности представления эллипсы увеличены в 10 раз) показаны на рис. 3.16.

Анализ полученных Мак Адамом данных показывает, что неравномерность цветовых координат достигает 80 крат.

Понятно и оправданно стремление ученых создать зрительно однородное цветовое пространство, однако полностью решить эту задачу до настоящего времени не удастся. Наибольшее распространение получила ЦКС CIE  $L^*a^*b^*$ , рассчитываемая из CIE XYZ по сложным эмпирическим формулам. Просим читателя лишь всегда помнить о том, что ЦКС  $L^*a^*b^*$  получена путем пересчета из ЦКС XYZ, т.е. является, в конечном итоге, производной CIE RGB.

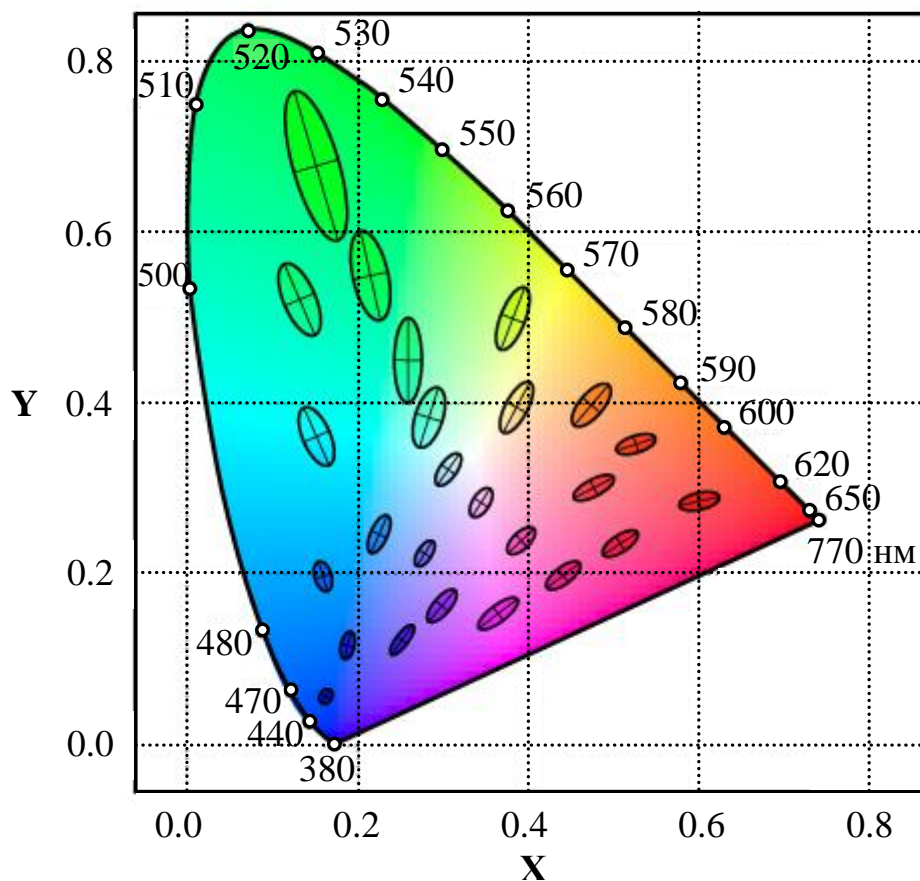


Рис. 3.16. График, поясняющий неравномерность цветковых координат

### 3.4.3. Координатная система $L^*a^*b^*$

ЦКС  $L^*a^*b^*$  разработана в 1976 году и до настоящего времени продолжает совершенствоваться. Хорошо сбалансированная структура ЦКС  $L^*a^*b^*$  основана на той теории, что цвет не может быть одновременно зеленым и красным или желтым и синим. Следовательно, для описания атрибутов «красный/зеленый» и «желтый/синий» можно воспользоваться одними и теми же осями.

В ЦКС CIE  $L^*a^*b^*$ , величина  $L^*$  обозначает светлоту (Luminance, Light),  $a^*$  – величину красной/зеленой составляющей,  $b^*$  – величину желтой/синей составляющей (рис. 3.21). «Звездочки» означают разработку системы специалистами CIE, поскольку существует ряд малоиспользуемых Lab-ов, отличающихся от CIE  $L^*a^*b^*$  по масштабу. Яркость в системе  $L^*a^*b^*$  полностью отделена от цвета. Это делает модель удобной для регулирования контраста, резкости и других световых характеристик изображения.

После разработки системы  $L^*a^*b^*$  оказалось, что она удивительно соответствует биологическому механизму восприятия цвета человеком. Американцы Давид Хьюбл и Торстен Вайзел получили Нобелевскую премию 1981 года за исследование зрения. В числе прочего они показали, что глаз предоставляет в мозг вовсе не информацию о красном, зеленом и синем. Вместо этого мозг получает информацию о разнице светлого и темного, о разнице зеленого и



красного, а также – синего и желтого, где желтый – сумма красного и зеленого. Согласитесь, очень похоже на  $L^*a^*b^*$ ! Но именно похоже, но не совпадает.

Система  $L^*a^*b^*$  является одной из самых распространенных моделей в полиграфии. При любом преобразовании изображения из одной цветовой системы в другую программа Photoshop вначале выполняет внутреннее преобразование в систему  $L^*a^*b^*$ .  $L^*a^*b^*$  – это превосходная система передачи цветовой информации от одной машины к другой. Эта система при расчете цвета используется большинством аппаратно-независимых систем управления цветом, а также многими сканерами.

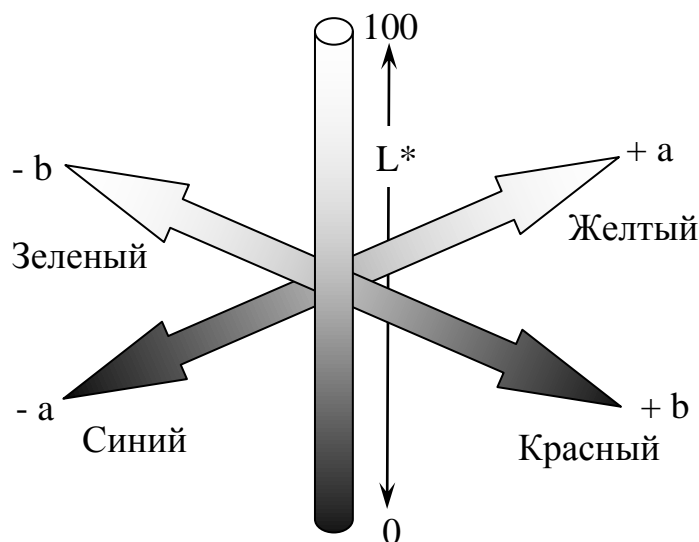


Рис. 3.17. Координатная система CIE  $L^*a^*b^*$

Насколько Lab-величины реальны, а насколько произвольны, видно из формул, полученных экспериментально:

$$a^* = 500(\sqrt[3]{X/X_n} - \sqrt[3]{Y/Y_n})$$

$$b^* = 200(\sqrt[3]{Y/Y_n} - \sqrt[3]{Z/Z_n})$$

Почему в формулах используются кубические корни, а не логарифмы? Почему взято число 500, а не 499? В конце концов, почему вообще именно эти формулы? Физического объяснения этому не существует, просто такие цифры более или менее работают. Все это не значит, что система  $L^*a^*b^*$  плохая, напротив, это самая лучшая из доступных систем, хотя и не идеальная.

Но даже и в ЦКС  $L^*a^*b^*$  неравномерность восприятия при переходе от серого (центральная ось) к насыщенным цветам (периферия) достигает 6 крат.

#### 3.4.4. Аппаратно-пространственная система YCbCr

Аппаратно-пространственная система YCbCr используется в телевидении и служит для сокращения передаваемой полосы частот за счет использования психофизиологических особенностей зрения. В этой модели Y – интенсивность

цвета, а  $C_b$  и  $C_r$  – синяя и красная цветоразностные компоненты. Кодирование изображений в этой палитре существенно уменьшает количество информации, требуемой для воспроизведения изображения без существенной потери его качества. Для преобразования палитры RGB в YCbCr пользуются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} Y &= 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B \\ C_b &= 0,1678 R - 0,3313 G + 0,5 B \\ C_r &= 0,5 R - 0,4187 G + 0,0813 B \end{aligned}$$

### 3.4.5. Интуитивные цветовые системы

Интуитивные цветовые системы любят компьютерные художники, так как, будучи людьми творческим, они не хотят «забывать себе голову» совершенно непонятными для них понятиями и терминами. Для художника совершенно понятны такие термины как цветовой тон, светлота и насыщенность цвета. Наибольшее использование находит система HSB. Цветовое пространство HSB (**H**ue – оттенок, **S**aturation – насыщенность, **B**rightness – яркость) является вариантом системы RGB и также базируется на использовании основных цветов. Из всех используемых в настоящее время цветовых пространств эта система наиболее точно соответствует способу восприятия цветов человеком. Она позволяет описывать цвета интуитивно ясным и привычным способом.

В этой системе все цвета определяются с помощью комбинации трех базовых параметров: оттенок, насыщенность, яркость.

Напомним, что оттенок – это длина доминирующей световой волны, отраженной или прошедшей через объект. Обычно для описания оттенка (в некоторых источниках применяется термин **Цветовой тон**) используется название цвета, например красный, оранжевый или зеленый. В традиционной интерпретации этой системы каждый оттенок занимает определенное положение на периферии цветового круга и характеризуется величиной угла в диапазоне от 0 до 360 градусов.

На цветовом круге (рис. 3.18) первичные цвета (красный, синий, зеленый) расположены на равном расстоянии друг от друга. Вторичные цвета находятся между первичными. Каждый цвет расположен напротив дополняющего его цвета, причем он находится между цветами, с помощью которых он получен. Например, сложение желтого и голубого цветов дает зеленый. Таким образом, на цветовом круге зеленый цвет должен располагаться между желтым и синим.

Чтобы усилить в изображении какой-либо цвет, нужно ослабить дополняющий его цвет (расположенный напротив него на цветовом круге). Например, чтобы изменить общее цветовое содержание изображения в сторону зеленого цвета, следует снизить в нем содержание пурпурного цвета. Хотя оранжевый или фиолетовый не являются первичными или вторичными цветами, они показаны на круговой диаграмме цветов, чтобы проиллюстрировать их положение относительно других цветов.

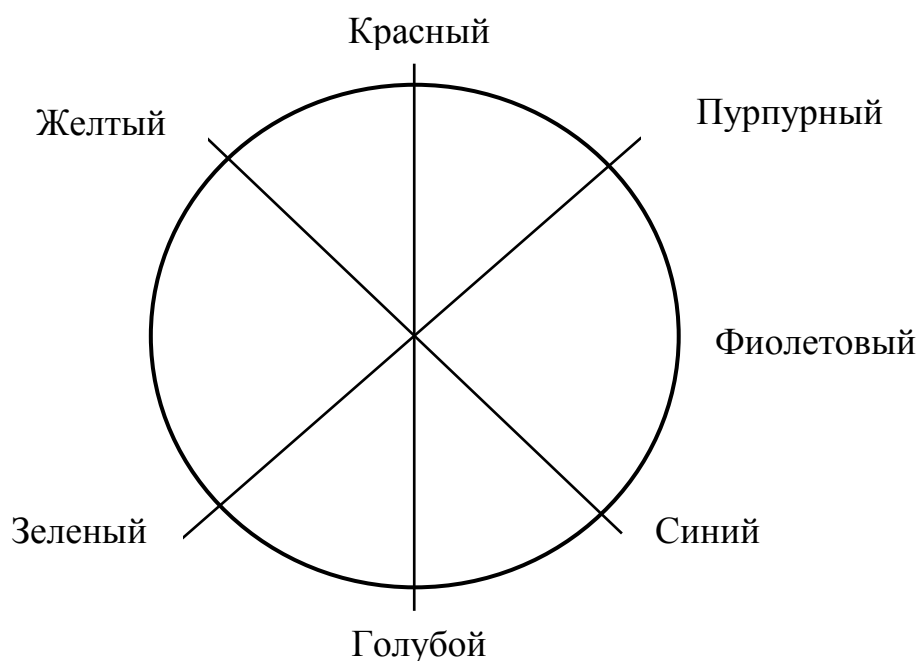


Рис. 3.18. Цветовой круг

Насыщенность описывает глубину (степень чистоты) цвета. Иногда ее ассоциируют с силой цвета. Она определяет соотношение между основным, доминирующим, компонентом цвета и всеми остальными длинами волн, участвующими в формировании цвета. Математически это выражается в процентах от 0% (серый) до 100% (полностью насыщенный). На цветовом круге насыщенность цвета падает по мере смещения к его центру, поскольку при этом все базовые цвета смешиваются в равной пропорции, и цвет приближается к серому. Чем выше значение насыщенности, тем сильнее и яснее ощущается оттенок. Например, пастельный синий цвет воспринимается как размытый синий цвет из-за незначительного содержания в нем чистого оттенка. Снижение насыщенности приводит к тому, что цвет становится нейтральным без четко выраженного тона. Примерами «полностью» нейтральных (ахроматических) цветов могут служить серый, белый и черный цвета. Содержание этих цветов в слабо насыщенном цвете дается с помощью третьего цветового компонента, называемого яркостью.

Яркость характеризует относительную освещенность или затемненность цвета (светлоту цвета). Любые цвета и оттенки, независимо от их цветового тона, можно сравнить по яркости, то есть определить, какой из них темнее, а какой светлее. Вы можете изменить яркость цвета, добавив в него белила или воду. В этом случае красный цвет станет розовым, синий – голубым, зеленый – салатным и т.д. Количественно величина этого параметра измеряется в процентах в диапазоне от 0% (черный) до 100% (белый). Яркость является нелинейным компонентом, что соответствует нашему восприятию светлых и темных цветов.

Ахроматические цвета характеризуются только яркостью. Это проявляется в том, что одни цвета темнее, а другие светлее.

Яркость – качество, присущее как хроматическим, так и ахроматическим цветам. Поэтому по яркости можно сравнивать между собой любые цвета и оттенки. У художников принято светлотные отношения называть тональными. Поэтому различают светлотный и цветовой тон. Когда говорят, что картина написана в светлых тонах, то, прежде всего, имеют в виду светлотные отношения, а по цвету она может быть самой разной. Яркость и цветовой тон не являются полностью независимыми параметрами. Изменение яркости изображения влияет на изменение цветового тона, что создает нежелательный цветовой отлив (сдвиг) в изображении. Так, при значительном уменьшении яркости зеленые цвета синеют, синие приближаются к фиолетовым, желтые приближаются к оранжевым, а оранжевые – к красным.

Объемное тело данной цветовой системы представляет собой перевернутый конус (рис. 3.19).

Существуют несколько разновидностей системы HSB, в которых яркостная и цветовая характеристики рассматриваются отдельно, например, HSI, HLS, YUV. Подчеркнем, что во всех этих системах цвет задается не как смешение трех цветов, а по значениям цветового тона, насыщенности и интенсивности. Например, в системе HSI используется тон (**H**ue), насыщенность (**S**aturation) и интенсивность (**I**ntensity), а в модели HLS – тон (**H**ue), насыщенность (**S**aturation) и светлота (**L**ightness).

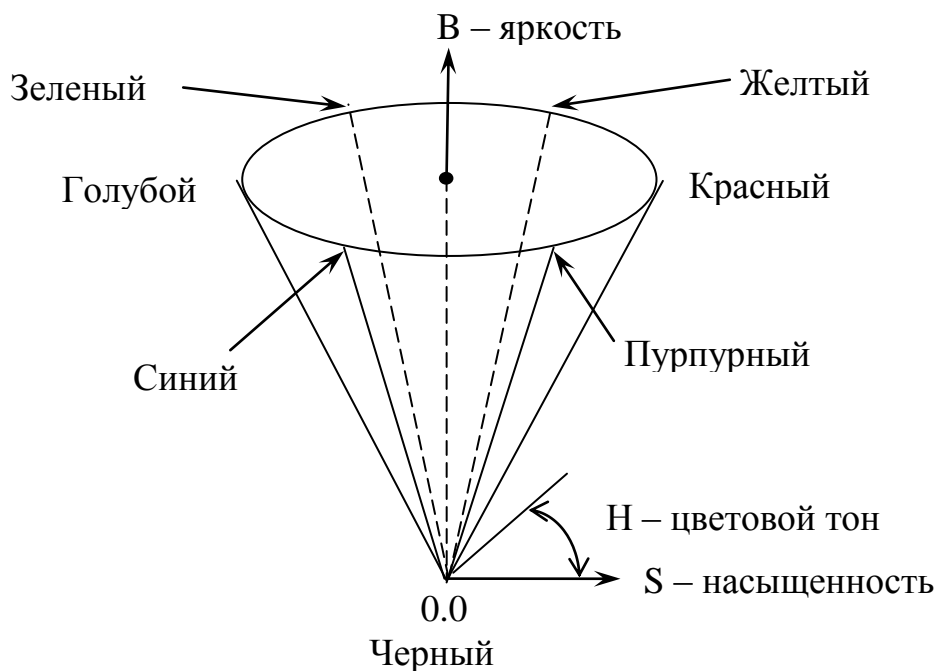


Рис. 3.19. Цветовая система HSB

### 3.5. Цветовые модели

Как мы уже говорили, человечество очень давно решает проблему воспроизведения цветовых ощущений. Смешивая природные красители, люди интуитивно добивались того, чтобы спектральный состав света, отраженный от изображения, вызывал соответствующее цветовое ощущение. Художники соз-

дали целые интуитивные системы, в которых цветовые ощущения вызывались смешением большого числа базовых красок.

Со временем ученые выяснили, что подавляющее большинство цветов можно передать, создавая спектр отражения из трех базовых красителей. Это могут быть или красный, зеленый и синий, или голубой, пурпурный и желтый. Вообще говоря, это может быть любая тройка спектрально-чистых цветов, при условии, что каждый из них не может быть представлен в виде суммы каких-либо двух других цветов из тройки. (Однако, как мы видели, в экспериментах CIE далеко не все цвета удалось воспроизвести.)

Задача состоит в том, чтобы с помощью базовых спектральных цветов смоделировать некий спектр, который вызовет определенное, необходимое нам, цветовое ощущение. Поэтому при воспроизведении цвета мы говорим о **цветовых моделях**.

**Необходимо четко различать цветовые модели и цветовые координатные системы: в первом случае речь идет о способе воспроизведения цветовых ощущений, а во втором – об измерении этих ощущений.**

В практике цветовоспроизведения используются всего лишь две широко известных модели цветовоспроизведения: RGB и CMY (CMYK). В модели RGB используются цвета Red (красный), Green (зеленый), Blue (синий), а в модели CMY – Cyan (голубой), Magenta (пурпурный), Yellow (желтый).

Аппаратов, моделирующих спектры на основе ЦКС XYZ,  $L^*a^*b^*$  или HSB, не существует, поэтому нельзя сказать: «Мы перевели изображение из цветовой модели RGB в цветовую модель CIE  $L^*a^*b^*$ ». В действительности мы определили для значений модели RGB, реализованной в данном конкретном аппарате, цветовые координаты в цветовой координатной системе CIE  $L^*a^*b^*$ .

### 3.5.1. Цветовая модель RGB

RGB-модель особенно удобна для устройств, которые сами излучают световые волны. Типичным примером может служить экран монитора или телевизора. Если вы будете рассматривать экран монитора через лупу, то увидите, что изображение состоит из множества отдельных точек, которые могут быть красными, зелеными или синими. Когда вы рассматриваете изображение с некоторого расстояния, эти цветовые составляющие сливаются, и возникает цельное цветовое впечатление. Для установления цвета и яркости точек изображения на мониторе нужно лишь задавать интенсивности красной, зеленой и синей составляющих для этих точек. Цветовую RGB-модель принято называть аддитивной цветовой моделью, так как цвет образуется в результате сложения трех составляющих.

Цветовая модель RGB может показаться очень простой, но при ее практическом применении встречаются две серьезные проблемы. Первая – это ее зависимость от аппаратуры, вторая же связана с тем, что технически невозможно получать все цвета путем аддитивного цветового синтеза.

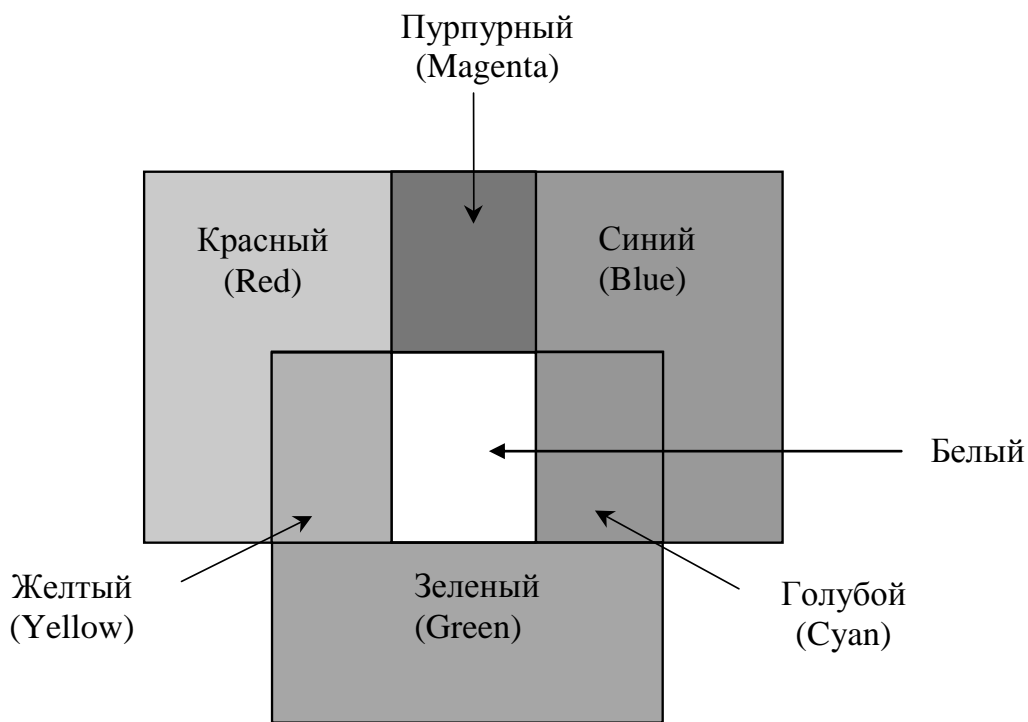


Рис. 3.20. Образование цветов в модели RGB

Аппаратная зависимость заключается в том, что цвет, возникающий в результате такого смешения, зависит от спектральных характеристик источника света и качества используемых светофильтров.

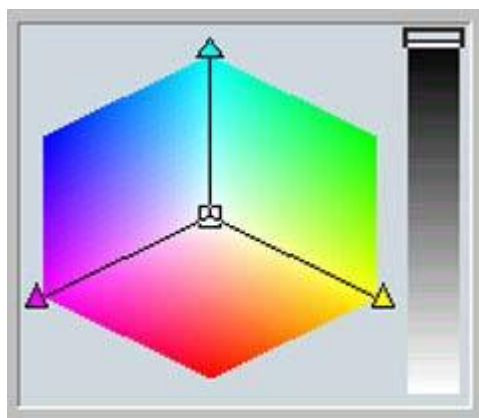


Рис. 3.21. Пространственное представление модели RGB

Пространственный образ этой модели представляет собой куб, один из углов которого расположен в начале координат, а его ребра совпадают с координатными осями. Каждой из осей соответствует один из основных цветов, а текущим значением каждой координаты является его относительное количество, любой из цветов спектра может быть описан только этими тремя числами. При этом начало координат с нулевыми значениями цветов символизирует полюс темноты, или черного цвета, а диагонально противоположная ей вершина куба – белый, или светлый полюс. Сама же диагональ куба играет роль шкалы

градаций серого. Мысленно повернув куб так, чтобы шкала градаций серого приняла вертикальное положение, мы можем убедиться, что эта модель тоже является одной из разновидностей обобщенной модели, построенной на треугольной базовой плоскости. Из этого следует, что ее цвета могут быть описаны и прежним способом.

### 3.5.2. Цветовые модели CMY и CMYK

Когда вы наблюдаете цвет, созданный на экране компьютера, он основывается на свете, испускаемом вашим монитором. Так как печатная страница не испускает никакого света, цветовая RGB-модель не может быть использована при создании цветов для напечатанной страницы. Вместо этого для описания печатных цветов используется цветовая модель **CMY**.

В ее основе лежит использование трех субтрактивных цветов: голубого (Cyan), пурпурного (Magenta) и желтого (Yellow).

Пространственный образ модели CMY аналогичен образу модели RGB (рис.3.22): в начале координат расположен белый полюс, а на противоположной вершине куба – черный. Оси пространственных координат, как и в модели RGB, отождествлены с основными цветами модели. Эта модель предназначена для работы с отраженным светом. Она достаточно хороша в качестве теоретической и удобна для сравнительного анализа связи между двумя видами света.

Субтрактивные цвета в отличие от аддитивных цветов получаются вычитанием какого-либо цвета из общего луча света. В этой системе белый цвет появляется как результат отсутствия всех цветов, тогда как их присутствие дает черный цвет. Система субтрактивных цветов работает с отраженным светом, например, от листа бумаги. В последнее время в качестве синонима термина субтрактивная используют термин «исключающая». Происхождение этого названия связано с явлением отражения света от покрытой красителем поверхности, а также тем фактом, что при добавлении красителей интенсивность света уменьшается, поскольку свет поглощается тем больше, чем больше красителя нанесено на поверхность.

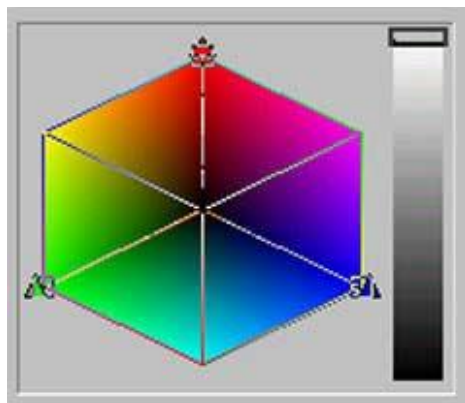


Рис.3.22. Пространственное представление модели CMY (CMYK)

При использовании трех основных субтрактивных цветов на белой бумаге в равной пропорции должен, как уже упоминалось, получиться черный цвет. Однако, максимум, чего можно добиться смешиванием всех трех красок с максимальной интенсивностью – это грязно-коричневого цвета. Объясняется это тем, что применяемые на практике цветные красители по своим отражательным и поглощающим характеристикам оказываются далеко не столь идеальными, как этого бы хотелось. Поэтому при цветной печати, как правило, не удовлетворяются черным цветом, который может быть получен с помощью трех основных цветов. Для повышения контрастности применяют еще чисто черный краситель, который обеспечивает лучшее зачернение, чем любой черный, который мог быть получен печатью с наложением основных цветов. Поэтому при печати в качестве печатных цветов применяют голубой, пурпурный, желтый и черный цвета. Таким образом, наша модель **СМУ** превратилась в модель **СМУК**.

В аббревиатуре модели **СМУК** (произносится си-мак) используется буква **К** для того, чтобы избежать путаницы, поскольку в английском языке с буквы **В** начинается не только слово **Black** (черный), но и **Blue** (синий).

Модель **СМУК** была сформирована при появлении цветной печати. Она представляет собой выжимку из работ художников, которые столетиями занимались тем, что смешивали краски для получения нужного цвета. Правда, их палитры включают в себя больше красок, но условия печати диктуются в значительной мере и экономистами, которые говорят, что для отображения всех цветов в мире достаточно и четырех красок.

Заметим, что сетчатка человеческого глаза воспринимает цвет также в соответствии с субтрактивной моделью. Как известно, солнечный цвет содержит все видимые цвета. Когда солнечный цвет падает на какой-либо объект, часть цветов поглощается, а часть – отражается. Отраженный цвет попадает в глаз и образует изображение объекта. Например, огнетушитель выглядит ярко-красным лишь потому, что его поверхность почти полностью поглощает весь синий и зеленый цвет, отражая только красный.

Смешивание цветов в системе **СМУК** прямо противоположно смешиванию составляющих в системе **RGB**, что поясняет рис. 3.23.

Пространственный образ модели **СМУ** аналогичен образу модели **RGB**: в начале координат расположен белый полюс, а на противоположной вершине куба – черный. Оси пространственных координат, как и в предыдущем случае, отождествлены с основными цветами модели. Эта модель предназначена для работы с отраженным светом. Она достаточно хороша в качестве теоретической и удобна для сравнительного анализа связи между двумя видами света.

За время существования офсетного способа печати по модели **СМУК** было разработано большое количество всевозможных стандартов и способов инструментальных измерений, но все они замкнуты в рамках данной цветовой модели и данного способа печати.



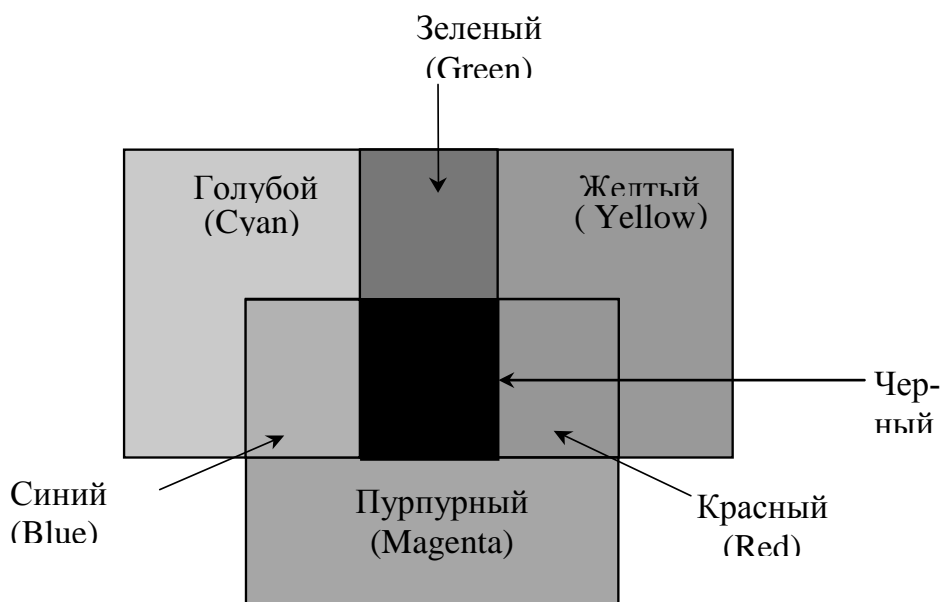


Рис. 3.23. Образование цветов в модели CMYK

Несмотря на стандартизацию, разные печатные машины формируют несколько разное цветовое ощущение при одних и тех же исходных аппаратных данных. Сложность заключается в том, что если на двух разных высококлассных офсетных печатных машинах отпечатать голубым 35% площади, пурпурным 70%, желтым 95% и черным 5% ( $C=35$ ;  $M=70$ ;  $Y=95$ ;  $K=5$ ), то цвета в результате не получатся идентичными. А если то же задание дать принтеру, флексографской печатной машине или даже офсетному станку не самого высокого класса, то мы получим принципиально разные цветовые ощущения. Кроме того, большое значение имеет поверхность, на которой производится печать, так как результаты цветовоспроизведения на различных материалах могут кардинально различаться. Поэтому, когда в файле мы видим данные:  $C=35$ ;  $M=70$ ;  $Y=95$ ;  $K=5$ , мы не можем сказать, какому цвету они соответствуют. Для того чтобы узнать это, нам необходимо знать, какой аппарат будет выполнять печать.

На рис. 3.24 представлен цветовой охват описанных моделей RGB и CMYK. Из рисунка видно, что ни та, ни другая системы не позволяют получить цветовой охват, соответствующий человеческому глазу.

Если это будет офсетный печатный станок, работающий по Евростандарту или другому общепринятому стандарту печати, то в специальных таблицах мы можем увидеть этот цвет и узнать его цветовые координаты (но только приблизительно, без учета бумаги).

Если это будет принтер, флексографическая машина или другое нестандартизированное устройство, то, основываясь на опыте работы с этими аппаратами, мы можем представить себе, каким будет цветовое ощущение, но его цветовые координаты останутся неизвестны. Общепринятое выражение «цвет со значением  $C35 M70 Y95 K5$ » неверно по определению, поскольку данная ком-

бинация плотностей красок на разных устройствах воспроизводит разные цвета, т.е. точки с разными цветовыми координатами в цветовом пространстве человека. Иногда эти точки оказываются близки друг к другу, цвета довольно похожи, но все равно разные.

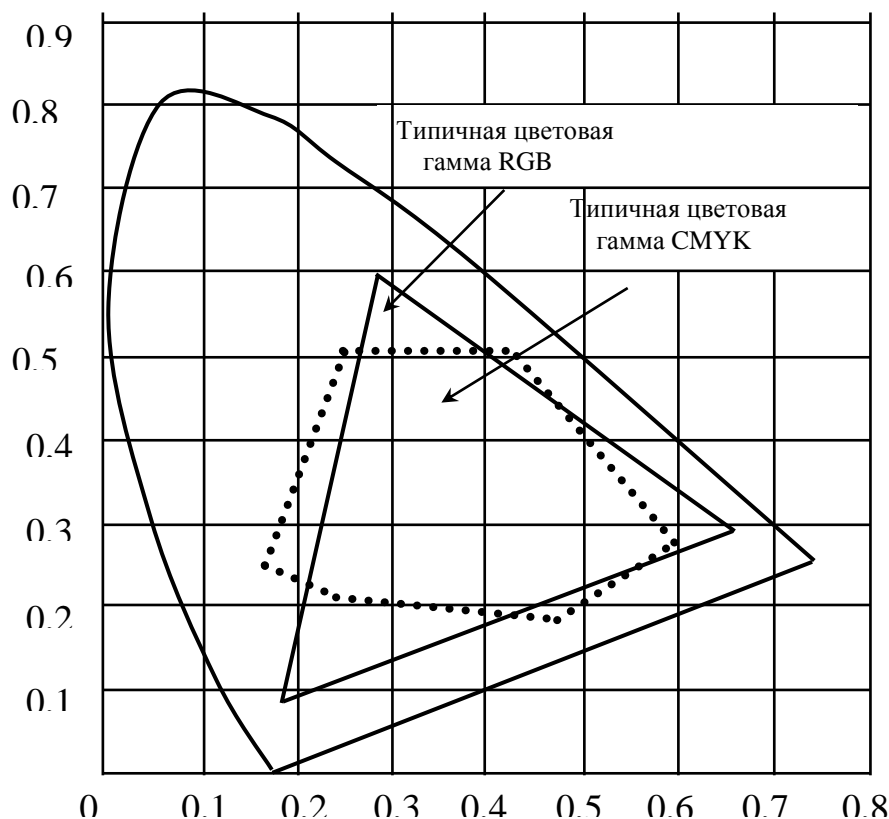


Рис. 3.24. Сопоставление возможностей моделей RGB и CMYK по графику CIE

Сами по себе данные  $C=35$ ;  $M=70$ ;  $Y=95$ ;  $K=5$  мало что говорят нам о цвете. Мы только можем сказать, что в большинстве случаев это будет какой-то красноватый оттенок, но на разных аппаратах он получится по-разному. Похожую картину мы уже наблюдали, рассматривая цветовую модель RGB.

Данные RGB и CMYK являются аппаратными данными, мало что говорящими о цветовых ощущениях без привязки к конкретному аппарату.

Типичные примеры цветового охвата для фотопленки, монитора и офсетного печатного станка приведены на рис. 3.25.

Как видно из рис. 3.25, монитор может отображать не всю цветовую информацию, присутствующую в изображении. С другой стороны, он отображает явно больше цветов, чем может быть получено с помощью самых лучших методов печати. Из-за этого возникают трудности при оценке того, как будет выглядеть после печати изображение, созданное с помощью компьютерной системы. Кроме того, вы, вероятно, замечали, что один и тот же цвет выглядит по-разному на разных мониторах, даже когда одно и то же графическое приложение работает на различных компьютерах.

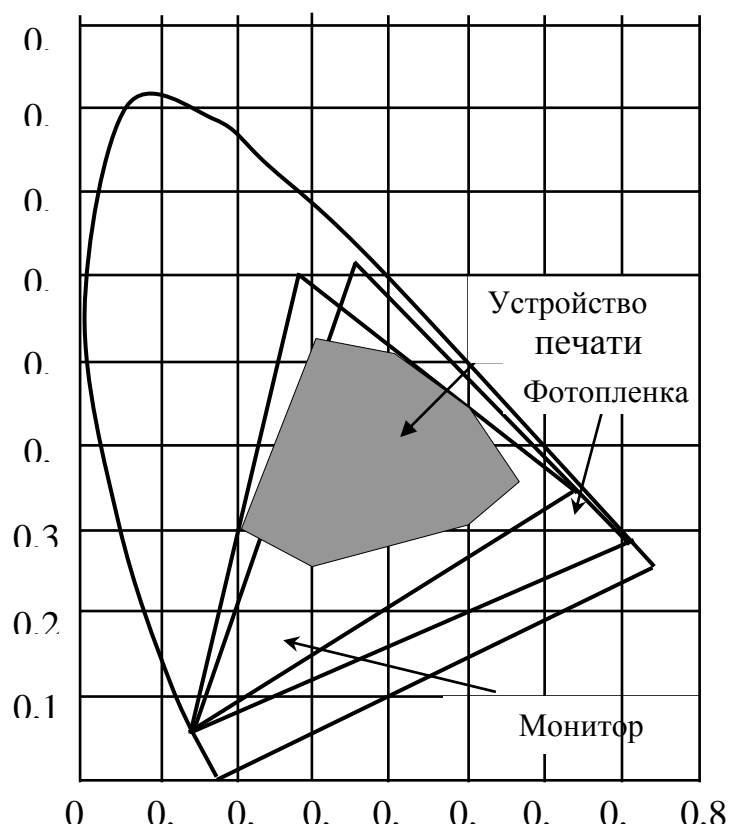


Рис.3.25. Цветовой охват фото пленки, монитора и устройства печати

Отсюда можно сделать вывод о том, что если в процессе цветообразования участвуют разные устройства, то цветом как-то необходимо управлять. Проблеме управления цветом посвящена следующая глава.

## ГЛАВА 4. УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТОМ

### 4.1. О происхождении проблемы управления цветом

Управлять цветом – все равно, что следить за здоровьем: все приблизительно представляют себе, что это такое, и большинство согласны, что это важно, но мало кто по-настоящему понимает, в чем оно заключается.

Главные пункты этой проблемы заключаются в следующем.

1. Человеческий глаз видит больше цветов, чем отображают цифровые устройства: сканеры, фотоаппараты, мониторы и принтеры.

2. Сканеры, фотоаппараты, мониторы и принтеры имеют разные цветовые охваты. Цвет, который мы видим, зависит от устройства, которое его производит. Мониторы отображают больше цветов, чем можно напечатать на принтере; некоторые печатаемые цвета нельзя увидеть на мониторе.

3. Не существует двух устройств или процессов с абсолютно одинаковыми

цветовыми охватами. Даже два принтера или монитора одного и того же производителя и модели могут различаться.

4. По мере обработки изображения, начиная с ввода и заканчивая выводом на печать, цветовой охват уменьшается.

5. Цвет в мониторах и принтерах представляется по-разному. Напомним, что монитор представляет цвета с помощью цветовой модели RGB путем сложения красной, синей и зеленой составляющих. Сканер также «видит» цвета оригиналов в системе RGB, так как для его анализа используются три соответствующих светофильтра. В печатном процессе воспроизведение цвета, как правило, осуществляется при помощи четырех основных красок: голубой, пурпурной, желтой и черной (СМΥК).

6. Способность обработки и воспроизведения цвета устройства меняется со временем, из-за освещения, а также из-за множества других условий.

Результатом этой многосторонней проблемы является то, что изображения на бумаге не всегда получаются такими, какими вы их себе представляли или видели на мониторе. Почти всегда цвета, отпечатанные на бумаге, выглядят тускло и блекло по сравнению с их более яркими экранными аналогами.

Таким образом, цель управления цветом представляется довольно простой: WYSIWYP, то есть What You See Is What You Print – что видим на экране, то и должно выводиться на печать. Конечно, небо в любом случае будет голубым, а трава – зеленой, но такие ли это голубой и зеленый цвета, как вам хотелось? Кроме того, от управления цветом зависит точность отображения деталей. Для того чтобы зеленые травинки отображались достаточно четко, необходимо большое количество точно воспроизведенных оттенков зеленого цвета.

В наиболее обобщенной и упрощенной форме управление цветом означает просто способ предсказуемой и повторяемой передачи цвета между разными устройствами – цифровыми фотоаппаратами, сканерами, мониторами, устройствами печати.

В редких счастливых случаях удастся купить новый принтер, подключить его и сразу, без настройки, получить великолепные отпечатки. Однако на практике изображение, прежде чем оно будет выведено на печать, проходит через многие руки, и на него оказывают влияние различные факторы: цифровые фотоаппараты, сканеры, компьютерное аппаратное обеспечение, операционные системы, графические редакторы, функции экранной цветопробы, мониторы и программное обеспечение принтера. На любом из этих этапов изображение может быть искажено. Даже на последнем этапе, при печати, на цвет изображения влияют чернила, бумага и технологии печати. На тернистом пути изображения слишком много моментов, когда что-то может пойти вкось, – и обычно оно так и идет.

Конечно, нам хотелось бы сделать так, чтобы все устройства «заговорили» на одном языке и чтобы они были совместимы при работе друг с другом.

Чтобы это реализовать, необходим надежный переводчик при обмене данными между устройствами системы. Такой переводчик был создан и назван **Color Management System** (система управления цветом, CMS).

Некоторые считают, что вокруг CMS зря поднимается так много шума. По их мнению, все, что нужно, – это использовать собственный опыт по работе с графическими файлами, правильно настроить монитор и принтер и просто привыкнуть к тому, как выглядит один и тот же цвет на том и другом устройстве. В случае различий следует либо настроить монитор, либо внести изменения в сам файл с изображением так, чтобы добиться максимального соответствия между монитором и принтером. Однако этот подход требует замкнутой системы, в которой постоянно участвуют один и тот же оператор, монитор, устройство печати, чернила, бумага. Стоит подключить к процессу других людей или другие устройства (например, обратиться в студию печати), как управляемость и предсказуемость теряются. Поэтому для качественной печати невозможно обойтись без системы управления цветом.

**Принципы построения систем управления цветом.** Структура системы управления цветом приведена на рис. 4.1.

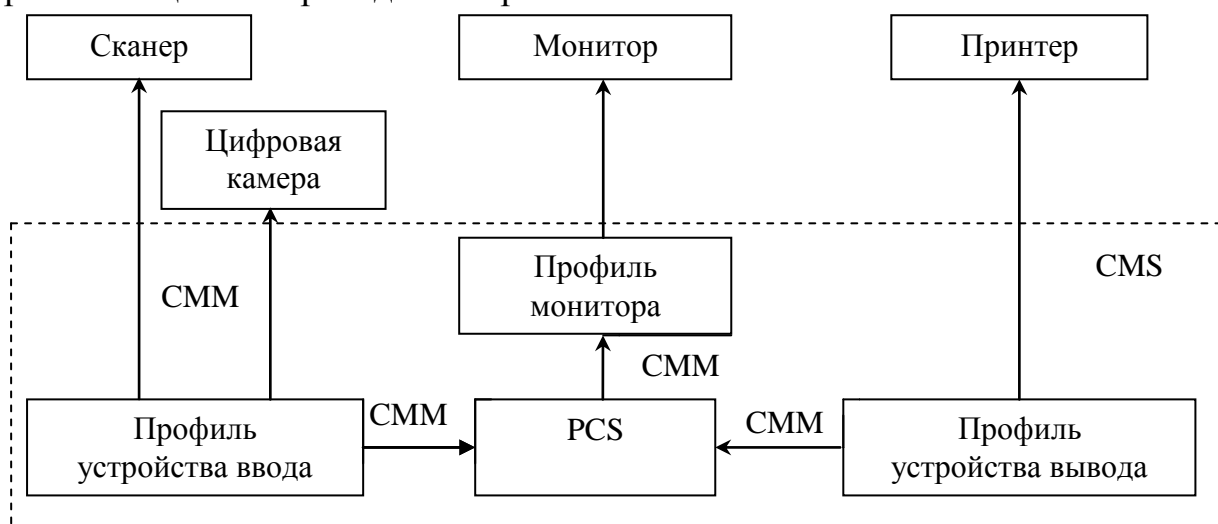


Рис. 4.1. Система управления цветом

Прототипом современных систем управления цветом является система ColorSync, созданная компанией Apple. Именно компанией Apple впервые было реализовано подключение системы управления цветом к операционной системе компьютера. Такой подход обеспечивает наибольшую эффективность, поскольку все аппаратные и программные компоненты, подключаемые к системе, могут напрямую включаться в систему управления цветом.

Для обеспечения совместимости системы ColorSync с другими платформами фирмой Apple было инициировано создание Международной комиссии по цвету (International Color Consortium, ICC), учредителями которой стали ведущие производители операционных систем, программ и аппаратуры, включая

Adobe, AGFA, Apple, Kodak, Silicon Graphics, Sun. Они разработали технологический стандарт описания цветового пространства устройств для возможной конверсии данных об изображении из одного цветового пространства в другое.

Все системы управления цветом, основанные на стандарте ICC, содержат четыре основных составляющих:

- Аппаратно-независимое цветовое пространство **PCS** (иногда называемое пространством привязки профилей), позволяющее присвоить цвету однозначные числовые значения из цветовых пространств CIE XYZ или CIE L\*a\*b\* не в зависимости от особенностей различных устройств, применяющихся для воспроизведения этого цвета, а с точки зрения его восприятия человеком.

- Профили, которые определяют цветовые характеристики отдельных устройств системы воспроизведения цвета. Профили описывают зависимость между сигналами RGB или CMYK, управляющими устройством и конкретными цветами, воспроизводимыми с помощью этих сигналов. В частности, профили определяют значения CIE XYZ и CIE L\*a\*b\*, которые соответствуют заданному набору числовых значений RGB или CMYK.

- Модуль управления цветом (**Color Management Module, CMM**), который «расшифровывает» находящуюся в профиле устройства информацию и выполняет на ее основе преобразование цветовой информации из одного цветового пространства в другое. **CMM** – программное обеспечение, выполняющее все расчеты, необходимые для преобразования значений RGB или CMYK. Модуль CMM (иногда еще называемый программным механизмом) обрабатывает данные, хранящиеся в профиле.

- **Способы преобразований** – описание стандарта ICC, содержащее четыре способа цветопередачи или просто различные способы интерпретации цветов, находящихся вне цветовой гаммы, то есть тех цветов, которые присутствуют в исходном цветовом пространстве, но не могут быть физически воспроизведены устройством вывода.

Остановимся на назначении каждого из перечисленных компонентов системы управления цветом.

## 4.2. Пространство привязки профилей

Как уже неоднократно подчеркивалось, цвет зависит от устройства, на котором мы его наблюдаем. В этом смысле каждое устройство говорит на своем собственном цветовом языке. Поэтому для реализации взаимодействия между отдельными компонентами системы необходим переводчик.

Для иллюстрации сказанного вообразите комнату, в которой находятся четверо людей. Перед каждым из персонажей поставлена задача, для решения которой ему необходимо взаимодействие с другими участниками. Один из них говорит на французском, другой – на якутском, третий – на китайском, а чет-

вертый вообще изъясняется знаками; все они понимают, скажем, английский, но не говорят на нем. Для организации между ними взаимодействия необходим переводчик, который должен знать все четыре языка плюс один общий язык, понимаемый всеми членами команды. В ходе дискуссии переводчик транслирует сообщения с оригинального языка на нейтральный, который всем понятен. Таким образом, в процессе обсуждения проблемы каждый участник будет использовать родной язык, в то же время обмен информацией между ними будет происходить на общем нейтральном языке. Принцип действия системы управления цветом напоминает рассмотренную ситуацию. В основе ее функционирования лежит использование аппаратно-независимого цветового пространства, используемого в качестве общего языка общения между отдельными устройствами системы.

В описании стандарта ICC в качестве такого пространства используется либо CIE XYZ, либо CIE L\*a\*b\*. Но если вы не планируете создания собственной системы управления цветом или программного обеспечения для формирования профилей, отличия между цветовыми пространствами CIE XYZ и CIE L\*a\*b\* особого значения не имеют. Главная особенность этих цветовых пространств состоит в том, что они представляют воспринимаемый цвет.

### 4.3. Цветовые профили

#### 4.3.1. Общие сведения

Идея использования профилей в управлении цветом, в общем, достаточно проста: характеристики цвета любого устройства воспроизведения цвета можно описать не только в «родных» величинах для этого устройства, но и в независимой системе описания цветов. Например, цвет, полученный на одном устройстве, может быть описан в независимых цветовых координатах, и на основании этих данных воспроизведен на другом устройстве. Все это в полной мере касается не только отдельных цветов, но и полноцветных изображений.

ICC-профили содержат таблицы соответствия, в которых хранятся данные для конвертирования между аппаратно-зависимым и независимым цветовыми пространствами. С помощью таблиц соответствия происходит пересчет цветов из одного пространства в другое. ICC-профиль включает в себя несколько пар таблиц соответствия, каждая пара таблиц отвечает за пересчет цветов между пространствами с учетом какого-либо способа преобразования.

Цветовые профили делятся на семь классов: **профили устройств ввода** (сканеров, цифровых камер), **профили устройств отображения изображения** (мониторов и проекторов), **профили устройств вывода** (принтеров, печатных станков и т.д.), **профили цветовых пространств (колориметрические профили)**, **абстрактные профили** (осуществляют различные колориметрические

преобразования во внутреннем цветовом пространстве CMS), **связующие цветовые профили** (используемые для прямого пересчета одного цветового пространства в другое) и **профили для пересчета именованных цветов** (профили, работающие аналогично предыдущим, только осуществляющие цветовой пересчет между именованными цветами, например, цветами из каталога печатных красок Pantone). Из всех классов профилей на практике в основном используются только первые четыре типа.

Профили, описывающие устройства ввода изображения (сканеры и цифровые камеры), должны содержать информацию о том, каким образом можно преобразовать значения координат цвета изображения, представленных в цветовом пространстве устройства, во внутренне цветовое пространство CMS – CIE L\*a\*b\* либо XYZ.

Профили, описывающие устройства вывода (принтеры, плоттеры, печатные станки и т.д.) и устройства отображения (мониторы), должны содержать информацию о том, каким образом можно преобразовать значения координат цвета изображения во внутреннем цветовом пространстве CMS (CIE L\*a\*b\* либо XYZ) в цветовое пространство устройства вывода (RGB либо CMYK).

Колориметрические профили не описывают какое-либо конкретное устройство, а характеризуют, в общем, определенный класс устройств, либо вообще не привязаны к какому-либо устройству и описывают не существующие в природе цветовые пространства. Рабочая схема обработки изображений, основанная на использовании колориметрических цветовых профилей, предполагает, что отсканированное либо введенное с цифровой камеры изображение преобразуется в абстрактное цветовое пространство, в котором оно редактируется и сохраняется в файле. Отображение изображения на экране монитора и вывод на печать осуществляются путем преобразования изображения из абстрактного цветового пространства в цветовое пространство монитора и устройства вывода.

### 4.3.2. Рабочие цветовые пространства

Поскольку сканированные и обработанные изображения очень часто передаются далее для воспроизведения на чужом оборудовании (например, в типографию) либо просто предоставляются для просмотра другим лицам (начиная от друзей и знакомых и заканчивая многотысячной аудиторией Интернет-пользователей), то учесть то, какое конкретно цветовоспроизводящее оборудование будет ими использоваться, и то, как оно воспроизведет ваше изображение, просто невозможно. Поэтому вместо того, чтобы каждый раз подставлять под устройство вывода конкретный профиль либо вообще отказываться от коррекции изображения из-за физического отсутствия этого профиля (большинство мониторов, эксплуатируемых в мире, вообще не калиброваны и не имеют



своего профиля) используют колориметрические цветовые профили, которые позволяют достаточно эффективно справиться с этой задачей. Цветовое пространство, определяемое колориметрическим профилем, получило название **рабочего цветового пространства**.

### Рабочие пространства RGB

Рабочие пространства RGB разработаны для того, чтобы обеспечить комфортную среду для редактирования изображений. А раз так, они обладают двумя важными свойствами, которые не характерны для преимущественного большинства цветовых пространств устройств.

- **Баланс серого.** Рабочие пространства сбалансированы по серому цвету, а это значит, что равные количества красного, зеленого и голубого цветов всегда дают нейтральный серый цвет. Это всегда труднодостижимо в случае пространств устройств (сканер, фотоаппарат, дисплей, принтер). Поскольку один из самых легких способов привести цвет в порядок – это найти что-то, что должно быть нейтральным. В этом случае баланс серого является чрезвычайно полезным свойством.

- **Перцепционная однородность.** Рабочие пространства являются перцепционно однообразными, а это значит, что изменение числовых значений изображения на одни и те же инкременты приведет в результате к одинаковой степени визуальных изменений; не имеет значения, то ли это света, полутона, тени, пастельные или насыщенные цвета. Опять же, поведение пространств, зависящих от устройств, будет иным.

Любые преобразования цветовых пространств влекут за собой некоторую потерю данных, но преобразование, выполняемое при оцифровке (с помощью цифрового фотоаппарата или сканера) в рабочее пространство, исходя из нашего опыта, неизменно дает свои результаты, и когда это происходит в режиме представления цвета в 16 бит на канал потери столь незначительны, что почти незаметны. Даже в режиме представления цвета 8 бит на канал, вы, скорее всего, получите лучший результат редактирования в рабочем пространстве, а не в пространстве устройства.

В предыдущей главе мы много говорили о достоинствах цветового пространства  $L^*a^*b^*$ . Поэтому может возникнуть вопрос – почему бы не использовать его в качестве рабочего пространства? Действительно, пространство  $L^*a^*b^*$  разработано как независимое от устройства, перцепционно однообразное цветовое пространство. Но оно имеет два свойства, которые делают его далеким от идеального в качестве рабочего пространства.

Во-первых, пространство  $L^*a^*b^*$  не интуитивно, когда речь заходит о выполнении цветокоррекции. Так, настройка значений  $a^*$  и  $b^*$  часто вызывает непредсказуемые изменения цвета. Еще большая проблема состоит в том, что

пространство  $L^*a^*b^*$  содержит все цвета, которые мы можем увидеть, но также те цвета, которые мы увидеть не можем.

Главное различие между рабочими пространствами RGB – это величина гаммы. На языке специалистов параметр гамма определяет, где находится в цветовом пространстве точка 50%-ного серого. Нам же, простым людям, достаточно знать, что гамма отвечает за яркость средних тонов. Теоретически гамма может принимать значение от 1 до 3. Практически же во всех известных пространствах она имеет значение либо 1,8, либо 2,2. У пространства sRGB гамма 2,2; на маках, в пространстве Apple RGB, она равна 1,8. Величины, отличные от принятых в операционных системах, попросту неуместны. В Фотошопе же величину гаммы можно изменять. Пространства с меньшим значением гаммы программа воспринимает как более светлые. Эту возможность можно с успехом использовать при коррекции, научившись пользоваться командами **Назначить профиль** и **Конвертировать в профиль**.

Эти команды находятся в Фотошопе в меню **Редактирование** рядом с командой **Настройка цветов**. От правильного понимания существа этих команд зависит процентов на 30 успешное управление цветом. Остальное – от проделанной цветокоррекции, которая, по сути, тоже является элементом управления цветом.

**Рабочее пространство Monitor RGB.** Выбор этого пространства влечет за собой использование программой профиля монитора в качестве текущего рабочего профиля. В этом случае чистые RGB-данные изображения пересылаются непосредственно на видеокарту и после преобразования в соответствии с профилем монитора отображаются на экране. Это пространство целесообразно применять для подготовки Web-графики. В приложениях, которые не поддерживают системы управления цветом, изображения, подготовленные в этом пространстве, будут выглядеть примерно так, как на рабочем мониторе. Это пространство совершенно не годится для подготовки цветных печатных изданий.

**Рабочее пространство sRGB.** Это цветовое пространство – попытка реализовать RGB-стандарт, предлагаемый HP и Microsoft. sRGB предназначался для недорогих устройств: любительских цифровых фотоаппаратов, сканеров и принтеров, а также для просмотра изображений в Интернете. У sRGB наиболее ограниченный цветовой охват из всех входящих в Photoshop рабочих пространств RGB. Пространство sRGB сыграло свою роль, но его обогнало множество продуктов для широкого круга пользователей. Поэтому, очевидно, что для большинства пользователей sRGB – не лучший вариант для работы. У него очень маленький цветовой охват, даже у стандартных пространств CMYK устройств вывода цветовой охват больше.

Многие цифровые фотоаппараты и некоторые сканеры по умолчанию кодируют изображения в sRGB. У исходного изображения цветовой охват почти всегда шире. Вызывает сомнения логика сжатия изображения до настолько уз-

кого цветового охвата, учитывая тот факт, что есть устройства вывода, которые могут пользоваться более широким охватом цветов при печати. Сжатие цвета в такое узкое пространство многих пользователей загоняет в угол. Если вам за чем-либо потребовалось sRGB, например, для размещения изображений в Интернете, где это цветовое пространство наиболее уместно, это не значит, что нельзя воспользоваться пространством редактирования с более широким охватом. Затем более широкое цветовое пространство можно перевести в sRGB для этого конкретного применения. Если документ переведен в sRGB, вернуться к большему цветовому охвату уже невозможно, так как исходные цвета из более широкого цветового охвата отсекаются и исчезают навсегда.

Вместе с тем, sRGB продолжает завоевывать все большее признание среди производителей цифровых камер, сканеров, принтеров. Например, если вы сегодня купите в магазине какое-либо из этих устройств, существует высокая вероятность того, что после фотографирования или сканирования объекта вы можете получить на принтере или на мониторе высококачественное изображение с правильной цветопередачей. Отметим, однако, что качество цвета никогда не будет выше, чем, если бы вы использовали полноценный ICC профиль. В качестве примера одного из ограничений данной цветовой модели можно отметить, что её гамма цветов определяется лишь цветами, воспроизводимыми монитором – ведь модель основана на цветах, вырабатываемых типичными мониторами. Однако данная модель позволяет добиться достаточно хорошего цвета практически без всяких усилий.

Важно понимать, что стандарт sRGB (как и все рабочие цветовые пространства) не составляет конкуренцию профилям ICC, а лишь дополняет эти профили. Однако существует огромная разница между теми небольшими затратами, требующимися от потребителей, не желающих ничего знать об управлении цветами, и теми высокими требованиями профессионалов, которым важно уметь управлять цветами и периодически исправлять ICC профили.

**Рабочие пространства Apple RGB и Colormatch RGB** – это наследие пространств, ориентированных на мониторы, время которых уже прошло. Пространство Apple RGB разрабатывалось для 13-дюймового цветного монитора Apple; мы уверены, что не смогли бы сейчас найти его работающий экземпляр. Пространство Colormatch RGB в своей основе имеет монитор Radius Pressview. Если вы не работаете с большими количествами старых изображений, созданных в одном из этих пространств, у вас нет реальной причины применять их в качестве рабочих.

**Рабочие пространства SMPTE-C и Pal/SECAM** представляют собой широко распространенные стандарты: одно – американский, другое – европейский. Если вы работаете с видео, именно они вам и нужны, в прочих случаях обратитесь лучше к другим рабочим пространствам RGB.

**Рабочее пространство Adobe RGB (1998)** имеет цветовой охват больше,

чем у ColorMatch RGB. Adobe RGB (1998) лучше других подходит для подготовки к печати благодаря объему цветового охвата, который может полностью покрыть охват СМΥК печатного станка. Многие пользователи добивались хороших результатов, используя Adobe RGB (1998), поскольку его цветовой охват – хороший компромисс: с одной стороны – поддержка цветов практически для всех устройств вывода, с другой – ненамного шире, чем у большинства мониторов, присутствующих сейчас на рынке. Благодаря этому Adobe RGB (1998) стало самым распространенным рабочим пространством среди профессионалов.

Работать в Adobe RGB рекомендуется только в случае одновременного выполнения трех условий:

1. Снимаемая сцена содержит цвета, выходящие за охват sRGB;
2. Монитор способен отображать цвета Adobe RGB;
3. Печатающее устройство также способно воспроизвести цвета Adobe RGB.

Как правило, для фотографов-любителей с бюджетным оборудованием не выполняются два последних пункта. Следовательно, работа в Adobe RGB не даст никаких преимуществ, а наоборот, обернется лишними проблемами.

Если вы все же по каким-то причинам работаете в Adobe RGB, толком не понимая, для чего это нужно, то, чтобы избежать проблем с цветом при просмотре изображений другими пользователями, а также при публикации в интернете, перед сохранением в формате JPEG изображение следует конвертировать к цветовому пространству sRGB.

Также многие задают вопрос: какое цветовое пространство выбрать в настройках фотоаппарата? Если вы снимаете в формате RAW – это не имеет значения, так как цветовое пространство присваивается только после конвертации, а в камере оно используется лишь для генерации превью, которую вы видите на экране. Иными словами, снимок RAW в любом выбранном пространстве будет одинаковым. Поэтому выбирайте sRGB. Если вы снимаете в формате JPEG, что, вообще говоря, не рекомендуется, то в большинстве случаев лучше также выбирать профиль sRGB. Казалось бы, чем больше цветов, тем лучше! Но нет. Дело тут вот в чем: профиль sRGB был создан, чтобы описать все цвета, которые можно вывести на относительно недорогих мониторах. Этот профиль выглядит более-менее одинаково на всех устройствах вывода. AdobeRGB обладает большим охватом в сине-зеленой и оранжевой области спектра, но увидеть все эти «дополнительные» цвета можно только на дорогих профессиональных мониторах. Такое разнообразие может привести к неприятным последствиям, так как, выполняя цветокоррекцию, вы рискуете не увидеть результат для некоторых цветов на мониторе и получить полную чехарду при печати на принтерах, которые, наоборот, могут их увидеть. Кроме этого, попытка втиснуть более широкое цветовое пространство в узкие рамки, приводит к заметному искаже-

нию цветов на непрофилированных мониторах и при печати в миналабах.

**Рабочее пространство Wide Gamut RGB** имеет широкий цветовой охват. Он использует спектрально чистые основные цвета, белую точку D50 и гамму 2,2. С его помощью можно задать 77,6% всех видимых цветов. Однако он содержит 8,1% нереальных цветов, на которые будет использоваться часть данных изображения, а потому на видимые цвета останется меньше градаций.

При работе с цветовыми пространствами с таким большим охватом рекомендуется работать с 16 битными изображениями, чтобы избежать эффекта постеризации, который может возникнуть при 8 битах на канал через большие шаги градиентного перехода.

**Рабочее пространство ProPhoto RGB** – это пространство, разработанное компанией Kodak для фотографического вывода, которое предлагает особенно большой цветовой охват. Он содержит 91,2% всех цветов, которые различает человек (по отношению к охвату пространства CIE Lab). Основные стимулы ProPhoto RGB были подобраны также с целью сведения к минимуму искажений цветовых тонов при нелинейных тоновых преобразованиях. Это пространство использует белую точку, которая соответствует D50 и гамму 1,8. Один из недостатков этого цветового пространства является то, что 12,8% всех представленных в нем цветов – мнимые цвета, которые не существуют. Это означает, что потенциальная точность цветопередачи теряется из-за резервирования этих нереальных цветов.

При использовании пространств, которые имеют широкий цветовой охват, рекомендуется работать с изображениями, которые имеют 16 бит на канал, и иметь в виду, что большая часть цветов, которые могут быть численно заданные в пространствах с широким охватом, не могут быть воспроизведены на мониторе, даже с широким цветным охватом.

**Пространство EktaSpace.** Разработанное фотографом Джозефом Холмсом, пространство EktaSpace – это пространство с широкой гаммой, немного консервативное и поэтому несколько менее управляемое, чем пространство ProPhoto RGB. Это пространство можно использовать для изображений 8 бит на канал, но вы получите значительно большее пространство редактирования в случае 16-битовых файлов. Пространство EktaSpace хорошо подходит для сканирования диапозитивов, когда важно сохранить характеристики индивидуальных особенностей пленки. Данное пространство можно загрузить с Web-сайта [josephholmes.com](http://josephholmes.com).

**Рабочее пространство scRGB.** Компания Microsoft разработала новый стандарт scRGB, ранее известный как sRGB64. Этот стандарт встроен в интерфейс графических устройств GDI+, который является дополнением к существующему в Windows интерфейсу GDI. Стандарт scRGB определен в CIE 61966-2-2 и предназначен для заполнения бреши между гибкой системой управления цветом, существующей в профилях ICC? и более ограниченной по своим воз-

возможностям схемой sRGB. Пространство scRGB предоставляет более широкую гамму цветов, а 64-битного кодирования с шестнадцатью битами на канал вполне достаточно, чтобы определить 65000 градаций каждого цвета вместо 256 градаций, доступных в sRGB, где на канал выделяется 8 бит.

Заметьте, что цветовая гамма scRGB не только намного больше гаммы sRGB, но также и больше цветовой гаммы, видимой человеческим глазом (рис. 4.2).

Формат scRGB позволяет принимать отрицательные значения и значения больше 1,0, что дает значительные негласные преимущества при обработке цвета. При работе с информацией о цвете большинство приложений отбрасывают все значения ниже нуля (черный цвет) и все значения больше единицы (белый в градациях серого, или полностью насыщенный цвет). В результате чего пропадает значительная часть информации. Чтобы не терять эту информацию, программам приходится хранить целиком все промежуточные изображения. Позволив приложениям отслеживать значения ниже черного и выше белого, новый формат позволяет приложениям сохранять информацию о цвете без использования большого объема памяти для хранения промежуточных изображений.

Более того, информация будет доступной и при последующей обработке или связывании его с другими устройствами, имеющими более широкую цветовую гамму, нежели представлена в информации о цвете в данном конкретном изображении. А так как форматом обрабатываются значения больше 1,0, формат обладает большей цветовой гаммой по сравнению с sRGB, даже не смотря на одинаковые базовые цвета. При максимальном значении, равным 1,0, гаммы просто будут совпадать. Значения выше 1,0 являются основой расширенной гаммы.

Компания Microsoft разрабатывала эту схему с тем, чтобы обеспечить ту же простоту в использовании, что обеспечивает sRGB. Для того чтобы воспользоваться новым форматом, не приходится прикладывать практически никаких усилий.

Споры о том, какое рабочее пространство лучше, продолжаются до сих пор. Нам нужно рабочее пространство RGB с охватом, достаточно широким, чтобы охватить все цвета, которые могут дать устройства ввода, и при этом охватывающим весь диапазон устройств вывода. Такой охват трудно получить, если приходится согласовывать множество устройств ввода и вывода. К тому же нет причин сомневаться, что на рынок в любой момент могут выйти принтеры и мониторы, цветовой охват которых будет больше того, что мы имеем на сегодняшний день. На самом деле, именно это и происходит при появлении новейших технологий. Так стоит ли пользоваться рабочим пространством с цветовым охватом, который может ограничить цвета, которые мы надеемся получить в будущем?

На основе всего вышесказанного вы можете посчитать, что идеал – это очень широкий цветовой охват. Поскольку объем велик, рабочие пространства с широким цветовым охватом позволяют быть уверенными, что у нас будет много запасных цветов на будущее. Проблемы со слишком большими цветовыми пространствами имеют две стороны. С одной стороны, вполне возможно получить рабочее пространство RGB с цветовым охватом, существенно большим, чем охват монитора, на котором просматриваются изображения. Пользователи склонны считать, что цветовой охват их монитора – самый широкий из всех возможных, но это далеко от истины. Именно поэтому некоторых привлекает пространство sRGB. Цветовой охват sRGB ненамного отличается от охвата дешевых мониторов. Если вы работаете с изображением, в котором содержится большая часть цветового охвата, доступного Adobe RGB (1998), часть цветов окажется за пределами охвата. В таком случае возникает проблема редактирования цветов, которые не видны на мониторе. Например, если вы совсем немного передвинете ползунок в диалоговом окне **Оттенок/Насыщенность** (Hue/Saturation) в Photoshop, вам может показаться, что изображение не изменилось. На самом деле цвета меняются намного больше, чем вам бы хотелось, но дело все в том, что воздействию подвергаются цвета, находящиеся за пределами цветового охвата монитора. Только выведя документ на принтер с достаточно большим цветовым охватом, вы сможете увидеть ошибки редактирования. Поэтому рабочее пространство (и изображение) с цветовым охватом, значительно большим, чем охват вашего монитора, может создавать проблемы.

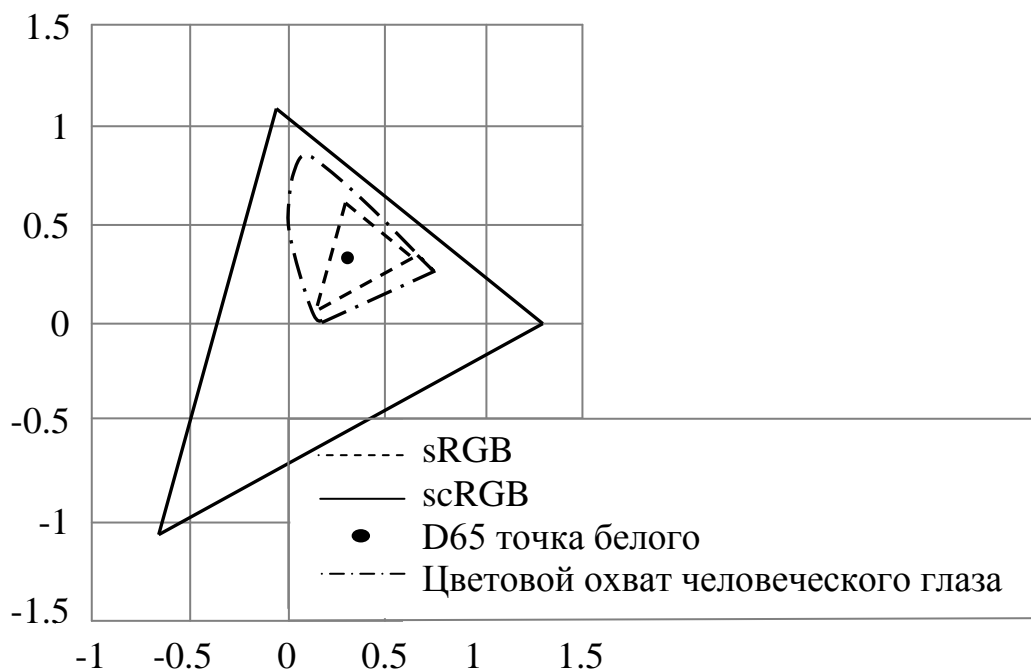


Рис. 4.2. Цветовой охват человеческого глаза, sRGB и scRGB

Другая проблема, связанная с прогрессивно растущим цветовым охватом рабочего пространства, состоит в том, что он не подходит для редактирования

изображений, у которых на один канал приходится всего 8 бит. Все восьмибитные документы должны описывать 256 уровней на один канал цвета. Большой охват цветового пространства означает, что эти цвета находятся дальше друг от друга. Рабочее пространства с очень широким охватом, например Wide Gamut RGB или ProPhoto RGB, гораздо лучше для редактирования данных, содержащих больше 8 бит на каждый цвет, – в Photoshop это считается 16-битным цветом. Редактирование 16-битных данных позволяет делать более гладкие переходы – не возникает «полосатости», случающейся с восьмибитными файлами в том же рабочем пространстве. Однако цвета, находящиеся далеко за пределами цветового охвата, все также остаются невидимыми для пользователя.

Следует рассмотреть роль устройств вывода в цепи обработки изображений для составления полного мнения о рабочих пространствах RGB. Идеальное рабочее пространство – это такое пространство, которое включает весь цветовой охват устройств печати (опять же – если допустить, что мы знаем все и каждое устройство, на котором будем распечатывать изображение, будь то сейчас или спустя много лет). Разумеется, свою роль сыграет тип изображений. Если изображение состоит из насыщенных цветов, которые мы надеемся воспроизвести на печати, большой цветовой охват рабочего пространства, несомненно, может играть большую роль, чем при работе с изображением в пастельных тонах. Небольшой цветовой охват не обязательно приводит к плохому качеству вывода. Однако может оказаться, что некоторые цвета вам воспроизвести не удастся именно из-за охвата рабочего пространства. Не стоит терять сон из-за этой проблемы, но стоит иметь ее в виду. Многие получают прекрасные изображения, обрабатывая их в рабочих пространствах с охватом куда меньше, чем у их устройств ввода или вывода.

На рис. 4.3 показаны цветовые охваты нескольких рабочих пространств RGB, а также цветовой охват CMYK. Рисунок иллюстрирует компромисс при выборе рабочего пространства RGB между отсечением цветового охвата CMYK и потерей глубины цветов, не выводимых на печать. Приведенные на рисунке рабочие пространства RGB входят в базовый пакет Photoshop.

### **Рабочие пространства CMYK**

Любое пространство RGB – это в значительной степени идеализированная система, которая, опираясь на свойства конкретного физического устройства, оперирует в своих построениях абстрактными категориями. Иное дело система CMYK. Любое адекватное пространство этого вида должно корректно описывать реальную систему печати с учетом свойств бумажных носителей и красителей. По этой причине выбор подходящего рабочего пространства CMYK – это намного более ответственная и трудоемкая процедура, чем подбор пространства RGB.



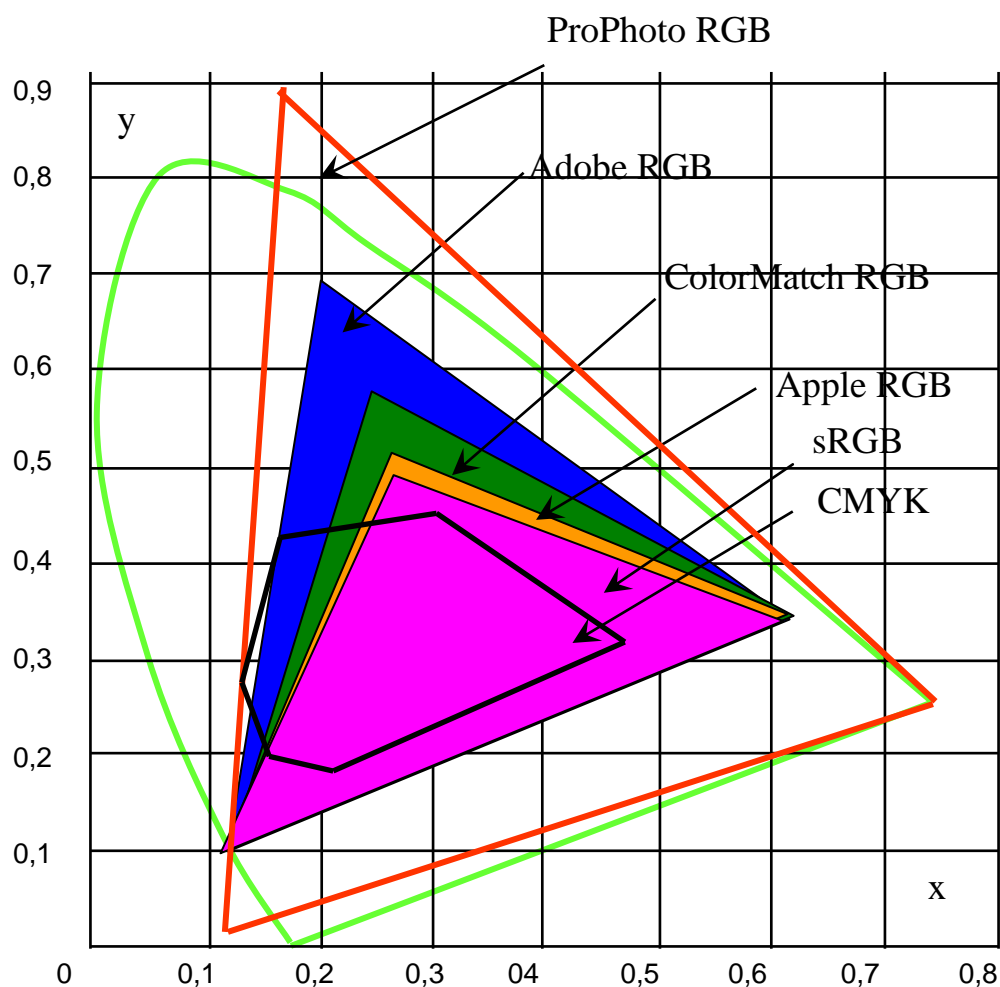


Рис. 4.3. Цветовые охваты некоторых рабочих пространств

Стандартные альтернативы – это тщательно разработанные пространства, прошедшие многократную экспериментальную проверку на представительном множестве реальных проектных ситуаций. В большинстве случаев целесообразно ограничиться выбором одного из стандартных пространств, поскольку они рассчитаны на самые распространенные в Европе и Северной Америке типы бумаги и печатающих машин. Приведем перечень стандартных пространств с их краткими техническими характеристиками:

- Puroscale Coated v2 – европейский стандарт мелованной бумаги;
- Puroscale Uncoated v2 – европейский стандарт немелованной бумаги;
- Japan Standard v2 – японский стандарт;
- US Sheetfed Coated v2 – мелованная бумага по стандарту США и листовая печатная машина с 175 lpi;
  - US Sheetfed Uncoated v2 – немелованная бумага по стандарту США и листовая печатная машина;
  - US Web Coated (SWOP) v2 – мелованная бумага по стандарту США и рулонная печатная машина;
  - US Web Uncoated v2 – немелованная бумага по стандарту США и рулон-

ная печатная машина.

Легко заметить, что все предлагаемые стандартные профили предназначены для вывода на полиграфическое печатное оборудование и нет ни одного пространства, ориентированного на струйную или лазерную печать настольными принтерами. Современные струйные принтеры, а именно они доминируют в секторе цветной малотиражной печати, отличаются высокой стабильностью своих технических характеристик. Ведущие производители такого оборудования поставляют на рынок и все необходимые расходные материалы: чернила, бумагу разной плотности и покрытия и пленку. Главной причиной неточной цветопередачи является использование контрафактных и нелегальных расходных материалов. Стабильность современных фотопринтеров намного превосходит возможности любого промышленного печатного оборудования. Поэтому они могут обходиться одним профилем, данные о котором часто записываются во внутреннюю память принтера. Кроме того, многие струйные и цветные лазерные принтеры не являются подлинными СМΥК-устройствами, хоть и используют для получения цветных оттисков смешение четырех, а иногда и шести красок. Это справедливо, по крайней мере, для всех принтеров, не использующих в своей работе язык PostScript.

Если для печати используется устройство с PostScript-управлением и генерация оттисков происходит в условиях существенной нестабильности (например, на бумаге разных сортов), то для обеспечения качества цвета следует воспользоваться заказными или готовыми профилями.

Готовые профили – это профили, разрабатываемые и поставляемые третьими фирмами. Они основаны не на замерах конкретного оборудования, а на некоторых усредненных характеристиках, которые, по мнению производителя, обладают устойчивостью в широком диапазоне технических характеристик. Эти профили пользуются плохой репутацией, однако они могут оказаться полезными при определенных обстоятельствах. Практика показывает, что опытный оператор печатной машины сможет получить неплохие результаты для различных комбинаций бумаги и печатных красок.

Заказные профили создаются под конкретную проектную ситуацию, на основе измеренных свойств печатного оборудования и характеристик выбранного типа бумаги. Ранее эта процедура отличалась высокой сложностью и требовала значительных капитальных вложений. В настоящее время техника профилирования упростилась настолько, что стала доступной пользователям средней квалификации. При наличии необходимого программного и технического обеспечения, опытный оператор способен создать новый заказной профиль за несколько минут.

#### 4.4. Модуль управления цветом

Модуль управления цветом (**СММ\***) представляет собой программный механизм преобразования значений RGB или CMYK в профили с использованием данных о цвете. Профиль не может содержать определение PCS для каждой из возможных комбинаций числовых значений RGB или CMYK, иначе его размер превысил бы гигабайтную отметку. Поэтому для расчета промежуточных значений применяется модуль СММ.

Модуль СММ обеспечивает способ преобразования значений сначала из исходных цветовых пространств в пространство PCS, а затем из пространства PCS в любые цветовые пространства. Система управления цветом использует профили для определения цветов, которые должны совпадать с исходными цветами, а также значения RGB или CMYK, которые должны совпадать с целевыми цветами. Однако все необходимые преобразования фактически выполняет модуль СММ.

Модуль СММ функционирует как на уровне операционной системы (ColorSync), так и на уровне приложений (Photoshop, Illustrator, Acrobat). ColorSync по умолчанию предлагает AppleСММ, но также могут быть установлены СММ от других производителей: AgfaСММ, KodakСММ, HeidelbergСММ.

Основная задача СММ заключается в осуществлении цветопередачи между устройствами, цветовые характеристики которых определяют их ICC-профили. Принцип действия СММ можно проиллюстрировать следующим примером. Пусть отсканированное изображение необходимо распечатать на принтере. Профиль сканера, в данном случае, исходное цветовое пространство, а профиль принтера – конечное. СММ осуществляет преобразование из RGB в CMYK в пространстве  $L^*a^*b^*$ :  $RGB \rightarrow L^*a^*b^*$  и  $L^*a^*b^* \rightarrow CMYK$  (рис. 4.4).

В рамках системы управления цветом СММ решает несколько задач, важнейшими из которых являются интерполяция между табличными рядами, как показано на рис. 4.4, и пересчет из колориметрической системы XYZ в  $L^*a^*b^*$ . Необходимость выполнения последней задачи вызвана тем, что не во всех профилях в качестве PCS (PCS – Profile Connection Space) выступает  $L^*a^*b^*$ , зачастую у профилей мониторов роль PCS играет система XYZ. В этом случае цепочка цветопреобразования выглядит следующим образом:

$$RGB \rightarrow XYZ \rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow CMYK.$$

---

\* Сокращение СММ обозначает несколько разных понятий: Color Management Module – Модуль управления цветом, Color Matching Method – Метод согласования цветов, Color Manipulation Model – Модель манипулирования цветом. Однако все эти наименования означают одно и то же. Мы же отдали предпочтение наименованию **Модуль управления цветом**, поскольку оно отражает суть данного механизма в качестве встроенного компонента модульной системы управления цветом.

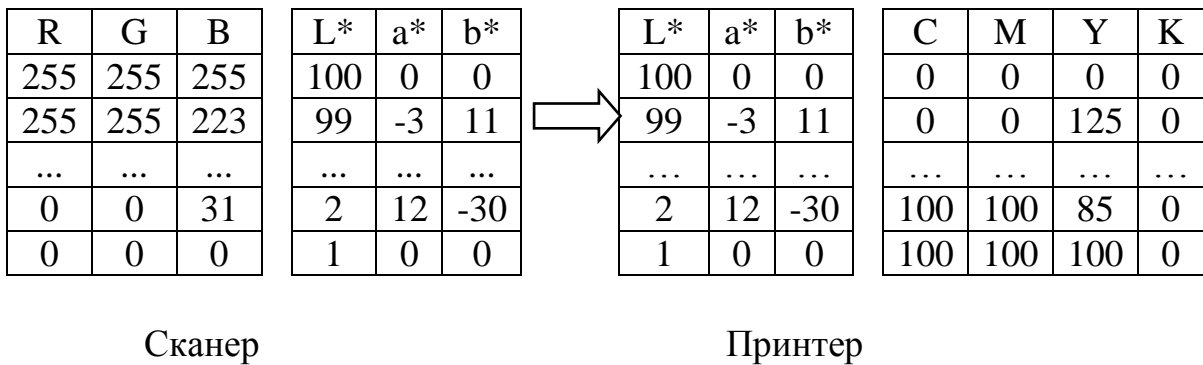


Рис. 4.4. Пример работы СММ

Поскольку приложения предлагают пользователю на выбор несколько вариантов СММ, следует обращать внимание, какой именно СММ активизирован в данный момент. Это необходимо в связи с тем, что различные СММ обеспечивают разный конечный результат после выполнения преобразования. Для того чтобы избежать подобных недоразумений, необходимо пользоваться каким-то одним. В заголовке ICC-профиля (Profile Header) содержится информация, какой именно СММ рекомендуется для данного профиля.

Актуальным является вопрос по унификации цветопреобразования изображений различных типов. Поскольку графические приложения, например, Photoshop или Illustrator ориентированы на определенный тип изображений (растровый или векторный), очевидно, что к обоим типам должны применяться одинаковые профили и одинаковый СММ. Это не всегда представляется возможным на практике из-за различных CMS-интерфейсов в приложениях, не говоря уже о тех случаях, когда изображения к печати подготавливаются на различных платформах. Проблему унификации операций цветопреобразования можно решать с помощью программы iQueue, разработанной компанией Gretag Macbeth. Эта единственная в своем роде программа позволяет полностью стандартизировать все операции цветопреобразования независимо от типов изображений (векторная или растровая), представления информации о цвете (RGB, CMYK) и форматов данных (TIFF, EPS, PDF, PostScript и др.). Пользователь устанавливает последовательность преобразований, необходимые для этого профили с требуемыми способами цветопередачи (Rendering Intent).

Операционные системы Macintosh и Windows, а также большинство приложений с управлением цветом допускают замену модулей СММ, наиболее предпочтительных для профилей, а также выбор конкретного модуля для выполнения всех задач управления цветом. Мы рекомендуем выбрать один модуль СММ и постоянно работать с ним, обращаясь к другим модулям лишь при возникновении особых затруднений или для того, чтобы воспользоваться преимуществами модуля, рекламируемого его производителем.

## 4.5. Способы преобразования (Renderings intents)

Каждому устройству присущ свой фиксированный диапазон цветов, который оно может воспроизводить в соответствии с законами физики. Так, монитор не может воспроизводить более насыщенный красный цвет, чем тот, который определяется свечением красного люминофора. Принтер не может воспроизводить более насыщенный голубой цвет, чем тот, который определяется свойствами его голубых чернил. Напомним, что цветовой диапазон, который может воспроизводить устройство, называется цветовой гаммой устройства. Имеющиеся в исходном цветовом пространстве цвета, которые нельзя воспроизвести в целевом цветовом пространстве, называются цветами, «лежащими вне гаммы». Поскольку эти цвета невозможно воспроизвести в целевом цветовом пространстве, то они должны быть заменены какими-то другими цветами.

Для решения этой проблемы ICC определяет четыре способа преобразований (иначе называемых *gamut mapping styles* – способ перехода из цветового охвата одного устройства в цветовой охват другого устройства), известных в программных средствах как **Rendering Intent**. В данном контексте используется термин «intent» – намерение, но его не следует понимать буквально. Имеются в виду не ваши цели, а вопрос, какие общие правила следует применять при перемещении изображения из одной гаммы в другую. Если вы смените профиль изображения, механизму управления цветом придется решать, каким образом при этом изменятся значения цветов, и как они будут интерпретироваться в новом профиле. Сам же процесс преобразования определяется исходным и целевым профилями.

ICC определила следующие способы: **Perceptual** (перцепционный, относящееся к восприятию; также его иногда называют **Image** – образным), **Saturation** (насыщенность, другое название – **Graphic**, графический), **Absolute Colorimetric** (абсолютный колориметрический) и **Relative** (относительный колориметрический). Эти способы используются всеми механизмами управления цветом. Для преобразования можно применить любой способ, но только один. Выбор способа по умолчанию зависит от того, какие качества исходного изображения нужно сохранить во время преобразования цвета из одной гаммы в другую. Как уже упоминалось ранее, важно понимать, что делает каждый способ, поскольку при смене цветового пространства изображения, выборе пользовательского профиля «мягкого» предпросмотра и назначении профиля печати вам нужно указывать один из них. Вот краткое описание всех четырех способов.

**Перцепционный метод (Perceptual Intent).** При использовании этого метода сопоставляются точки белого исходного и целевого цветовых пространств. После этого все цвета исходного пространства сдвигаются к новым цветовым значениям с сохранением первоначальных отношений между ними. Это означает, что фактические цветовые значения (числа) изменяются, но так,

чтобы сохранить общий вид изображения, а не существующие цвета.

Поскольку фотореалистичные изображения чаще всего преобразуются из большого рабочего пространства RGB (в котором проводится редактирование) в меньшее пространство печати RGB или CMYK, при этом либо отсекается часть исходных цветов, либо сжимается цветовой охват. Но данный метод предпочитает не отсекаать цвета, ведь при этом теряются детали изображения, а уменьшать насыщенность общих цветов обоих пространств. При этом освобождается место для цветов, которые в противном случае были бы утеряны. Следовательно, перцепционный метод жертвует абсолютным соответствием цветов в пользу деталей и общего вида изображения. Стратегия уменьшения насыщенности хорошо работает с фотографическими изображениями при преобразовании в менее объемное цветное пространство, так как человеческий глаз гораздо лучше замечает отсекание цветов и плакатный эффект, чем снижение насыщенности.

Когда изображения преобразуются в обратную сторону, из пространства с небольшим цветовым охватом в более объемное пространство, перцепционный метод работает с фотографиями не так хорошо. Поскольку в новое большое пространство поместятся практически все цвета, снижения насыщенности общих цветов не требуется.

Также важно заметить: перцепционный метод сохраняет отношения между цветами, переназначая большинство цветов в изображении и сжимая их, чтобы они поместились в новую гамму. Поэтому данный метод будет не лучшим выбором для случая, когда целевой охват очень мал.

**Метод преобразования по насыщенности (Saturation Intent).** Метод насыщенности подходит для изображений, фактический цвет (насыщенность) которых важен меньше, чем чистота или различие цветов. Такой метод вполне пригоден для воспроизведения деловой графики или карт с отметками высоты, где отличающимися по насыщенности зелеными, коричневыми или синими цветами обозначаются разные высоты местности на суше или глубины водного пространства, однако данный метод непригоден для точного воспроизведения цвета. Для деловой графики соответствие цветов не так важно, скорее здесь требуются яркие, легко различимые цвета, позволяющие без труда прочитать данные и не размывающиеся при проецировании. В действительности метод насыщенности приказывает процессу преобразования сосредоточиться на производстве различных цветов, а не на сохранении точных цветовых значений. Данный метод также подходит для воссоздания плакатов 1960-х годов и рисования мультфильмов.

**Абсолютный колориметрический метод (Absolute Colorimetric Intent).** Абсолютная колориметрическая цветопередача отличается от относительной тем, что в данном методе белый цвет не преобразуется из исходного цветового пространства в белый цвет целевого цветового пространства. При использова-

нии данного способа белый цвет считается одинаковым и соответствующим источнику света D50.

Метод удобен для калибровки, но не годится для отсканированных или цифровых фотографий, когда важна правильная передача цветового тона. Дело в том, что ни XYZ, ни Lab не описывают цвет исчерпывающим образом. Другими словами, открытая Ньютоном трехмерность человеческого восприятия – лишь первое приближение к действительности. В дополнение к XYZ нужны параметры, описывающие условия наблюдения, ярким примером которых является используемый источник света. Из-за рассмотренного нами ранее явления хроматической адаптации цвет, воспринимаемый человеком, сильно зависит от условий освещения.

В литературе о цвете можно встретить такой пример. Смотря телевизор, вы не сомневаетесь, что белое на экране действительно белое. Однако, если посмотреть на этот телевизор в окно с улицы, телеэкран покажется голубым (эффект особенно заметен, если телевизор черно-белый). Это происходит потому, что глаз адаптировался к освещенности, создаваемой желтоватым светом уличных фонарей, которые в этот момент и служат глазу эталоном белого.

Специалисты не рекомендуют использовать этот метод.

**Относительный колориметрический метод (Relative Colorimetric Intent).**

Большинство профессионалов считает относительный колориметрический метод лучшим выбором при работе с полноцветными изображениями. Этот метод приводит в соответствие точку белого (самую яркую точку изображения – абсолютно белую) исходного профиля точке белого целевого профиля, а затем сдвигает все цвета, чтобы они заняли в точности такую же позицию относительно точки белого, что и в исходном пространстве. Выпадающие из охвата профиля целевого цветового пространства исходные цвета отсекаются (изменяются на ближайшие цвета из охвата). Относительный колориметрический метод отличается от перцепционного тем, что он прибегает к отсечению цветов (уменьшению количества уникальных цветов), вместо того чтобы сохранить абсолютное число различных цветов, уменьшив их насыщенность.

Относительный колориметрический метод подходит для случаев, когда целевое пространство может воспроизвести практически все исходные цвета или если вы уже хорошо потрудились над изображением, чтобы большинство цветов присутствовало в целевом пространстве. Например, можно включить отображение предупреждения о цветовом охвате, а затем при помощи техник коррекции цвета перенести цвета изображения в цветовой охват СМΥК или использовать при создании изображения только цвета, подходящие для веб-графики. Выбирать этот метод по умолчанию следует, основываясь на природе изображений, с которыми вы работаете, и на том, в каком виде они обычно выводятся.

Для понимания дальнейшего нам необходимо рассмотреть еще два понятия: Гамма и LUT.

Представьте себе камеру, которая снимает черно-белое изображение. Принцип ее работы заключается в том, что она «тупо» считает фотоны. После того, как она посчитала, она должна создать файл, по принятому стандарту в котором будет 256 градаций. То есть с одной стороны, на «входе» у нее будет вся сцена, описанная «пикселями» (пиксели в данном контексте лишь аналогия, речь идет о разрешении сенсора), и каждый пиксель характеризуется количеством фотонов, которые попали на данный участок матрицы.

Для примера представим, что самый темный участок – 20 фотонов. Самый светлый – 1020 фотонов (цифры условные исключительно для примера). Между ними 1000 значений. Но мощность вычислительных систем диктует условие – на выходе видеокамеры, то есть в файле, вся эта сцена должна уложиться в стандартные 256 градаций.

Выход один – разбить полный диапазон на 256 равных участков и затем описывать пиксели уже с учетом этого деления.

$$1000/256 = 4 \text{ (3.9)}$$

Таким образом, получим, что все пиксели, имеющие 20-24 фотонов, будут иметь значение 0 (ноль),

$$24-28 = 1,$$

$$28-32 = 2,$$

$$32-36 = 3,$$

.....,

$$1016-1020 = 255.$$

Но есть одна проблема с этим. Эволюцией заложено, что в тенях мы воспринимаем больше градаций, а на свету меньше. С точки зрения эволюции это полезно, помогает выживать, распознавать хищника притаившегося в тени кустарника и т.д.

Получается, что, если камера будет пересчитывать линейно, то есть на всем промежутке с одинаковой разницей – в темных участках мы получим меньше градаций, чем можем воспринять, а в светлых наоборот больше.

Вот тут-то впервые и выходит на сцену ее величество **Гамма**. Она задает степень в уравнении, согласно которому будет изменяться количество фотонов, соответствующих значению в файле. Сделать это необходимо, чтобы максимально эффективно использовать имеющиеся 256 градаций, приведя их в соответствие с чувствительностью человека.

На рис. 4.5 верхние оттенки – это применение гамма-функции, а нижние – линейное отображение без всяких ухищрений. При одинаковом количестве информации (бит), чтобы описать детализацию, совершенно очевидно, что на верхней полоске более плавный переход в темной области, чем в нижней. При этом в светлой области разница едва заметна. Вот так хитро устроено наше зрение.



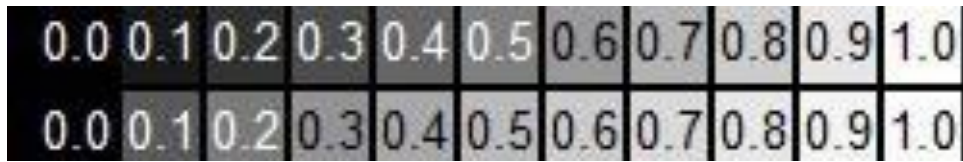


Рис. 4.5. Применение гамма-коррекции

В итоге в темных участках градация будет более точной:

$$20-21 = 0,$$

$$20-22 = 1,$$

$$20-24 = 2.$$

В светлых же участках наоборот диапазон увеличится:

$$990-1020 = 255.$$

Впервые гамма-коррекция появилась в аналоговом телевидении, и её применение было обусловлено тем, что у электронно-лучевых трубок взаимосвязь между количеством испускаемых фотонов и напряжением на катоде нелинейна и близка к степенной функции. Поэтому в видеосигнал, линейно зависящий от передаваемой яркости, вводилась гамма-коррекция, компенсирующая искажения яркости кинескопом. В большинстве систем аналогового телевидения гамма-коррекция кодирования составляет 2,2. Стандартное значение параметра гаммы для цветовых пространств sRGB и Adobe RGB – 2,2. Такое же значение принято в операционной системе Windows. В компьютерах Macintosh первых выпусков гамма монитора составляла 1,8, но позднее стандарт был заменён на общепринятый.

Однако тут же возникала другая проблема. При выводе сигнала видеосистема должна сделать обратные преобразования.

256 градациям в файле она должна сопоставить 256 градации физической светлоты пикселя (теперь уже речь и о пикселе монитора). Конечной задачей является идентичность градиентов светлоты реальной картинке и её восприятия на мониторе. Но в градациях файлах камерой заложена нелинейность. Большее значение в файле соответствует большему диапазону яркости в реальной сцене.

Это приводит к тому, что в случае линейности видеосистемы изображение выводилось бы слишком светлым. В свое время нам крупно повезло, что передаточная характеристика ЭЛТ-мониторов имеет степенную зависимость, то есть, как и наше зрение. Поэтому, правильная передача цвета на старых ЭЛТ-дисплеях достигалась малой ценой благодаря счастливой случайности, именно из-за этого так долго не удавалось вытеснить громоздкие мониторы из профессиональной сферы.

С ЖК-мониторами всё гораздо сложнее, потому что матрицы имеют S-образную зависимость и требуются значительные усилия, чтобы выходной сигнал превратился в правильную гамму-кривую. Для этого в электронике монитора есть целый вычислительный блок. Это создаёт проблемы при массовом

производстве, потому что предварительная калибровка монитора будет слишком дорогой, если делать её индивидуально для каждого экземпляра, либо слишком неточной, если одни параметры применить сразу ко всей партии. Производители ищут компромисс и испытывают особенную гордость, когда им удаётся гарантировать правильную настройку монитора. В этом случае в коробке с экраном вы найдёте сертификат о калибровке с гамма-кривой, как в мониторах.

Что такое LUT?

Лет так двадцать назад производители видеокарт стали выделять в памяти видеокарт дополнительную управляемую область, которая получила название «Look Up Table».

По своей сути LUT это своеобразная «таблица поправок», основная задача которой обеспечить возможность внесения поправок в каждый из трех каналов цвета.

В практическом смысле это может применяться по-разному. Например:

- при калибровке видеосистемы в сигнал вносятся соответствующие поправки, призванные обеспечить эталонный стандарт передачи цвета sRGB конкретным монитором в конкретных условиях освещения;

- становится возможным имитировать одни устройства вывода на других. Например, дизайнер делает презентацию, которая будет демонстрироваться на проекторе. У проектора другая цветопередача, чем у монитора. Чтобы посмотреть, как кадры будут выглядеть во время презентации, дизайнер может либо подключить проектор, либо включить соответствующий профиль LUT.

Рассмотрев общие вопросы, перейдем к изучению настройки конкретных устройств.

#### **4.6. Настройка мониторов**

Вопрос о том, видим ли мы художественное произведение в том виде, в каком его создал автор и каким он видел его сам сразу после окончания работы, древен как мир. Художнику каменного века было относительно просто: на скальная живопись редко переносилась из пещеры в пещеру, вариантов освещения было тоже не так уж много: либо довольно стабильное естественное освещение, правда, оно менялось в зависимости от времени суток и погоды, либо свет костра, который, вероятно, сильно отличался по яркости, но не по цветовой температуре. В последующие века в наиболее выгодной ситуации оказались произведения, выполненные из мозаики, которые можно и через несколько сотен лет видеть в почти первозданном виде, и фрески, которые подвержены времени, но неподвижны в пространстве, и в случае естественного освещения есть надежда увидеть их так же, как и автор. Таким образом, для того, чтобы увидеть авторский замысел, нам нужно контролировать только изменение цвета красок.

Вот поэтому убеждать в исключительной важности правильного отображения цветов на экране монитора – это значит ломиться в открытую дверь. Цвет экранной версии изображения можно сравнить с фундаментом, на котором зиждется вся конструкция системы управления цветом. Точная цветопередача монитора позволяет ставить и успешно решать вопрос о построении надежной технологической цепочки подготовки полноцветных публикаций. Без этого всякие попытки получения достоверного и предсказуемого цвета обречены на провал.

Для точного отображения цветов графический редактор должен иметь информацию о поведении монитора и его технических характеристиках. Искомые данные приходят в редактор из ICC-профиля. Обязательным условием точной цветопередачи монитора является создание профиля, описывающего текущее состояние монитора. Поскольку технические характеристики монитора со временем меняются, дрейфуют, как выражаются специалисты, то профилирование монитора приходится выполнять многократно, по некоторому регулярному расписанию. Если профилирование – это измерение свойств монитора, то их изменение и приведение к некоторому стандарту принято называть калибровкой. Для некоторых цифровых устройств эти операции различаются; для монитора они представляют две стороны одного процесса.

Существует два принципиально различных подхода к настройке мониторов: программная и аппаратная калибровка монитора. В первом случае используются специальные приложения, часто распространяемые на бесплатной основе, а во втором – особые приборы. Хотя эффективность работы вторых выше, необходимость их предварительной покупки нивелирует это преимущество. Аппаратная калибровка монитора – прерогатива людей, профессионально работающих с графическими программами.

Среди всех виденных автором текстов о калибровке и профилировании мониторов, наиболее полным, теоретически корректным и практически интересным является 152-страничная книга Шадрина и Френкеля «Колориметрическая настройка монитора. Теория и практика», изданная в 2005-м году. Пользуясь случаем, рекомендую ее всем, кого интересует весь процесс в деталях, от теоретических основ до экранной цветопробы. Данный раздел пособия никоим образом не может заменить вышеуказанный основополагающий труд, так как наша задача – только прояснить некоторые моменты.

#### **4.6.1. Программная калибровка монитора**

Самый простой и быстрый способ – когда калибровка монитора происходит при помощи тестовых изображений для настройки. Специальные картинки, которые помогут отрегулировать яркость, уровень цвета, резкость, цветовую температуру и т.д., используя меню монитора. Для этого отлично подойдет ни-

дерландский сайт <http://www.lagom.nl/>, где вы найдете серию тестовых шаблонов для регулировки параметров дисплея с помощью элементов управления на мониторе, расположенных на передней или боковой панели.

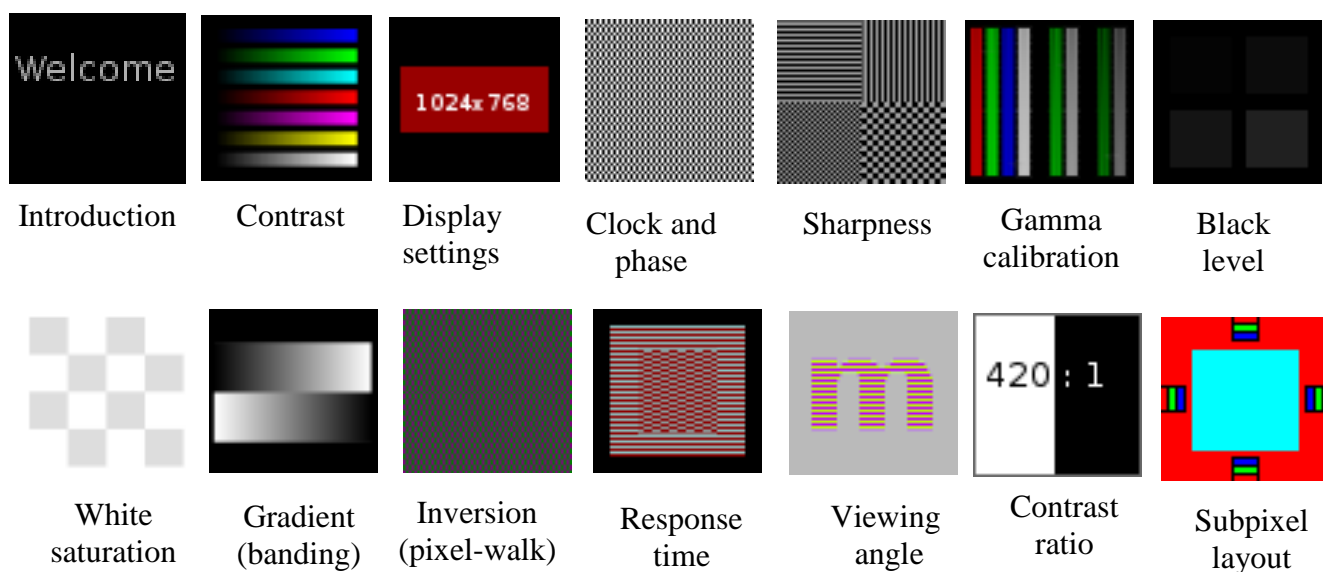


Рис. 4.6. Калибровка монитора при помощи тестовых изображений

Программ для визуальной калибровки мониторов очень много, поэтому рассмотрим только наиболее распространенные и удачные.

Наверное, самая известная программа для визуальной калибровки монитора – **Adobe Gamma**. Ранее она входила в комплект поставки Adobe Photoshop. Идет время, все меняется... теперь это перестали делать. Причина этому проста – она предназначена для калибровки ЭЛТ-мониторов, а для ЖК – малопригодна.

Следующая программа для калибровки монитора – **Atrise lutcurve**. Сразу скажу, что программа платная, автор просит за нее 5...10 \$. Функциональность значительно выше, чем у Adobe Gamma.

Приятно еще и то, что интерфейс Atrise lutcurve переведен на русский язык. Калибровка монитора на всех шагах сопровождается пояснениями автора программы. Atrise lutcurve подходит для цветовой настройки ЖК и ЭЛТ мониторов. В комплекте с программой идет инструкция (правда, на английском языке).

Калибровки монитора в Atrise lutcurve состоит из пяти шагов, на каждом шаге можно вернуться к предыдущему и подкорректировать настройки.

1. Точка черного (Black point) – регулировка яркости монитора (или уровня черного для продвинутых мониторов).
2. Точка белого (White point) – регулировка контраста монитора.
3. Гамма (Gamma) – настройка гаммы монитора.
4. Баланс цветов (Color correction) – точная регулировка установки цветовой температуры монитора.

5. **Корректировочные точки (Curve adjustment)** – точная регулировка яркости.

А теперь о каждом шаге калибровки монитора более подробно.

В нижней части окна вы увидите вкладки пяти шагов калибровки монитора. Для удобства на заключительном этапе калибровки все программные регуляторы собраны в одном месте. После окончания калибровки результат можно оценить по эталонному изображению.

**1. Первый шаг – точка черного (Black point).** В первую очередь – нажимаем на кнопки монитора и смотрим результат. Для получения более точных результатов крутим настройки программы Atrise lutcurve. Необходимо настроить монитор таким образом, чтобы плашки (3,3,3), (2,2,2), (1,1,1) стали различимы. Для этого необходимо использовать регулятор яркости на мониторе (либо регулятор уровня черного на дорогих моделях мониторов). После этого можно использовать программные регуляторы. Черный фон изображения должен быть максимально черным, плашки не должны иметь цветовых оттенков.

**2. Точка белого (White point).** Отрегулируйте контрастность (сначала используйте аппаратные настройки монитора) таким образом, чтобы видеть плашки (252,252,252), (253,253,253), (254,254,254). Плашки не должны иметь цветовых оттенков.

**3. Гамма (Gamma).** Необходимо настроить регуляторы так, чтобы вертикальные столбцы стали как можно менее видимыми. Подкорректируйте R, если вы видите левый столбик окрашенным. Подкорректируйте G, если вы видите центральный столбик окрашенным. Подкорректируйте B, если вы видите правый столбик окрашенным.

**4. Баланс цветов (Color correction).** Сделайте темные, светлые и средние тона серого максимально обесцвеченными. Если это не удастся сделать в центральной части, подкорректируйте уровень черного и уровень белого, сделав их минимально окрашенными.

**5. Корректировочные точки (Curve adjustment).** Этот шаг калибровки монитора позволяет произвести точную настройку монитора, используя корректировочные точки. На данном этапе калибровки можно точно подстроить все точки шкалы из 256 оттенков серого от чисто черного до ярко белого в любой ее части. Вставьте столько корректировочных точек, сколько потребуется, чтобы удалить цветовой оттенок по всей шкале. В идеале, никаких цветовых оттенков не должно быть вообще. Кривая серого должна быть плавной, без ступенек.

На вкладке **Все регуляторы** собраны все настройки программы Atrise lutcurve, которые мы меняли в шагах 1–5. Здесь мы видим все «картину» и можем подкрутить нужные регуляторы.

На этом процесс калибровки монитора закончен, теперь мы можем посмотреть эталонное изображение, и если вас устраивает результат, то нажмите

**ОК**, если нет – вернитесь к предыдущим шагам.

Интересной программой для визуальной настройки монитора является программа **Калибрилла**.

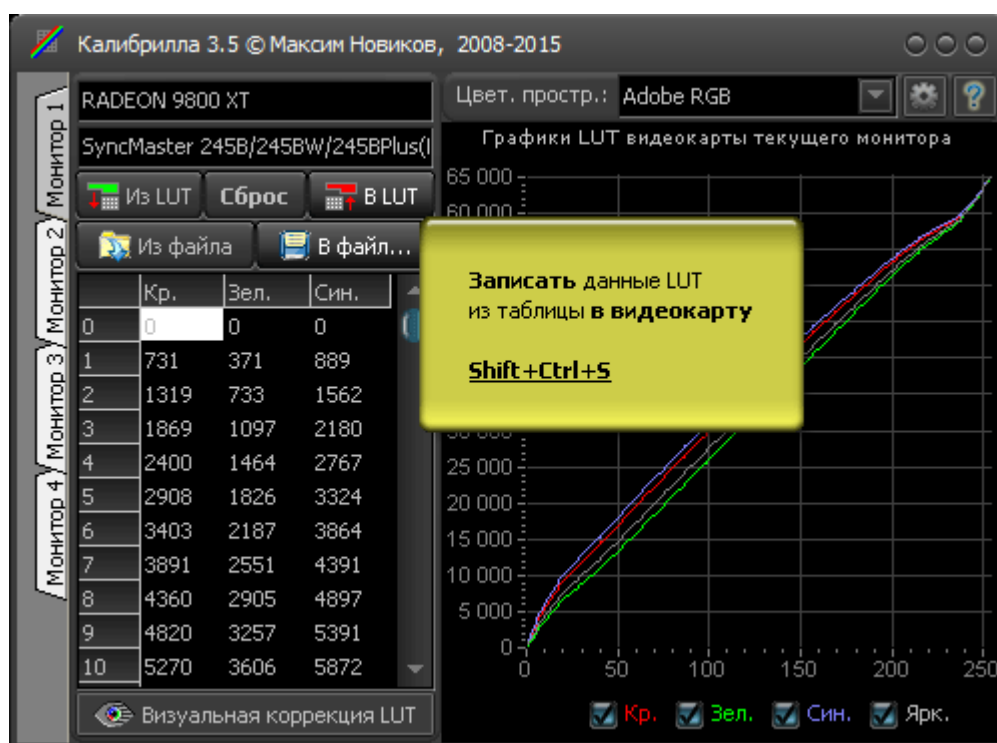


Рис. 4.7. Интерфейс программы Калибрилла

Эта программа разработана и как многомониторный загрузчик LUT видеокарт, и как настройщик LUT видеокарт. После настройки LUT программой данные записываются в текстовый файл, откуда потом могут быть автоматически загружены при старте операционной системы. Также программа может просто записать в файл текущее состояние LUT, что позволяет использовать для последующей автозагрузки данные, подготовленные в другой программе. Помимо обычной автозагрузки, программа имеет функцию отслеживания несанкционированных изменений данных LUT и их восстановления во время всего сеанса работы с операционной системой.

Напомню, что коррекция данных в LUT видеокарт необходима для настройки видеопары «видеокарта-монитор» на правильное отображение цветов вне зависимости от того, поддерживает ли программа отображения цветовые профили или нет. Кроме того, операционная система Windows, к сожалению, поддерживает общий профиль для всех мониторов, подключённых к одной видеокарте, и единственным способом настроить эти мониторы является загрузка.

### **Основные возможности программы**

1. Исполнение роли автозагрузчика LUT при старте операционной системы, в том числе и при работе с несколькими LUT в многомониторной системе.

2. Отслеживание несанкционированных изменений данных LUT и их восстановление во время всего сеанса работы с операционной системой.

3. Коррекция данных LUT как непосредственным вводом значений в таблицу, так и с помощью специальных, поддерживающих поканальный режим, инструментов (уровень подсветки, гамма, яркость, контрастность, изгиб светов и теней), ориентируясь на показания тестовых таблиц, генерируемых автоматически для любой цветовой точки в соответствии с выбранным цветовым пространством.

4. Как общее, так и поканальное сохранение данных LUT в текстовых файлах.

5. Русский и английский интерфейсы, включающиеся как автоматически, так и принудительно.

Программа позволяет осуществлять калибровку мониторов, параллельно используя программно-аппаратные средства сторонних разработчиков, и может являться эффективным инструментальным дополнением к их функциональности. Включив циклическое чтение из LUT (Alt+кнопка Из LUT), в интерфейсе Калибриллы можно визуально наблюдать изменения графиков при правке данных в другой программе.

Калибрилла поддерживает смену стилей интерфейса пользователя. Желаемый стиль можно выбрать из системного меню любого окна программы «Калибрилла» (пункт **Доступные стили**). Напомним, что системное меню открывается нажатием на иконку в левом верхнем углу окна программы.

### **Особенности коррекции данных LUT**

1. Выбор графиков одного, двух (так называемый «цветовой реверс») или трёх цветовых каналов для их одновременной коррекции.

2. Выбор для коррекции любой точки графика и любого количества прилегающих к ней соседних точек (причём прилегающие плечи соседних точек могут быть несимметричны).

3. Режим визуального сужения диапазона коррекции соседних точек (в реальном времени происходит правка более узкого диапазона, после чего изменения применяются для всего диапазона коррекции). Этот метод позволяет избежать ошибок во встроенных динамических визуальных тестах, когда диапазон правки шире, чем разница между самым светлым и самым тёмным полем этого теста (особенно критично для правок вблизи чёрной и белой точек).

4. Функция отката одного последнего действия. Функция отката работает до смены инструмента правки, смены точки или смены текущего цветового канала.

5. Настраиваемые режимы тестовых таблиц, их адаптация под выбранное цветовое пространство.

6. Развитая система горячих клавиш, значительно повышающая скорость

калибровки.

### Инструменты коррекции LUT

1. Ползунки (грубый и точный), меняющие значение текущей точки в выбранных каналах, а также значения выбранного диапазона соседних точек, используя для этого метод линейной интерполяции. Помимо ползунков, ещё более точную подстройку можно выполнить скроллером в поле значения или непосредственным вбиванием в это поле нужного значения.

2. Подсветка – выполняет установку уровня чёрного матрицы (изменяет данные всего диапазона, перемещая левый конец графика (точку чёрного) вверх-вниз при зафиксированном правом конце).

3. Яркость – перемещает весь график вверх-вниз одновременно.

4. Контрастность – меняет разницу соотношения между светлыми и тёмными участками (перемещает правый конец графика (точку белого) вверх-вниз при зафиксированном левом конце).

5. Гамма – меняет все значения графика, выгибая его по гамме относительно средней точки.

6. Коррекция светов и теней – плавно искривляет график вблизи белой или чёрной точки согласно выбранному профилю. Помимо идущих в комплекте S-образного, J-образного и трёх S-образных профилей, пользователь может легко создавать любые свои профили – файлы профилей имеют обычный текстовый формат.

После правки всех необходимых точек, можно либо зафиксировать изменения, нажав на кнопку «В LUT», либо отменить их, закрыв окно правки и отказавшись от сохранения в окне подтверждения.

Многие функции в программе продублированы горячими клавишами. Список горячих клавиш находится в файле документации «Горячие клавиши», во встроенной справке, а также во всплывающих подсказках к соответствующим органам управления.

Чтобы при старте системы автоматически загружать в LUT видеокарт исправленные Калибриллой данные, необходимо выполнить всего три действия:

1. Из основного окна Калибриллы сохранить новые данные в файлы.

2. Открыть первую вкладку окна настроек и добавить туда полные имена этих файлов. Все необходимые для этого инструменты расположены рядом.

3. Нажать кнопку **Создать**, расположенную внизу страницы. Команда запуска Калибриллы в режиме загрузчика (с именами файлов в качестве командной строки) пропишется в реестр.

На той же вкладке можно включить задержку автозагрузки LUT. Это бывает полезно, когда некоторые автоматически загружаемые при старте операционной системы программы сбрасывают LUT. Задержка позволяет Калибрилле загрузить LUT после того, как они отработают.

Кроме того, здесь же можно включить функцию надсмотрщика за дан-



ными LUT. Это бывает полезно, когда некоторые программы сбрасывают LUT в течение сеанса работы операционной системы. В этом случае надсмотрщик фиксирует возникшее различие данных в LUT и данных в файлах автозагрузки и восстанавливает в LUT правильные данные.

Для непосредственного диалога с запущенным надсмотрщиком он имеет иконку в системном лотке (в трее), через контекстное меню которой можно выполнить ряд действий. Щелчком же левой мыши на иконке надсмотрщика можно временно приостановить или возобновить слежение.

### **Сохранение файлов для импорта данных LUT в профиль монитора**

Для импорта кривых тонопередачи в профиль монитора можно сохранить данные LUT в файлы с расширением \*.CRV1 (в этом формате одновременно сохраняется три файла, по одному для каждого цветового канала). Эти данные легко импортировать в \*.xls для дальнейшего математического преобразования согласно данным, что уже содержатся в тегах профиля (r\_TRC, g\_TRC, b\_TRC). Полученные данные можно импортировать в профиль \*.icm монитора (в качестве десятичного разделителя должна быть точка, точность – до 6-го знака после запятой).

Импортируемый файл должен иметь структуру, аналогичную структуре файла \*.crv1, но уже с пересчитанными данными. Затем эти файлы с помощью программы ICC Profile Inspector версии не ниже 2.4 импортируются в соответствующие теги xTRC (чтобы увидеть в окне Read Curve файлы \*.crv1, смените в фильтре тип файла с \*.txt на \*.\*), и уже оттуда пересохраняются в файл профиля монитора.

Для прямой же загрузки в LUT VA или для дальнейшей правки используется сохранение файлов в формате \*.CRV3 (все данные в одном файле).

## **Настройка мониторов Apple**

Наиболее просто настроить монитор владельцам iMac и MacBook потому, что Apple всегда выбирает для своих компьютеров матрицы очень высокого качества с отличной цветопередачей, а пользователю остаётся лишь подкорректировать настройки монитора под те условия, в которых он собирается работать.

Более того, с калибровки монитора должен начинаться и любой переезд компьютера (даже с одного стола на другой). Стоит переставить компьютер поближе к окну – и освещенность места радикально меняется: теперь на монитор попадает больше теплого дневного света и меньше холодного комнатного. Очевидно, что цвета и общий контраст изображения будут выглядеть неестественно на мониторе, не прошедшем настройку под новые условия.

Вопреки распространенному мнению, калибровка монитора в Mac OS X – простой и понятный процесс. Бояться ее не стоит, а результаты видны сразу и невооруженным взглядом – ваши глаза и мозг еще не раз скажут вам спасибо за

то, что вы позаботились о них и привели в гармонию цвета в окружающем мире.

Самый простой и доступный способ откалибровать дисплей в Mac OS X – это воспользоваться встроенным в систему **Ассистентом калибровки монитора** (в оригинале – Display Calibrator Assistant). Поскольку калибровать монитор нужно будет на глаз, рекомендуем обеспечить максимально близкие к рабочим условия освещения. Опустите шторы, выключите весь лишний свет в комнате – чем меньше посторонних факторов будет участвовать в процессе, тем более точной получится в итоге настройка.

Итак, вы остались в тёмной комнате один на один со светящимся экраном в ожидании дальнейших указаний? Отлично, тогда начинаем!

Заходите на своем Маке в **Системные настройки > Мониторы**, открывайте вкладку **Цвет** и нажимайте кнопку **Калибровать** – она и запустит утилиту-ассистента.

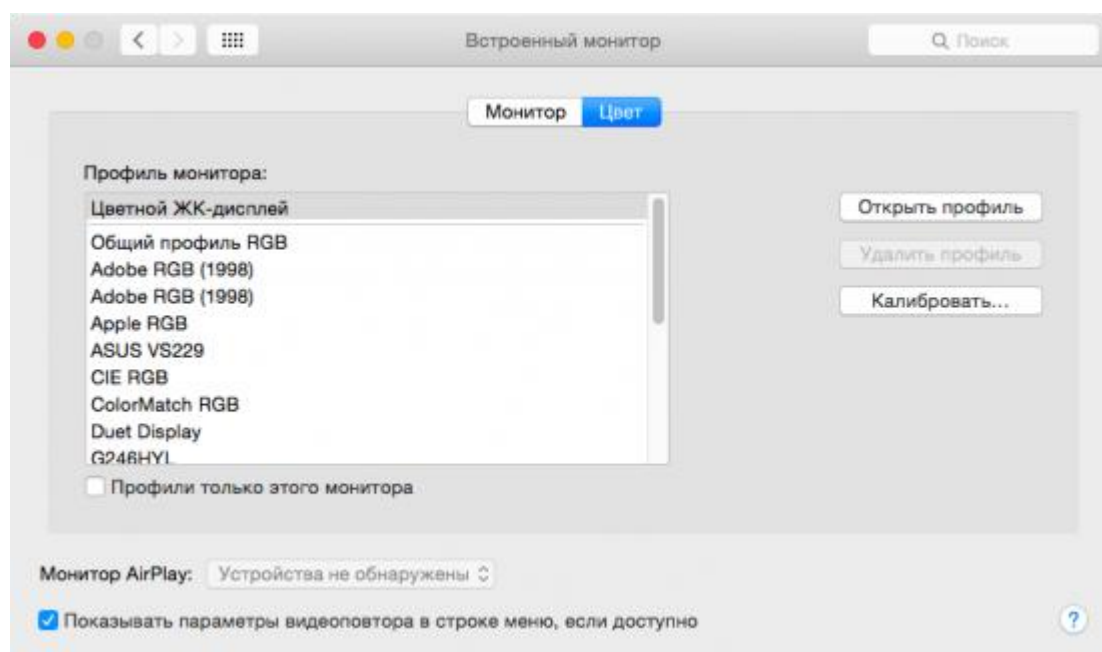


Рис. 4.8. Окно утилиты Ассистента Калибратора монитора

На первом шаге Ассистент вкратце рассказывает о своём назначении, а также предлагает активировать экспертный режим калибровки, о котором речь пойдет ниже.

Следующие два шага, **Настройка** и **Штатная гамма**, в базовом режиме актуальны только для подключённых к компьютеру внешних мониторов, и при калибровке встроенного в iMac или MacBook дисплея ассистент их пропускает. Они нужны в первую очередь для того, чтобы подготовить внешние мониторы к последующей настройке цвета – а на встроенном в корпус компьютера дисплее система легко выставляет все необходимые параметры самостоятельно.

Следующий шаг называется **Тестовая гамма**. Гамма напрямую влияет на контрастность и глубину чёрного цвета изображения. При неправильно выставленной гамме изображение будет выглядеть слишком темным, либо слишком

блеклым. Из двух опций просто выберите наиболее приятную глазу. Как правило, ею оказывается стандартная для всех Macs Гамма 2.2.

Теперь мы должны выбрать **Целевую белую точку**. Принцип выбора тот же – просто пощёлкайте по всем четырем пунктам и остановитесь на том, где белый ближе всего к идеальному – для большей уверенности просто приложите к экрану лист белой бумаги и сравните его оттенок с тем, что отображается на мониторе.

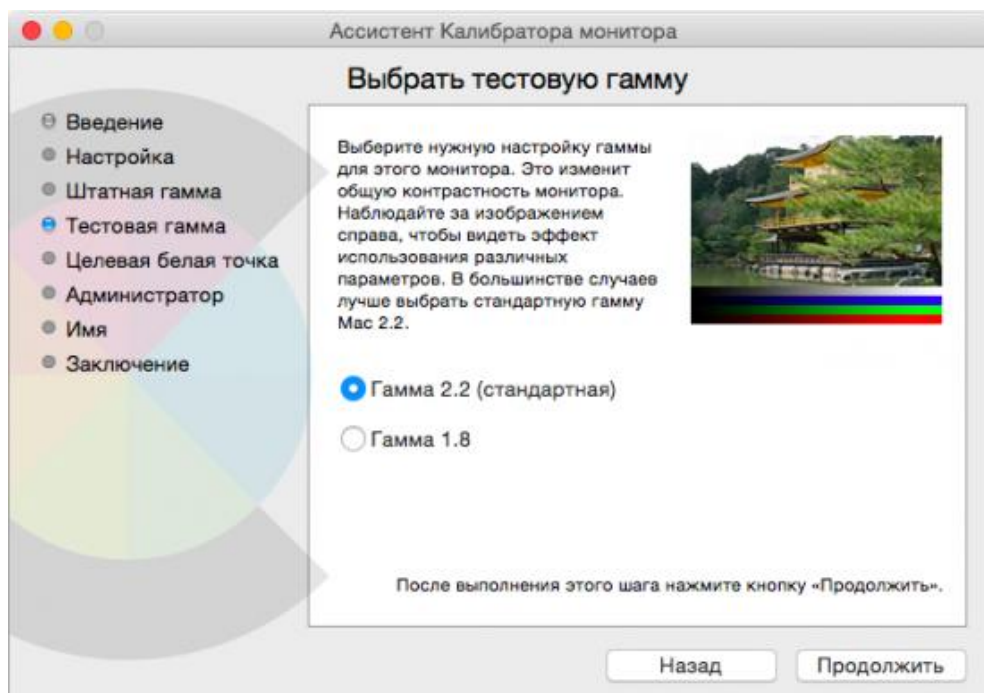


Рис. 4.9. Окно выбора тестовой гаммы

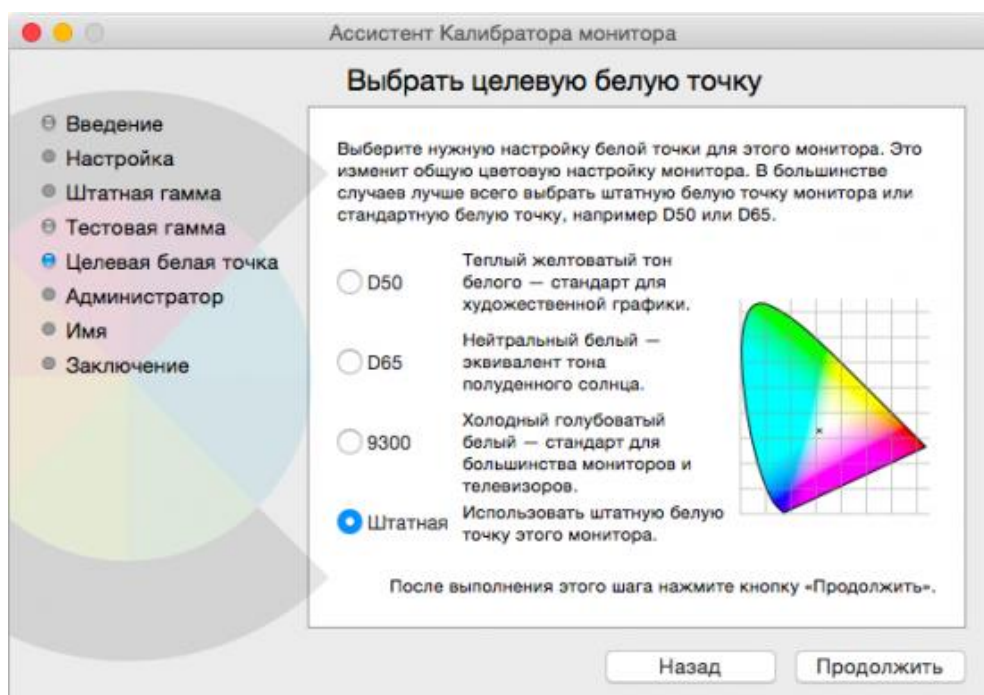


Рис. 4.10. Выбор целевой белой точки

Вот и всё! Базовая настройка монитора завершена. Остаётся лишь дать название новому профилю и сохранить его в системе. А какие дополнительные шаги ждали бы нас в экспертном режиме Ассистента?

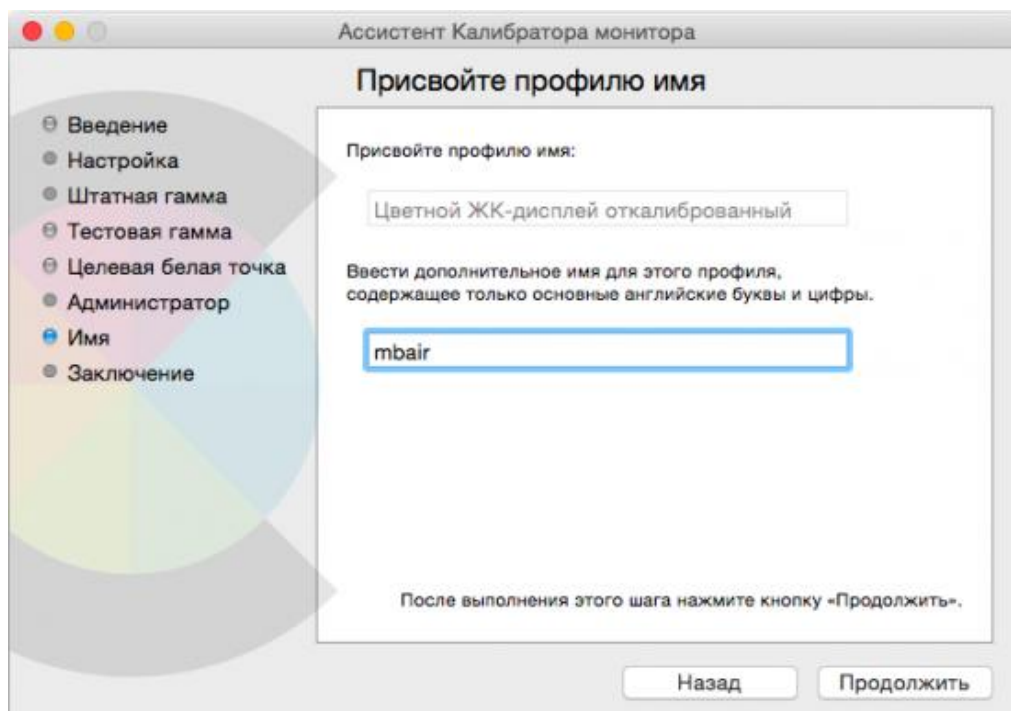


Рис. 4.11. Окно присвоения имени профилю

Во-первых, это настройка **Штатной гаммы** – пять шагов, в ходе которых определяется штатный отклик монитора на различных оттенках серого. Откидываемся в кресле, щуримся и двигаем ползунки до тех пор, пока яблоко не сольется со своим фоном в однородное серое яблочное пюре.

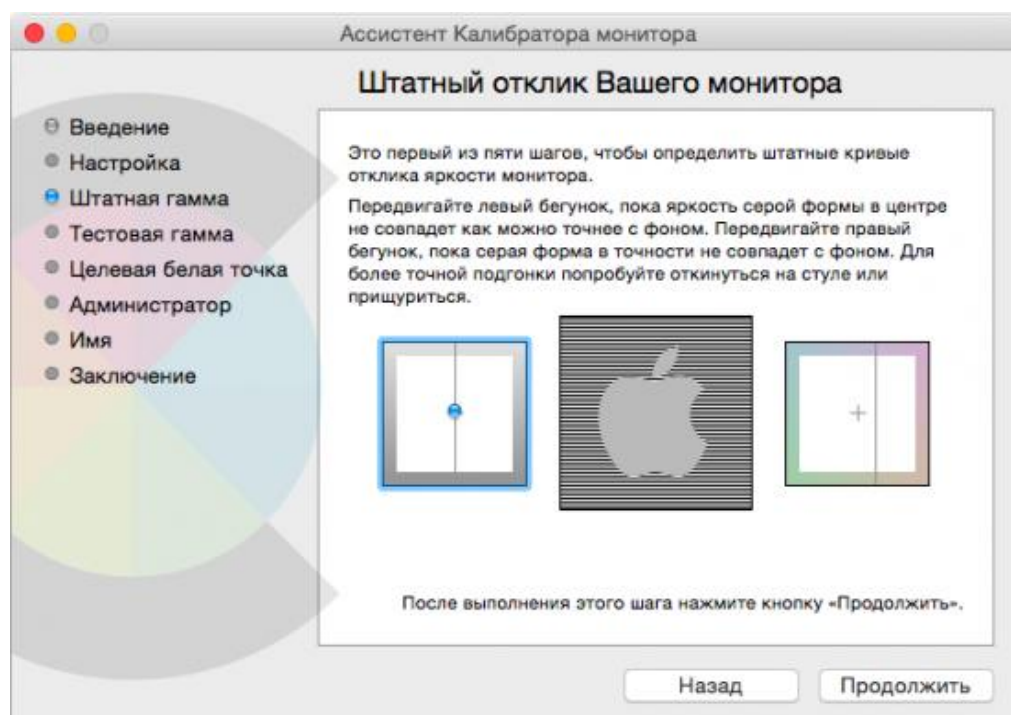


Рис. 4.12. Окно штатного отклика

Далее, выбор **Тестовой гаммы** не ограничивается всего двумя вариантами – ползунок позволяет выбрать любое значение гаммы от 1 до 2.6. Подвигайте его, и вы поймёте, почему в базовом режиме доступны всего две опции, а Гаммы 2.2 в большинстве случаев достаточно. Задачи, где требуются иные значения, крайне специфичны и вряд ли когда-либо встретятся вам в повседневной жизни.

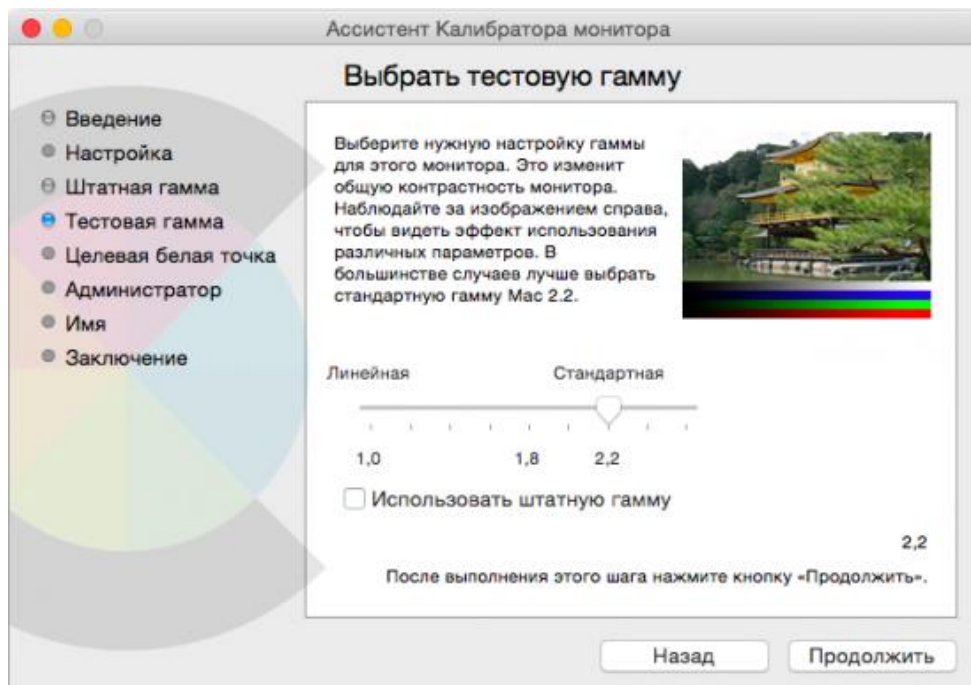


Рис. 4.13. Окно выбора тестовой гаммы

Выбор **Целевой белой точки** также представлен в виде ползунка – если вас не удовлетворяют предложенные в базовом режиме варианты, то здесь вы сможете подобрать оттенок белого гораздо точнее. (Будьте осторожны, сравнивая оттенок белого на мониторе с листом бумаги – зачастую бумага для принтеров оказывается на самом деле не идеально белой, а, например, слегка желтоватой.)

Если у вас есть права администратора системы, то в режиме **Администратор** вы сможете позволить всем пользователям компьютера использовать созданный вами профиль монитора. Сохранение профиля на шаге **Имя** ничем не отличается от такового в базовом режиме, и только к **Заключению** добавится ещё и техническая сводка выставленных в ходе калибровки параметров.

Дело сделано – монитор успешно откалиброван и готов к работе! Остаётся лишь наслаждаться глубиной и многообразием оттенков, отобразить которые может лишь качественно сделанный и хорошо настроенный дисплей. Достаточно единожды увидеть это своими глазами – и начинать настройку компьютера с калибровки монитора быстро войдет в привычку.

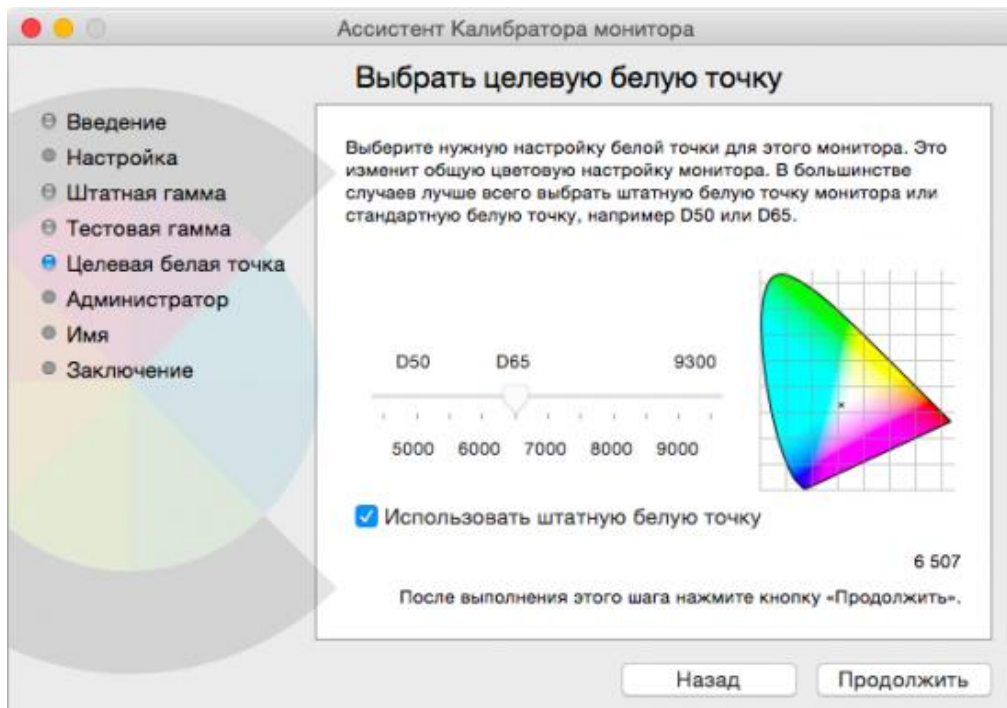


Рис. 4.14. Окно выбора целевой белой точки

#### 4.6.2. Аппаратная калибровка

Программы генерирования профилей, основанные на аппаратных измерениях, выполняют следующие операции с цветом: калибруют монитор путем автоматического измерения тестовых фрагментов и подбора параметров RGB-пушек и видеокарты и создают ICC/ICM-профиль монитора, используемый редактором изображений при выводе их на экран. ICC-профиль дисплея содержит несколько числовых значений, представленных в виде таблицы и описывающих белую точку, гамму, черную точку и баланс основных RGB-цветов, а также набор кривых, загружаемых в память видеокарты для настройки цветových каналов. После того как профиль дисплея или монитора правильно сохранен в системе, все приложения, поддерживающие ICC, могут его использовать для коррекции и получения объективно более точного экранного изображения. При наличии профиля принтера его также можно использовать для настройки дисплея.

Теперь, зная, что представляют собой профили дисплея, рассмотрим, как они создаются с помощью измерительных систем. Поскольку профилирование столь актуально, очень многие компании борются за деньги, которые потребители готовы заплатить за управление цветом. По этой же причине фотохудожники, использующие цифровую обработку изображений, имеют гораздо более широкий, чем прежде, выбор систем аппаратной калибровки и профилирования. Ниже описаны наиболее распространенные из таких систем, стоимость которых колеблется от нескольких сотен до нескольких тысяч долларов.

**MonacoEZcolor 2** – это довольно простая программная система для соз-

дания профилей мониторов, сканеров и принтеров. В ее состав также входит функция настройки профилей. Утилита ColorWorks из комплекта MonacoEZColor 2 представляет собой приложение для редактирования и печати изображений на тот случай, если пользователь не пожелает воспользоваться графическим редактором, поддерживающим ICC.

Профилирование монитора выполняется визуально, с использованием экранных шкал, либо с помощью дополнительного устройства MonacoSENSOR, представляющего собой миниатюрный колориметр, который крепится к монитору с помощью присосок. Программа выводит на экран последовательность RGB-изображений и нейтральных цветовых фрагментов, измеряемых сенсором. Цветовые фрагменты считываются электронным способом и интерпретируются. По результатам этой интерпретации программа калибрует монитор и автоматически составляет его профиль. EZcolor 2 не подходит для калибровки LCD-дисплеев.

Monaco выпускает еще две более сложные (и дорогие) модификации систем управления цветом. Расширенная система **MonacoPROOF** обладает теми же функциями, что и EZcolor 2, а также дополнительными параметрами выходного профиля. Возможности профессиональной версии **MonacoPROFILER** еще шире, за счет поддержки LCD-дисплеев. Каждый из этих пакетов позволяет также составлять профили принтеров.

**ColorVision Spyder with PhotoCAL.** Компания Pantone ColorVision также создала пакет решений для управления цветом. Ее система начального уровня для калибровки монитора называется Spyder with PhotoCAL. В набор, как и в Monaco, входят колориметр с присосками (только он позволяет калибровать оба типа мониторов, CRT и LCD) и программное обеспечение PhotoCAL.

Калибровка монитора методом PhotoCAL выполняется с помощью панели управления монитором и очень похожа на работу системы Monaco, за исключением того, что отсутствует возможность визуальной калибровки и предусмотрена дополнительная операция по идентификации элементов управления отдельными RGB-цветами и коррекции цветовых «пушек».

Среди других систем калибровки мониторов отметим следующие.

- **ITEC ColorBlind Prove it! Prove it!** имеет визуальный и инструментальный режимы калибровки, а также поддерживает LCD-мониторы, однако представляет собой итерационный (циклический) процесс; для точной настройки баланса серого цвета и других параметров необходимо выполнить много операций, а для лучшего определения цвета программное обеспечение переводит монитор в черно-белый режим. На последнем этапе здесь даже выполняется проверка и редактирование профиля посредством коррекции кривых.

- **GretagMacbeth ProffleMaker** и **GretagMacbeth Eye-One.** ProfileMaker Professional представляет собой модульную программную систему для построения ICC-профилей для всех типов входных и выходных устройств, включая

мониторы, сканеры и принтеры. Модуль MeasureTool предназначен для калибровки и профилирования мониторов, работающих с различными спектрофотометрами; Eye-One Pro и Spectrolino позволяют профилировать плоскочпанельные и CRT-мониторы. Система Eye-One продается в виде устройства Monitor-only (с измерением в режиме прозрачности) или как устройство Eye-One Pro, позволяющее проводить измерения в режимах прозрачности и отражения. Обе модификации, Monitor-only и Pro, поставляются в комплекте с программным обеспечением для построения профилей One Match Monitor.

- **ProfileCity ICC Display.** Этот программный пакет предназначен для автоматически калибровки и профилирования дисплеев. В комплекте с полной версией поставляется колориметр Chroma 4 для калибровки CRT-мониторов; базовая версия поддерживает различные измерительные устройства. Пользоваться ею очень просто: для калибровки монитора достаточно нажать всего одну кнопку.

#### 4.7. Профилирование сканеров

Практически все модели современных сканеров и цифровых камер используют систему RGB. Отличительной особенностью профилей указанных устройств является то обстоятельство, что они однонаправленные, то есть информация, содержащаяся в профиле, позволяет осуществлять только преобразование Device Color→PCS, а преобразование PCS→Device Color невозможно. Это обстоятельство вызвано тем, что сканер (цифровая камера) всегда является первым звеном в цепи цветопреобразований. Следовательно, они должны содержать только таблицу пересчета из RGB в  $L^*a^*b^*$  (или Device Color в PCS), а обратное преобразование практического смысла не имеет. Поэтому основной задачей профиля данного типа является пересчет координат RGB в координаты  $L^*a^*b^*$ . Этот пересчет выполняется, как правило, табличным способом.

Если цифровые камеры, как правило, не нуждаются в профилировании, то уважающий себя владелец сканера обязательно его настроит.

Для калибровки (профилирования) сканера используются специальные тестовые мишени IT8.7/1 и IT8.7/2, которые определены Международной организацией по стандартам (ISO) в документе ISO 12641. Первый стандарт (IT8.7/1) описывает тестовую мишень, предназначенную для калибровки сканеров, работающих на просвет, и определяет расположение и колориметрические значения цветов, размещенных на этой позитивной фотопленке. Вторым стандартом (IT8.7/2) отличается от первого только тем, что описывает непрозрачную мишень (то есть выполненную на фотобумаге).

Одной из реализаций этого стандарта является продукция компании Kodak, которая выпускает три типа мишеней, предназначенных для калибровки сканера и удовлетворяющих требованиям IT8.7.

Q-60E1 – прозрачная мишень размером 4x5 дюймов, выполненная на



пленке KODAK EKTACHROME Professional Film;

Q-60E3 – также прозрачная мишень на том же материале, но размером 24x36 мм;

Q60-R1 – непрозрачная мишень размером 5x7 дюймов, выполненная на бумаге KODAK EKTACOLOR Professional Paper.

На всех трех типах мишеней нанесено почти одинаковое изображение, которое представлено на рис. 4.15.

Расположение и цвет цветных квадратов на изображении регламентируется стандартами. В строках (с А по L) расположены квадраты с одинаковым оттенком (Hue). Каждый оттенок представлен тремя уровнями яркости (Lightness) (первый уровень – колонки с 1-ой по 4-ю; второй – 5–8; третий – 9–12). На каждом уровне яркости квадраты отличаются насыщенностью (Saturation). Цвета первых трех столбцов в каждой группе (1–3, 5–7, 9–11) определены стандартом ISO. Их цвета подобраны на основании данных, представленных фирмами Agfa, Kodak, Fuji, Konika и выбраны такими, что они могут быть изображены на всех этих материалах. Четвертый столбец каждой группы (4, 8, 12) должен иметь максимальную насыщенность, которая возможна на данном материале при данном оттенке и яркости.

Таким образом, все цветовое пространство разделено на 12 оттенков (Hue), в каждом из которых представлено по три уровня яркости (L) и четыре уровня насыщенности (S).

Колонки с 13 по 19 содержат «чистые» цвета: голубой, пурпурный, желтый, а также черный, красный, зеленый, синий, в каждом из которых меняется его «насыщенность» – от белого до максимально насыщенного.



Рис. 4.15. Внешний вид мишени IT8.7

В нижней части мишени расположена нейтральная шкала, состоящая из 24 оттенков – от белого до черного.

Колонки с 20 по 22 могут быть заполнены цветами, которые выбираются производителем. На мишенях производства Kodak там расположены 12 квадратов телесного цвета, а также портретная фотография, по которой можно оценить правильность цветопередачи сканера.

Мишень представляет собой как бы эталонное изображение. С ней поставляется файл (reference file), содержащий числовые значения цветовых полей мишени, замеренные на заводе-изготовителе. (Заметим, что на заводе промеряются несколько мишеней из партии, значения усредняются и используются для всей партии. Мишени, промеряемые индивидуально, стоят раз в пять дороже.)

Как правило, на прилагаемой к мишени дискете записано несколько файлов с такими данными. Нужно выбрать файл с названием, соответствующим номеру партии мишени. Он написан на самой мишени и выглядит обычно как год и месяц производства, например: 2015:06 (это верно для мишеней Kodak, у AGFA, например партия нумеруется по-другому). Формат файла также определяется в стандарте.

Рассмотрим процесс профилирования сканера. Для этого, кроме мишени, нам понадобится программа для построения профиля. Существует несколько подобных программ, мы же воспользуемся программой Heidelberg ScanOpen. Программа широко распространена и считается одной из лучших, хотя и стоит достаточно дорого.

На первом этапе калибровки необходимо отсканировать мишень. Сканировать нужно в формате RGB, без автоматической подстройки яркости/контраста/цветности, все ручные настройки должны быть поставлены в положение «по умолчанию». Сканирование непрозрачного эталона производится с разрешением 200...300 ppi, а прозрачного с разрешением 600...800 ppi. Получившийся файл следует сохранить в формате TIFF.

Далее следует запустить программу ScanOpen. При запуске сразу открывается окно создания нового профиля (рис. 4.16). Если оно по каким-либо причинам не появилось, выполните команду **File>New**.

Создавать новый профиль можно с помощью «мастера» (Wizard) или в «режиме эксперта». Мастером лучше не пользоваться, а делать все самостоятельно.

Для этого найдите в нижней части окна, которая относится к «режиму эксперта», поле **Calibration data file name**, нажмите кнопку **Browse...** и укажите ваш файл с описанием мишени. После этого станет доступно поле **Calibration scan file name**, в котором следует указать файл со сканом мишени. После этого нажмите кнопку **OK**, и перед вами предстает картинка, показанная на рис. 4.17.

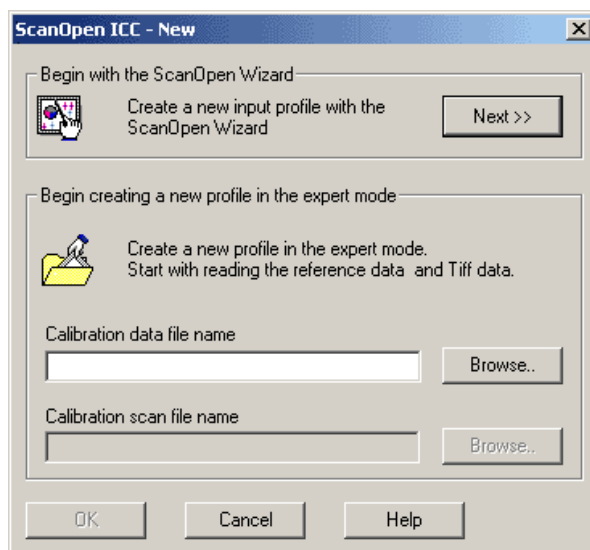


Рис. 4.16. Окно создания нового профиля

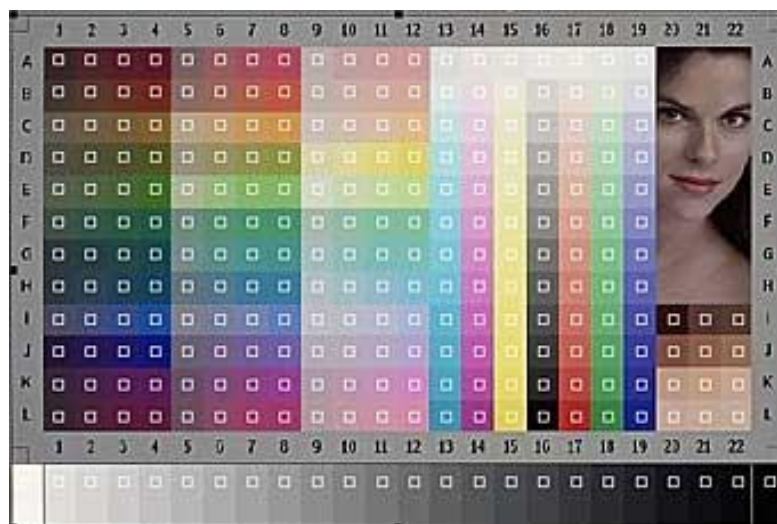


Рис. 4.17. Окно настройки

Белые квадратики указывают, какие области программа будет использовать при расчете профиля. Они должны находиться примерно в центрах цветовых полей мишени. Если они смещены (это может быть, если размеры файла не соответствуют размерам мишени), то нужно переместить сетку, или изменить ее размер, потянув маркеры (черные квадратики на центрах сторон и в углах прямоугольника из пунктирных линий).

После того как вы поместили сетку, можно приступить к расчету профиля. Для этого выполните команду **Calculate profile** из меню **Edit**. Появится окно, представленное на рис. 4.18.

Нажмите кнопку **Calculate**, и программа рассчитает профиль. После расчета в первую очередь следует обратить внимание на значение **Error (dE)**. Не вдаваясь в подробности, отметим, что если это значение больше 1, то профиль получился не очень хороший. Это говорит, в первую очередь, о том, что ваш сканер просто нельзя хорошо откалибровать. Конечно, получившимся профи-

лем все равно можно пользоваться, но толку от него будет меньше, чем ожидалось. Поля, для которых dE больше 1,5, вы сможете увидеть поле нажатия кнопки **ОК**, они будут обведены красной линией.

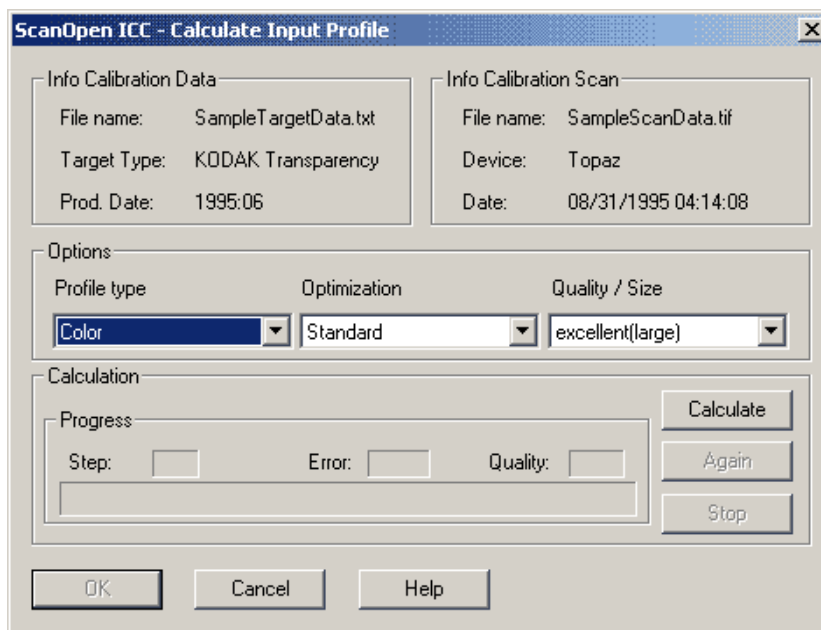


Рис. 4.18. Окно расчета входного профиля

Далее полученный профиль необходимо скопировать в папку **Windows > System32 > Spool > Drivers > Color**, где должны находиться все профили. Кроме того, его можно «привязать» к вашей программе сканирования, если она предоставляет возможность использования профилей. Если нет, применить профиль можно, воспользовавшись, например, командой программы Adobe Photoshop: **Image>Mode>Assign profile** (рис. 4.19).

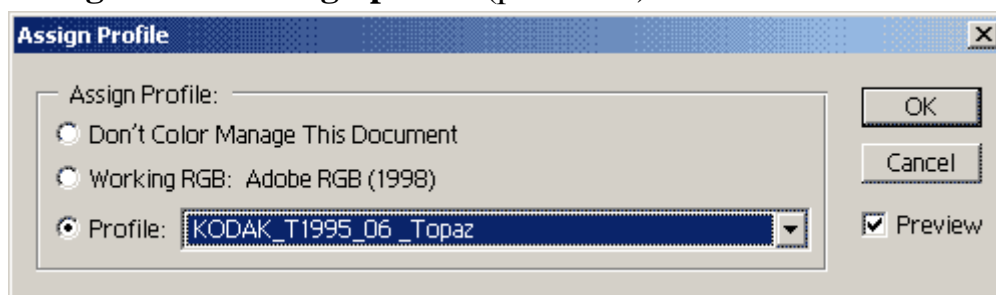


Рис. 4.19. Окно привязки профиля к графическому редактору

Следует иметь в виду, что мишени IT8.7/1 и IT8.7/2 – вещи очень хрупкие и чувствительные. Их следует хранить в прохладном сухом месте при температуре не выше 21°C и влажности не более 50%. Обращаться с ними надо очень осторожно во избежание появления царапин и отпечатков пальцев. Сразу после использования мишени следует укладывать в защитные конверты.

Срок службы мишеней очень сильно зависит от условий их хранения и использования. При выполнении всех условий хранения и эксплуатации срок службы мишени не превышает трех лет (по данным Kodak). Реально, видимо,

их нужно менять еще чаще: раз в один-два года.

#### 4.8. Профилирование принтеров

Главное в профилировании принтера – понимать, что профилируется во все не принтер! Профилированию подлежит сочетание разрешения принтера и параметров драйвера, чернил и бумаги. Измените один из этих компонентов – и вот вам уже нужен новый профиль. Именно поэтому фотохудожники обычно имеют много профилей принтеров, по одному для каждой комбинации «принтер-чернила-бумага».

Откуда берутся профили? Они бывают трех типов: стандартные, или готовые, заказные и самодельные, составленные с помощью программного обеспечения для построения профилей.

**Готовые профили.** Готовые, или стандартные, профили – именно стандартные, общие. В них не учитываются особенности вашей аппаратно-программной системы и технологического процесса. Такие профили могут служить лишь отправными точками для создания хороших профилей устройств. Это лучше, чем ничего, но иногда – очень ненамного.

Большинство готовых профилей поставляется производителями расходных материалов (обычно чернил, но, бывает, и бумаги). Как правило, такие профили стоят ровно столько, сколько того заслуживают. Многие из них бесплатны, особенно если производитель пытается продать вам вместе с ними что-то еще. Однако профили можно купить и по 50...175 долларов за каждый. Именно за каждый – если, например, вам нужен профиль для печати принтером Epson 2000P с чернилами Epson OEM на бумаге Legion Somerset Enhanced, то это один профиль. Если же вы смените бумагу на Somerset Satin, то вам потребуется другой профиль, на Somerset Velvet – третий и т.д. Теперь понятно, зачем люди коллекционируют профили?

Профиль подразумевает определенную настройку принтера. Если ее изменить, профиль станет недействителен. (Впрочем, профиль тоже настраивается.)

Отклоняясь в сторону, заметим, что при установке драйвера струйного принтера загружаются несколько готовых профилей, предоставляемых производителем устройства. Возможно, вы этого не осознаете, но именно в этих профилях хранятся данные о стандартных типах носителей и параметрах бумаги. С помощью редактора изображений или программы управления профилями, поддерживающих ICC, или просто заглянув в системную папку, где хранится профиль, вы увидите те же профили, что и в диалоговом окне настройки принтера.

**Заказные профили.** Следующая ступень качества принадлежит профилям, созданным на заказ профессионалами на профессиональном оборудовании. Эти профили гораздо точнее, так как отражают параметры именно вашей

среды, включая чернила, бумагу, оборудование, свойства драйвера и т.п. Обычно это делается так: вы загружаете односторонний образец и печатаете его в точном соответствии с инструкциями, включающими в себя печать без коррекции, – ведь нам нужно, чтобы результат отражал как сильные, так и слабые стороны принтера. Затем отпечатанная страница посылается составителю профиля, который ее сканирует, составляет профиль на специальном дорогом оборудовании для профилирования со спектрофотометром и отправляет вам результат. При создании тестового отпечатка необходимо тщательно записать все параметры принтера и всегда использовать их с этим профилем (который по необходимости может быть отредактирован и настроен). Стоимость таких услуг колеблется от 100 до 250 долларов – как всегда, для каждой комбинации «чернила-бумага-принтер».

Для тех, кому не хочется тратить время и деньги на создание собственной системы профилирования и кто не собирается часто менять принтер, чернила и бумагу, такой вариант представляется хорошим решением задачи. Многие считают, что заказные профили обеспечивают наилучший результат по сравнению с другими типами профилей.

**Самостоятельное профилирование.** Как и в случае с профилированием монитора, можно приобрести пакет генерирования профилей независимого разработчика и создавать собственные профили для принтера. В одних системах построения профилей есть функции и для профилирования принтера, и для калибровки монитора, в других эти средства предоставляются отдельно. Самостоятельное создание профиля связано с самыми высокими начальными затратами (обычно несколько сотен долларов и даже больше), однако если вы собираетесь использовать много профилей и не боитесь метода проб и ошибок, то такой вариант может оказаться наилучшим.

Главный принцип заключается в том, что опорный отпечаток со множеством цветных участков, имеющих известные значения, выводится на устройство печати с использованием тех же параметров, чернил и бумаги, что и окончательные отпечатки, которые будут делаться с данным профилем. Затем полученные цветные участки измеряются с помощью либо обычного планшетного сканера (это дешевле, но менее точно), либо спектрофотометра (дороже, зато точнее). Различия записываются программой в виде профиля устройства, который и является ICC-профилем принтера для данного сочетания переменных.

Многие программы построения и управления профилями позволяют редактировать и настраивать профили принтера. Можно также использовать для редактирования существующего профиля корректирующие слои в редакторе изображений.

Рассмотрим основные системы, используемые для профилирования принтеров

**Monaco EZcolor 2** (как и для мониторов) – это оригинальный и хорошо

продуманный мастер-процесс для построения профиля принтера, подобный тому, что применяется для калибровки дисплеев. После печати тестового изображения с использованием тех же параметров принтера, чернил и бумаги, что и для рабочих отпечатков, к нему внизу приклеивают липкой лентой отдельный тестовый отпечаток IT8 (и только такой) и сканируют все это на планшетном сканере. Убрав лишнее, выбирают имя профиля, после чего программа составляет и сохраняет готовый профиль. Одновременно можно составить профиль сканера.

**MonacoPROOF** делает то же, что и Monaco EZcolor 2, и, кроме того, имеет средства линеаризации и релинеаризации (для обновления профилей по мере дрейфа параметров устройств), редактирования кривых в профилях, интерфейсы для колориметров и спектрофотометров, а также функции поворота трехмерных графиков цветовых гамм. В состав MonacoPROFILER входят, кроме перечисленных функций, поддержка цифровых фотоаппаратов, профилирование PANTONE Hexachrome, редактирование нейтрального баланса, преобразование расширенной гаммы и более понятный редактор профилей. Это самое лучшее и самое дорогое программное обеспечение для управления цветом.

**ColorVision ProfilerPLUS.** PANTONE ColorVision ProfilerPLUS – это модуль Photoshop, предназначенный для построения выходных профилей с использованием планшетного сканера в качестве измерительного устройства.

**ProfilerPRO** является расширенной версией ProfilerPLUS. Здесь есть интерфейсы не только для сканера, но и для сложных спектрофотометров, позволяющих получить более точные результаты. Кроме того, в состав ProfilerPRO входит утилита ColorVision DoctorPRO (продаваемая также отдельно) для настройки профиля с помощью общих инструментов редактирования Photoshop.

Процесс ColorVision гораздо проще, чем Monaco (в нем не нужно клеивать тестовые отпечатки липкой лентой и не требуется их сложная обрезка).

Перечислим некоторые другие системы для построения профилей принтеров.

- **ITEC ColorBlind Matchbox.** Сложная система построения профилей, состоящая из трех продуктов: ColorBlind Matchbox Profiler (для составления входных ICC-профилей, профилей отображения и печати), ColorBlind Edit (для редактирования изображений и профилей) и ColorBlind Spot (для создания библиотек цветовых образцов). Устройства управления цветом приобретаются отдельно.

- **GretagMachbeth ProfileMaker.** ProfileMaker Pro – это еще одна профильная система, в состав которой, кроме MeasureTool для калибровки и измерений параметров устройств, входят ProfileMaker (для калибровки профилей принтеров), ProfileEditor (для настройки профилей) и ColorPicker (для установки соответствия между палитрой PANTONE и специальными цветами). ProfileMaker позволяет измерять и создавать ICC-профили для всех типов принтеров, в том

числе цветных, с количеством чернил до семи цветов.

- **GretagMacbeth Eye-One.** Интегрированная система управления цветом, состоящая из спектрофотометра Eye-One и программного обеспечения Eye-One Match. Поставляется в трех видах: Eye-One Monitor (только для калибровки монитора), Eye-One Pro (спектрофотометр и программа профилирования монитора, позволяющие сканировать и измерять другие цветные источники) и Eye-One Pro с Eye-One Match (добавлены возможности создания входного и выходного профилей).

- **ProffleCity ICC Print.** Система существует в двух версиях: ICC Print RGB и ICC Print CMYK. Обе версии поддерживают спектрофотометры (приобретаемые отдельно). В ICC Print CMYK предусмотрен ряд параметров для слежения за расходом чернил: общий лимит чернил, максимальное и начальное количество черных чернил, форма черной кривой, цветная и серая шкалы GCR.

- **Digital Domain Profile Prism.** Недорогое решение для PC на основе сканера. В состав Profile Prism входит 753-цветный непрозрачный образец; генерируются профили для цифровых фотоаппаратов, сканеров и принтеров.

## ГЛАВА 5. МНОГОЛИКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

### 5.1. Общие сведения

Если бы термины, обычно используемые в области электронной издательской деятельности, были актерами, то «разрешение» заслужило бы премию Оскара за многогранность. Входное разрешение, разрешение при сканировании, оптическое разрешение, интерполированное разрешение, разрешение экрана (монитора), разрешение изображения, выходное разрешение – вот только несколько из многих масок, которые носит этот персонаж. Разрешение – это самый запутанный термин в области компьютерной графики. Какое значение имеет разрешение для цифровых изображений? Какое разрешение следует выбрать при сканировании оригинала? Какое разрешение достаточно для того, чтобы гарантировать высокое качество выходного изображения, и может ли оно быть слишком высоким? Когда можно изменять размеры изображения, и какой метод лучше для этого использовать? И вообще, что же это такое – разрешение?

Разрешение играет столь выдающуюся роль в обработке изображений, что мы посвящаем ему целый раздел.

В этой разделе мы ответим на эти и ряд других вопросов. Мы разберем каждую из перечисленных ниже проблем, предложив практические советы, которые помогут вам добиться максимально высокого качества изображения:

- разрешение и его связь с основными характеристиками пикселей;
- как влияет разрешение на качество изображения, размер файла, простоту



обработки;

- каким образом соглашения о растривании, используемые при печати, определяют разрешение, как при вводе, так и при выводе изображения.

В зависимости от устройства, на котором выводится изображение, возможно использование следующих единиц измерения разрешения:

- dpi (dot per inch) – количество точек на дюйм;
- ppi (pixel per inch) – количество пикселей на дюйм;
- lpi (line per inch) – количество линий на дюйм;
- spi (sample per inch) – количество элементов на дюйм.

И все же, несмотря на то, что пиксели, точки и элементы характеризуют разные аспекты изображения, между ними много общего. Пиксель является основным элементом (кирпичиком) растровых изображений. Это единица измерения, принятая в компьютерной графике, аналогичная привычным для нас сантиметру или литру в повседневной жизни. Время от времени вы встречаетесь с упоминанием других терминов компьютерной графики: точки и элементы. И пиксели, и точки, и элементы используются для измерения объема работы, выполняемой на различных этапах создания цифрового изображения. По этой причине, а также из-за некорректного использования их профессионалами пользователь часто воспринимает эти понятия как одно и то же.

Терминологическая путаница в этом вопросе усугубляется еще тем, что часто в качестве универсальной единицы измерения используется единица dpi. Так, сочетание 300 dpi может характеризовать модель сканера и лазерного принтера. Для одних величина 2400 dpi ассоциируется со сканером, а для других – с фотонаборным автоматом. Значение 72 dpi может быть связано с разрешением монитора, но может быть и частотой раstra.

Для устранения этих заблуждений мы попытаемся далее установить различие между пикселями, точками и элементами. Но прежде, чем это сделать, коснемся основных этапов обработки изображения. Это необходимо, прежде всего, для понимания физических процессов, лежащих в основе формирования понятий различных типов разрешения.

Известно, что процедура создания цифрового изображения обычно включает в себя три этапа:

- ввод (или получение) изображения;
- обработку изображения;
- вывод изображения.

На этапе ввода или получения изображения цифровой аппарат или сканер преобразуют (оцифровывают) световую информацию в числовые значения, которые сохраняются в файле изображения.

В фазе обработки изображения с помощью специального программного обеспечения (графического редактора) осуществляется манипулирование числовой информацией об изображении, сохраненной в виде файла на предыду-

щем этапе. Основной задачей данного этапа является выполнение последовательности шагов, направленных на улучшение введенного в компьютер оригинального изображения путем управления и настройки таких параметров, как яркость, контраст, цветность, резкость, кадрирование и др.

При выводе изображения реализуется обратная процедура, связанная с преобразованием чисел, хранящихся в файле изображения, в готовое изображение, аналогичное тому, которое было введено в компьютер на первом этапе. Для этого можно воспользоваться принтером или монитором (при использовании результатов работы для web-дизайна).

Каждый из перечисленных этапов работы с изображением характеризуется своим типом разрешения. Но вместе с тем, вне зависимости от стадии обработки само понятие разрешения включает два компонента:

- пространственное разрешение;
- яркостное разрешение.

**Пространственное разрешение.** Пространственное разрешение (или просто разрешение) характеризует количество мельчайших элементов информации, из которых состоит изображение. Часто все эти мелкие составные части имеют одинаковый размер, как, например, отдельные пиксели в растровом изображении. Однако на нецифровых этапах допечатного процесса эти части могут отличаться по размеру: например, зерно на фотопленке, которое, можно сказать, является ее разрешением, или полутонные точки, образующие разрешение печатной машины.

В случае изображения с высоким разрешением отдельные пиксели очень малы, поэтому их можно увидеть только при большом увеличении. При низком разрешении отдельные пиксели достаточно велики, и их можно видеть даже невооруженным взглядом. Отсюда следует, что увеличение разрешения изображения влечет за собой улучшение его качества. Это правда, но с одной оговоркой: лишь для одного типа графики. При работе с черно-белыми изображениями нужно устанавливать максимальное разрешение. Все пиксели здесь либо черные, либо белые. Между ними нет плавных переходов. По этой причине желательнее располагать пиксели как можно ближе друг к другу. Таким образом вам удастся избавиться от лесенок (проявление эффекта aliasing), появляющихся при печати наклонных линий. С ростом градаций цвета (или яркости) потребность в высоком разрешении отпадает. В этом случае глаз обманывают постепенные переходы между тонами. В соответствии с этим специалистами-практиками сформулировано следующее правило: **Если в графике много цветов (или градаций яркости для серых изображений), разрешение может быть уменьшено (в разумных пределах) без ущерба для изображения.**

К сожалению, более высокое разрешение имеет и негативную сторону, связанную с большим размером файла изображения. Поэтому при подборе величины разрешения для конкретной работы тривиальный подход «чем больше

– тем лучше» не всегда оправдан. Неоправданно высокие разрешения в лучшем случае поглотят лишнее пространство на жестком диске и бессмысленно закупорят вашу сеть.

**Яркостное (цветовое) разрешение.** Яркостное разрешение характеризует количество градаций яркости, которые может принимать отдельный пиксель. В литературе его часто называют глубиной цвета. Чем выше яркостное разрешение, тем большее число уровней яркости (или оттенков цвета) будет содержать файл изображения.

Теперь мы можем дать более точное определение разрешения растровой графики с учетом двух аспектов разрешения.

**Разрешение – это совокупность размера изображения в пикселях и глубины цвета.**

**Разрешение и размер файла.** Преобразовываете ли вы изображение в цифровую форму при помощи сканера или создаете его в программе редактирования изображений или обработки, разрешение, установленное вами, определяет, как много пикселей содержит ваше изображение. Если вы установили разрешение в 72 ppi, то каждый квадратный дюйм вашего изображения будет содержать более 5000 пикселей (72x72). Если вы задали разрешение 300 ppi, то каждый квадратный дюйм состоит из 90 000 пикселей (300x300).

Размер файла в растровом изображении основывается на количестве пикселей в изображении. Чем больше пикселей содержит изображение, тем больше по размеру его файл. Для того чтобы эффективно работать с растровыми изображениями, вы вовсе не обязаны стремиться к огромным изображениям с немыслимым количеством пикселей на дюйм. Даже если вы имеете мощную компьютерную систему, работа с большими изображениями с высоким разрешением может оказаться достаточно обременительной.

В настоящее время большинство программ по работе с изображениями автоматически вычисляет размер файла в соответствии с его разрешением, размерами и способом цветопередачи. В случае необходимости можно вычислить размер файла вручную.

$$V = \frac{l \cdot b \cdot r^2}{8} \quad \text{– для черно-белого режима (bitmap или line art);}$$

$$V = l \cdot b \cdot r^2 \quad \text{– для полутонового режима (grayscale);}$$

$$V = l \cdot b \cdot r^2 \cdot 3 \quad \text{– для режима RGB;}$$

$$V = l \cdot b \cdot r^2 \cdot 4 \quad \text{– для режима CMYK.}$$

В приведенных формулах:

V – объем файла (в байтах), l и b – горизонтальный и вертикальный размеры изображения (в дюймах), r – разрешение (в точках на дюйм).

Обращаем ваше внимание на квадратичную зависимость размера файла от разрешения. Так, например, при сканировании изображения размером 3x3

дюйма и разрешении 300 dpi размер файла составит:  $3 \times 3 \times 300^2 \times 3 = 2430000$  байт или 2,43 Мбайт. Если сканировать изображение с удвоенным разрешением 600 dpi, то размер файла увеличится в четыре раза. Поэтому выбор разрешения изображения надо проводить очень взвешенно. Записывая информации больше, чем нужно, вы тащите с собой огромный бесполезный груз.

## **5.2. Разрешение устройств ввода (входное разрешение)**

### **5.2.1. Ввод изображения с помощью сканера**

Все оцифровывающие устройства – сканеры, цифровые фото- и видеокамеры – имеют несколько общих функций:

- преобразуют аналоговую (реальную) информацию в цифровые данные, которые могут использоваться компьютером;
- генерируют растровые изображения, состоящие из матриц черно-белых, серых полутоновых или цветных пикселей (элементов изображения);
- считывают или производят выборку исходного изображения, измеряя значения градаций серого или цвета для каждого элемента выборки.

Когда вы пользуетесь камерой или цифровым фотоаппаратом, то разрешение изображения определяется их разрешающей способностью.

Основной характеристикой сканера является оптическое разрешение. Оно измеряется в ppi (pixels per inch) – пикселях на дюйм. Хотя с физической точки зрения правильнее было использовать spi (samples per inch) – элементы (или дискреты) на дюйм. Однако на практике и в литературе более распространен термин dpi – точки на дюйм. И чтобы избежать терминологической путаницы, при работе со сканером будем считать единицы измерения ppi и dpi синонимами.

Оптическое разрешение описывает объем реальной информации, который может ввести оптическая система. Факторы, определяющие оптическое разрешение, зависят от типа оцифровывающего устройства.

В планшетных, листовых, ручных сканерах и сканерах для обработки слайдов и диапозитивов максимальное оптическое разрешение зависит от двух факторов:

- количества отдельных датчиков в линейке ПЗС в перемещающейся сканирующей головке;
- максимальной ширины оригинала, который может обработать сканер.

Например, линейка ПЗС из 5100 ячеек в сканере, принимающем оригиналы шириной до 8,5 дюймов, позволяет получить максимальное горизонтальное оптическое разрешение 600 dpi.

## 5.2.2. Ввод изображения с помощью цифровой камеры

Как в самом упрощенном виде выглядит принцип действия цифровой камеры? Свет, прошедший через объектив, попадает на светочувствительную матрицу (занимающую место пленки) – совокупность сенсоров CCD (ПЗС) или CMOS (КМОП). Светочувствительная матрица (сенсор) является одним из главных компонентов цифровой камеры (и уж точно самым дорогим). Качество создаваемого камерой изображения в основном зависит от разрешения сенсора.

Несмотря на то, что и в сканерах, и в цифровых камерах в качестве сенсора используются практически идентичные светочувствительные элементы – ПЗС-матрицы, в цифровых камерах (так уж традиционно повелось) основной единицей измерения разрешения является пиксель. Его величина определяется размером отдельной ячейки ПЗС-матрицы.

Для изображений, введенных в компьютер с помощью цифровой камеры, пространственное разрешение может быть задано одним из следующих способов:

- в виде конкретного числа мегапикселей (так, пятимегапиксельный сенсор содержит пять миллионов фоточувствительных ячеек);
- как растровое изображение с указанным числом пикселей по горизонтали и вертикали;
- путем указания одного из вариантов видеоразрешения:
  - VGA – 640x480;
  - SVGA – 800x600;
  - XGA – 1156x864 и больше.

Обратите внимание, что в любом из трех перечисленных случаев в качестве единицы измерения разрешения используется единица ppi. Поэтому перечисленные варианты разрешений связаны между собой. Например, цифровая камера, имеющая 2,1 мегапиксельное сенсорное устройство, создает файл изображения размером 1792x1200 пикселей.

## 5.3. Разрешение устройств вывода

### 5.3.1. Разрешение монитора

Во многих ситуациях окончательным устройством вывода является монитор компьютера. Так, для просмотра на экране предназначены сетевые публикации, узлы и странички Интернета, мультимедийные и гипермедийные приложения, интерактивные обучающие курсы и пособия и пр.

Фактически существует несколько характеристик, претендующих на роль термина «разрешающая способность монитора». В первую очередь, это относится к физической разрешающей способности монитора, определяющей мак-

симальное количество отдельных точек, которые он может генерировать. Она измеряется числом точек в одной горизонтальной строке и числом горизонтальных строк экрана. Физическая разрешающая способность зависит от размеров экрана и качества монитора.

В свою очередь, разрешающая способность монитора не определяется только самим монитором. Она в значительной мере зависит от видеокарты и программного обеспечения, поддерживающего работу этого устройства. В данном случае разрешающая способность дисплея измеряется количеством видеопикселей, отображаемых на экране.

Для любой программы или операционной системы экран монитора, как и файл с растровым изображением, представляется таблицей из отдельных элементов, общее число которых в длину и высоту определяется заданным режимом. Для ОС Windows и большинства персональных компьютеров стандартным режимам соответствуют таблицы 640x480, 800x600, 1024x768 и т. д. элементов. Вывод изображения производится в соответствии с естественным принципом: «один пиксель раstra – один элемент изображения на экране».

При этом размер картинка зависит от текущего режима монитора – при переходе с 640x480 на 1280x1024 изображение станет примерно вдвое меньше в линейных размерах. В одном и том же режиме, чем больше экран, тем больше размер изображения, скажем, в режиме 800x600 картинка на 17-дюймовом мониторе будет примерно на 13 % больше в линейных размерах, чем на 15-дюймовом.

Многие программы – просмотрщики файлов, графические редакторы позволяют в больших пределах масштабировать изображения на экране монитора без смены режима. При этом количество пикселей в изображении не меняется, зато меняется их размер, и при большом увеличении они хорошо заметны.

Итак, если у сканеров размеры пикселей напрямую связаны с их физическим разрешением, то на экране монитора пиксели запросто меняют размеры при смене режима (а также плавно масштабируются при регулировке размеров видимой области), и поэтому не имеют никакого отношения к физическим характеристикам кинескопа.

Впрочем, у мониторов есть другой параметр, напрямую связанный с их конструкцией – шаг точек. Разрешение экрана, а также принтеров, плоттеров и других подобных устройств принято измерять в dpi.

Компьютерные мониторы не могут похвастаться высокими значениями разрешения. Даже модели профессионального класса, обладающие предельными размерами и пикселями минимального размера, не могут сравниться в этом отношении с заурядным офисным принтером. Простые расчеты показывают, что 180 dpi – это недостижимый максимум для любой современной технологии создания изображения на экране.

### 5.3.2. Разрешение устройств печати

Разрешение печати, измеряющееся в dpi – это количество минимальных элементов (точек), которое печатающее устройство способно реализовать на дюйм. Если указывается разрешение, равное 1200 dpi, это означает, что черный квадрат со стороной в один дюйм, напечатанный этим принтером, будет состоять из 1200x1200 точек. Разрешение печати – главный фактор, определяющий качество печати. Принцип, по которому оно определяется, напрямую зависит от выводного устройства, а именно – от технологии печати.

Цифровое изображение, которое мы можем рассматривать на мониторе, имеет непрерывное распределение тона и гладкие переходы между соседствующими цветами. А печатные устройства, за некоторым исключением, работают по принципу «все или ничего», нанося (или не нанося) на бумагу точки, имеющие одинаковый базовый цвет. Таким образом, проблема воспроизведения при печати сводится к возможности передачи сотен оттенков серого, используя только черную краску, или миллионов цветов, используя только четыре базовых цвета (Cyan – голубой, Magenta – пурпурный, Yellow – желтый и Black – черный).

Прежде чем мы рассмотрим вопрос, как разрешение принтера влияет на качество печати, следует сделать небольшой экскурс в историю типографского дела. Дело в том, что в процессе печати очень трудно воспроизвести непрерывные оттенки. Именно этим объясняется, что с появлением книгопечатания предпочтение отдавалось гравюрам и офортам. Так продолжалось до 1884 года, когда американцем О. Мергенталером был изобретен линотипный способ печати. При линотипном способе печати фотоэмульсию размещали на стеклянной пластине, на которой был выгравирован ряд очень тонких линий, которую в свою очередь размещали на лист фоточувствительной бумаги. Когда через фотографию проецировался свет, то за счет дифракции на нижнем листе засвечивались очень маленькие участки. Темные области изображения выглядели как наборы больших точек, а более светлые – как наборы точек поменьше. Затем полученное точечное изображение использовалось для создания печатной формы. Процесс замены непрерывных полутонов дискретными точками разных размеров называют **растеризацией** или **растрированием**.

При растрировании полутоновое изображение разбивается на так называемые полутоновые ячейки (рис. 5.1). Каждая точка печатается в центре ячейки. Хотя размеры точек могут быть разными, но их центры между собой сохраняют одинаковую дистанцию. Благодаря этому большие точки будут находиться ближе друг к другу, а меньшие – дальше, эффективно передавая этим внешний вид непрерывных оттенков.

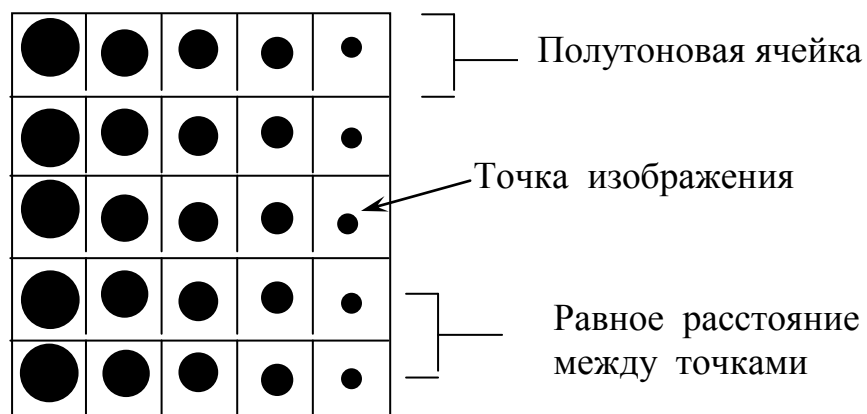


Рис. 5.1. Создание растра

Каждая точка занимает определенный процент ячейки – это называется затенением (tinting). Например, когда печатаемая точка занимает 80% ячейки, то это называется 80%-ным оттенком (80%-ным растром). Когда точка занимает 10% ячейки, то это называется 10%-ным оттенком (рис. 5.2).

Хотя пластина с гравированными линиями исчезла вслед за линотипом, но ее терминология осталась: решетка полутоновых ячеек до сих пор называется растром, а количество полутоновых ячеек – линеатурой растра\* (количество линий на дюйм) (lines per inch – lpi). Пусть вас не вводит в заблуждение слово «линии». На самом деле никаких линий конечно нет. Вместо линий здесь подразумевается количество полутоновых ячеек. Как и разрешение, линеатура является линейной единицей измерения, показывающей, сколько расположенных подряд ячеек составляют один дюйм (или сантиметр).

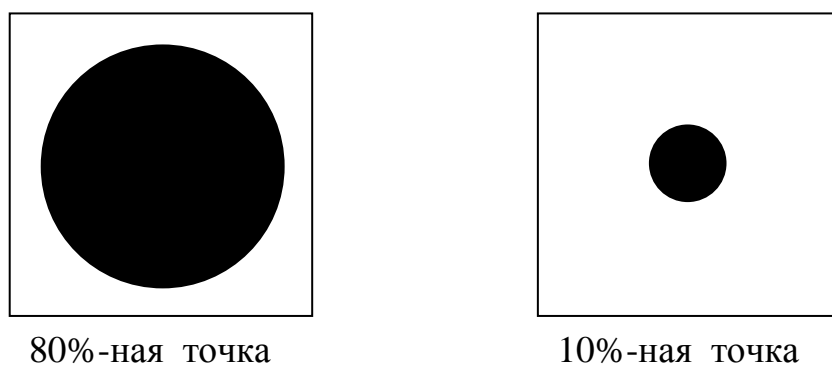


Рис. 5.2. Создание иллюзии непрерывного тона за счет изменения размера точки

Малые значения линеатуры означают большие размеры ячеек, т.е. точки расположены достаточно далеко друг от друга. Высокие значения означают малые ячейки, чьи точки расположены достаточно близко. Поэтому при печати с высокой линеатурой отдельные точки становится труднее различить, в результате чего напечатанное изображение приобретает более «фотографический» вид.

\* Синонимом линеатуры растра является термин «частота растра».



Однако изображение в лазерных принтерах и фотонаборных автоматах создается лазерным лучом. Луч, как впрочем, и размер капли, в большинстве струйных принтеров не может иметь переменный размер для создания растровых точек изменяющегося размера. Поэтому классическое растрирование (с изменением размера точки) в настоящее время имеет ограниченное применение.

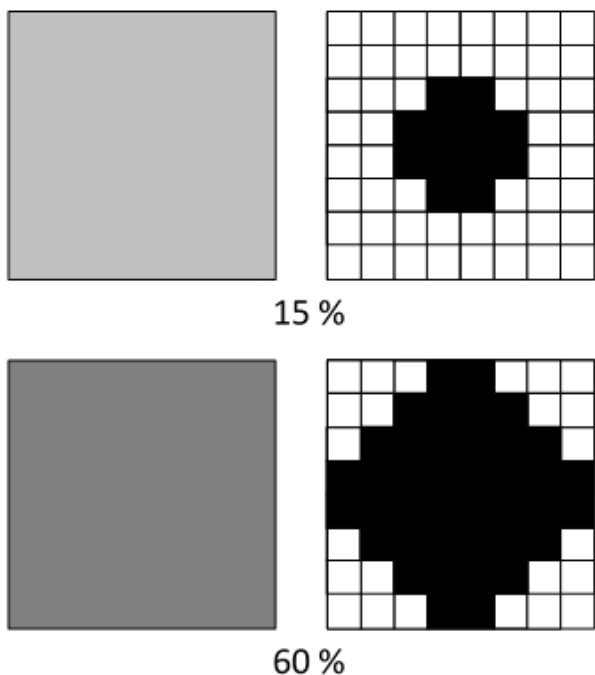


Рис. 5.3. Имитация серого цвета путем частичного заполнения растровой ячейки печатными точками

Каким же образом создается полутоновой эффект, если размер печатной точки принтера изменить нельзя? Выход из положения был найден с помощью создания так называемых растровых точек (рис. 5.3).

Чем большая часть такой ячейки заполнена точками принтера, тем больший размер имеет формируемая ими растровая точка и более темный оттенок серого она передает. Например, для того чтобы добиться заливки участка изображения 50%-ным серым, программа растрирования (растеризатор) заполнит этот участок растровыми точками, каждая из которых будет представлять собой наполовину заполненную ячейку растра. При необходимости передать 25%-ный серый ячейки растра будут заполнены черным только на четверть.

Описанный метод растрирования получил название АМ-растрирования. Здесь следует остановиться на некоторой терминологической путанице. Дело в том, что специалисты в области связи при виде буквосочетания «АМ» понимают его как «амплитудная модуляция». Поэтому в литературе вы можете встретить термин «амплитудно-модулированное растрирование».

Понятно, что процесс растривания не может иметь никакого отношения к модуляции, если конечно под модуляцией не понимать чего-нибудь другого. Мы полагаем, что более корректно считать, что АМ-растривание – это амплитудно-модульное растривание.

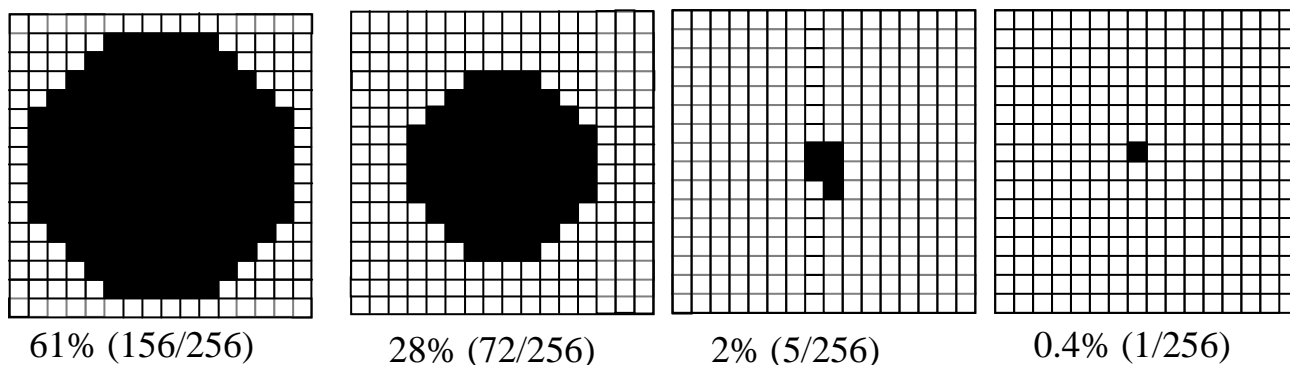


Рис. 5.4. Растровые ячейки с различным заполнением их печатными точками

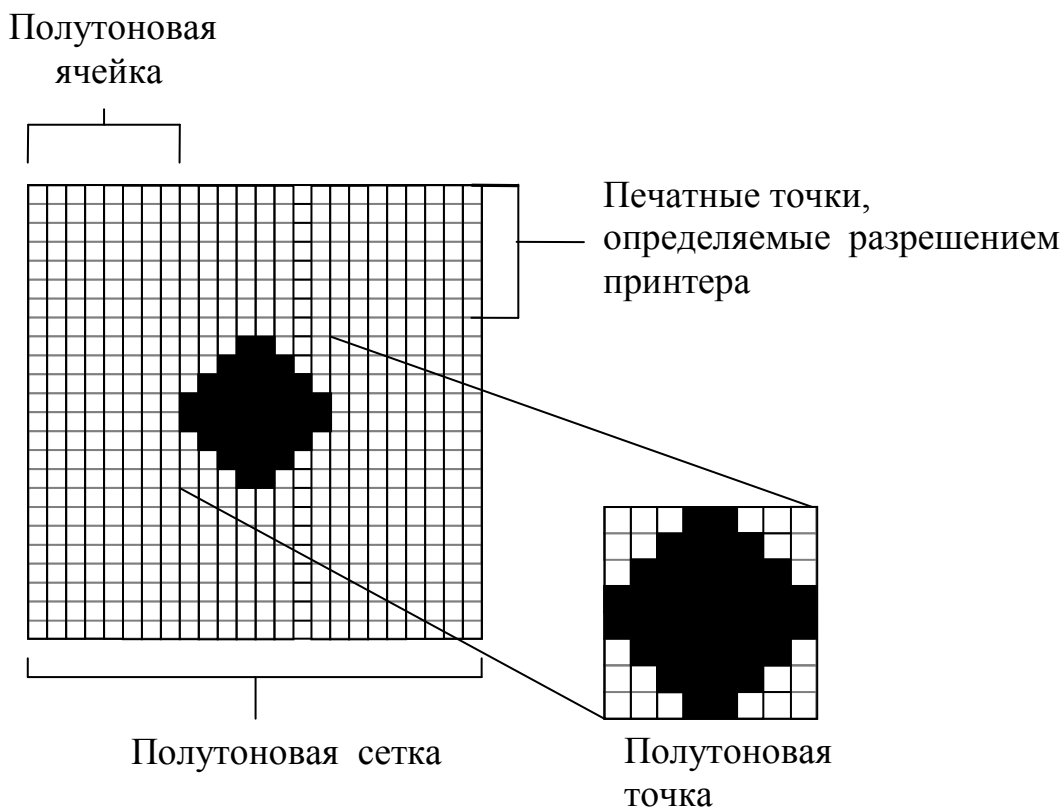


Рис. 5.5. К вопросу о растривании

**Линеатура растра и детальность изображения.** Пространственная частота растра (линеатура), или плотность растра, которую вы определяете для окончательного вывода в программном пакете редактирования изображений или в программе компоновки страницы, определяет плотность сетки полутоно-

вого растра и, следовательно, уровень детальности в изображении. Это не означает, что оно лучше сфокусировано или имеет лучшую резкость, но просто выражает факт, что при более высоких пространственных частотах растра может быть воспроизведено большее количество деталей оригинала.

**Линиатура и количество градаций серого.** Отношение разрешающей способности устройства печати к линиатуре растра дает размер стороны ячейки растра, измеренный в точках принтера. Максимальное количество точек принтера, образующих растровую точку, равно квадрату стороны ячейки. Так, например, если линиатура растра установлена в 100 lpi, а разрешение принтера 600 dpi, то сторона ячейки растра  $600/100 = 6$  точек. При этих условиях растровая точка формируется из  $6 \times 6 = 36$  точек принтера. Эта цифра имеет очень большое значение для адекватной передачи фотографического изображения, так как определяет количество оттенков серого, которое способен передать растр с заданными параметрами. В общем случае количество оттенков  $N$ , передаваемое растром, определяется следующим образом:

$$N = (\text{dpi} / \text{lpi})^2 + 1,$$

где dpi – разрешение устройства вывода, а lpi – линиатура печати.

Прибавленная единица соответствует белому цвету, когда растровая ячейка вообще не заполнена. Практика показывает, что адекватность передачи полутонов зависит от тонального диапазона изображения, но даже в самом благоприятном случае для этого необходимо как минимум 150 оттенков серого. Высококачественная печать требует еще большего количества передаваемых полутонов. Наиболее часто параметры растривания рассчитываются, исходя из необходимости передачи всех оттенков, которые дает компьютерный оригинал, т.е. 256 оттенков при 8-битных полутоновых каналах.

Для примера попробуем рассчитать линиатуру растра, которая требуется для передачи 150 оттенков серого на офисном лазерном принтере, имеющем разрешение 600 dpi. Несложное преобразование приведенной выше формулы приводит нас к следующему выражению:

$$\text{lpi} = \frac{\text{dpi}}{\sqrt{N-1}}.$$

Если подставить в него цифры из нашей задачи, то получится:

$$\text{lpi} = \frac{600}{\sqrt{150-1}} \approx 50.$$

Много это или мало? Чтобы было с чем сравнивать, скажем, что большинство газетных иллюстраций печатается растром в 75 lpi, журнальных – 133 lpi, а иллюстрации в хороших альбомах могут иметь линиатуру до 170 lpi и даже больше.

От линиатуры растра зависит видимое качество иллюстраций. Чем выше линиатура, тем менее заметны образующие растр точки и отпечаток ближе к фотографическому оригиналу. Как видите, полученные нами 50 lpi – очень небольшое значение.

При печати на офисном принтере для увеличения линиатуры растра приходится жертвовать количеством передаваемых оттенков серого. В большинстве 600-точечных принтеров значение линиатуры растра равно по умолчанию 85 lpi. При такой линиатуре количество оттенков серого на изображениях не превышает

$$(600\text{dpi} / 85\text{lpi})^2 + 1 = 50.$$

Это в три раза меньше минимума, определенного выше в 150 оттенков. Этим объясняется невысокое качество печати изображений на офисных лазерных принтерах.

Если вы хорошо уяснили материал этого раздела, то теперь для вас очевидно, почему фотонаборные автоматы, обеспечивающие качественную печать, обязаны иметь высокое разрешение. Это обуславливается механизмом цифрового растрирования и необходимостью передачи большого количества полутонов. Не составляет труда рассчитать, что для передачи всех 256 оттенков серого на обложке книги, отпечатанной с линиатурой в 150 lpi, требуется разрешение фотонаборного автомата в  $150\sqrt{256-1}=2395\text{ dpi}$ .

Теперь можно сформулировать простое правило, по которому вы можете определить разрешение устройства печати, необходимое для передачи всех полутонов: **разрешение печати должно превышать линиатуру в 16 раз.**

**Растискивание (Dot gain).** В идеальном случае можно было бы всегда использовать наивысшее доступное на имеющемся устройстве значение линиатуры. В чем же причина того, что в реальности приходится использовать разные значения линиатуры и не всегда максимальные? Причина заключается в том, что в зависимости от используемой бумаги растровая точка, создаваемая струйным принтером, несколько меняет свои размеры при печати. Низкокачественная бумага, газетная или предназначенная для фотокопировальных аппаратов, хорошо впитывает краску и чернила. При печати на впитывающей бумаге краска слегка расходится, и растровая точка расплывается, как говорят, растискивается.

Если линиатура будет слишком высокой (то есть растровые точки будут расположены близко друг к другу), соседние точки могут просто слиться, сведя на нет всякие попытки воспроизведения полутонов. Высококачественная мелованная бумага впитывает краску в меньшей степени, поэтому для нее можно установить более высокие значения линиатуры. Ниже приведены рекомендуемые значения линиатуры для различных типов бумаги:

- для газетной бумаги – 70...90 lpi;
- для бумаги высокого сорта (например, для бланков) – от 90 до 100 lpi;

- для бумаги с покрытием или глянцевой – 133...175 lpi;
- для альбомной и прочей художественной продукции – до 200 lpi.

**Угол поворота растра.** При печати оцифрованных полутоновых изображений растровую структуру всегда поворачивают на некоторый угол. Дело в том, что растровая структура изображения особенно заметна, если направление растровых точек совпадает с горизонтальными или вертикальными линиями. Именно поэтому растры поворачивают на некоторый угол. Наименее заметна растровая структура при угле в 45°.

Угол поворота растра является чрезвычайно важным фактором полутонового растрирования. Именно углы поворота определяют, останется ли незаметной иллюзия, созданная растровой структурой, или она будет резать глаза.

Имеется одно важное исключение из правила, предписывающего выводить на печать полутоновые изображения с углом поворота растра 45°. Если содержание изображения подчеркивает диагональные линии, то угол 45° может приводить к грубым интерференционным структурам или привлекать к себе внимание, чего следует избегать.

Для цветных изображений четыре печатные формы системы СМΥК поворачиваются на разные углы: на 105° – для голубой печатной формы, на 75° – для пурпурной и, как упоминалось ранее, на 45° – для черной. Самый светлый цвет, желтый, можно безопасно растрировать с использованием углов 0 или 90°, не опасаясь видимых проявлений.

При печати печатные формы надлежащим образом совмещаются, четыре цвета сводятся вместе и точки формируют небольшие цветовые кластеры (**розетки**), напоминающие по форме розу.

Заметим, что поворачивать на некоторый угол цветные формы необходимо не только с точки зрения незаметности растровой структуры. Если попробовать печатать в цвете, повернув на печатной машине все формы на одинаковый угол, то полученные цвета будут чрезвычайно грязными. Смещение растров для каждого цвета позволяет сохранить хороший внешний вид иллюстрации.

Однако при всех своих достоинствах введение углов поворота растра может вызвать появление муара. Муар – это раздражающая глаз видимая растровая структура, которая отвлекает зрителя от сюжета изображения. Обычно за муар ответственны углы поворота растров, которые приводят к формированию точек неправильной формы (рис. 5.6), но причины этого явления могут быть самыми различными.

Сюжетные муары появляются, когда изображение содержит регулярные структуры, интерферирующие с растровой структурой (например, ткань или текстура). В этой ситуации иногда может помочь корректировка углов цветов, приводящих к появлению муара, а также использование определенных фильтров.

Другой типичной причиной муара является рассогласование, или неточное совмещение цветоделенных печатных форм. Неточное совмещение может

происходить или в ходе вывода, когда используется угол поворота раstra, несколько отличный от запрошенного, или на печатной машине, где муары возникают в результате нарушения синхронизации розеток.



Рис. 5.6. Механизм образования муара: 1) растровая решетка; 2) наложение двух растровых решеток, повернутых относительно друг друга на некоторый угол; 3) увеличенный центральный фрагмент проявляющегося муара

Третья распространенная причина муара – перепечатка ранее растрованных оригиналов. Предварительно напечатанные оригиналы уже содержат растровую структуру, которая интерферирует с новым растром, налагаемым поверх старого. Обычно можно компенсировать или устранить существующую растровую структуру или в ходе процесса сканирования, или в пакете редактирования изображений.

В последнее время для борьбы с муаром разработан новый класс технологий, называемый ЧМ-растрированием\*.

Идея ЧМ-растрирования состоит в том, чтобы разбить традиционную растровую точку на множество мелких элементов. Принцип работы представлен на рис. 5.7. Так можно ликвидировать проблемы, связанные с формированием розетки, образованием муара, достичь более плавного градиционного перехода, а также получить ряд других преимуществ.

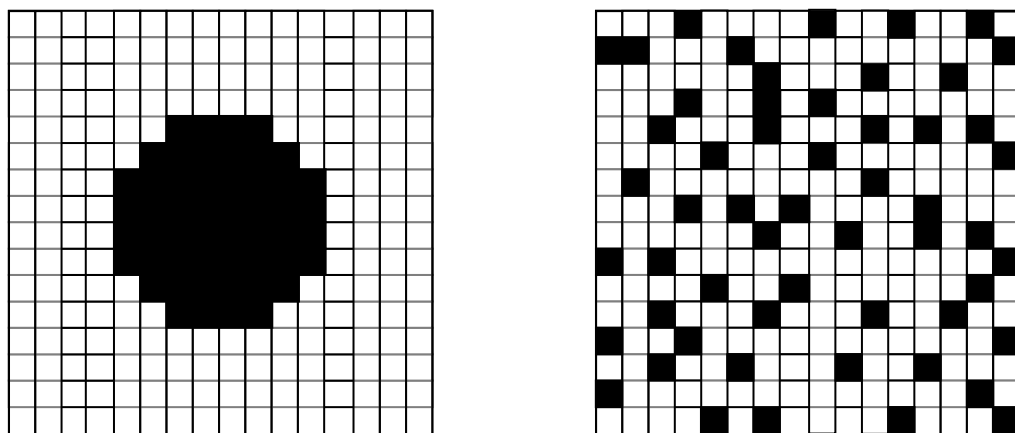


Рис. 5.7. Идея ЧМ-растрирования

\* Другое название – стохастическое растрирование или дизеринг.

Однако использование одинакового разбиения растровой точки на отдельные части иногда приводит к образованию дополнительного нежелательного рисунка. Для компенсации этого явления используется случайная (стохастическая) генерация положений пятен лазерного луча внутри растровой ячейки. На рис. 5.8 показано несколько растровых точек с одинаковым значением оптической плотности, но с разным расположением пятен лазерного луча. Следует помнить, что все рисунки на самом деле не являются образцами реального стохастического растривания, а лишь иллюстрируют идеи, заложенные в его принцип.

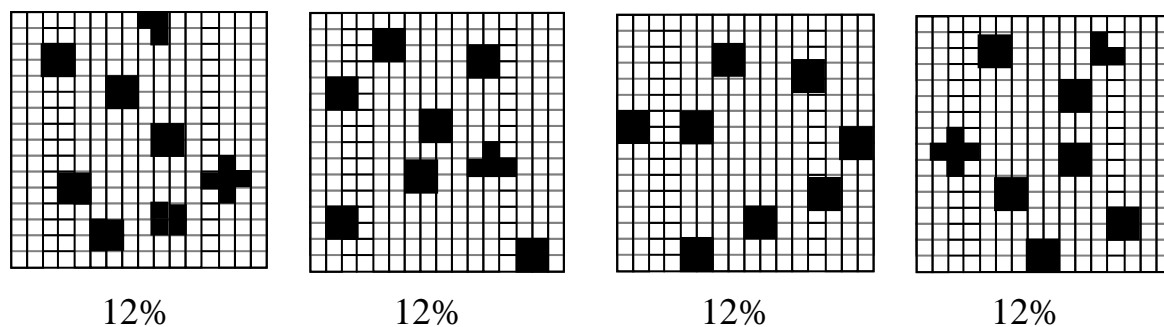


Рис. 5.8. Формирование полутона методом стохастического растривания

Если посмотреть на рис. 5.7, то становится понятно, что при использовании пятен лазерного луча малого (7...10 мкм) диаметра (а именно это необходимо для обеспечения плавных переходов полутонов в высококачественных изображениях) их воспроизведение обычной полиграфией становится невозможным (граничные значения воспроизводимости в традиционной полиграфии находятся в пределах 15...18 мкм). Располагать пятна лазерного луча обособленно друг от друга бессмысленно, так как мы их просто не увидим. Поэтому было решено располагать несколько пятен лазерного луча вплотную друг к другу, чтобы они образовали точку, которая воспроизводится полиграфическим способом. Однако это не очень простая задача. Необходимо внести такие элементы в алгоритм случайного построения положений пятна лазерного луча, чтобы, с одной стороны, образовались отдельно стоящие точки воспроизводимого размера, а с другой стороны, чтобы они не разрастались бы существенно больше требуемой величины. Такие отдельно стоящие точки, состоящие из нескольких пятен, получили название микроточек. Микроточки стремятся делать приблизительно одинакового размера, чтобы они воспроизводились, но были минимально возможного размера. Это позволит не создавать дополнительные шумы, муар или видимые глазом структуры. На рис. 5.9 показано несколько растровых точек с микроточками. Для сравнения в верхней части рисунка показаны растровые точки, полученные при АМ-растривании.

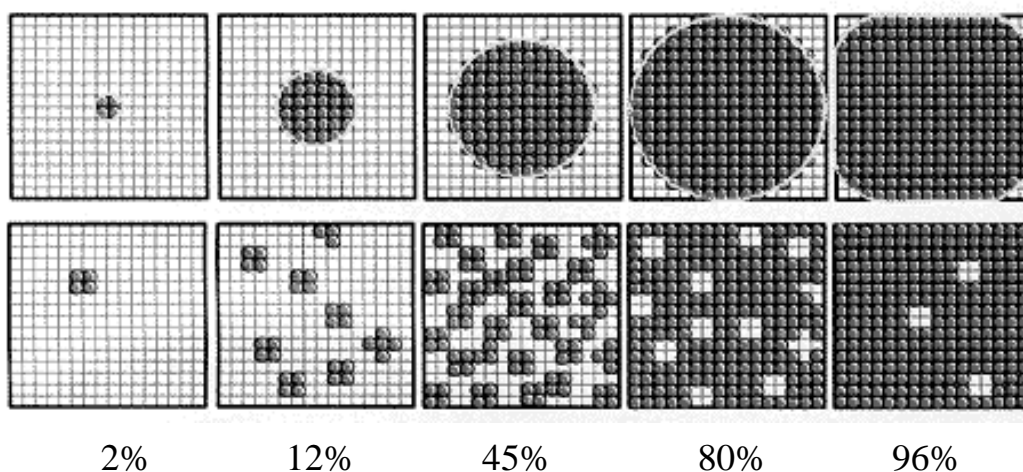


Рис. 5.9. Формирование полутонов с помощью микроточек

При построении микроточек, особенно при плотности около 50%, иногда возникают видимые глазом структуры, образуемые неудачно расположенными микроточками. Такие структуры жаргонно называют «червяками». Они существенно ухудшают восприятие изображения, особенно на растрах среднего размера, когда микроточки еще строятся, а их размер уже различим глазом. Некоторые алгоритмы фильтруют растровые точки так, чтобы они не содержали элементы «червяков». Пример образования дефектов печати показан на рис. 5.10.

ЧМ-растрирование обладает несколькими преимуществами перед традиционным подходом, но выдвигает и новые проблемы.

Преимущества ЧМ-растрирования:

- Устранена опасность муара, цвета определены более четко и менее подвержены взаимному загрязнению.
- Небольшие размеры точек, используемых в ЧМ-растрировании, способствуют формированию четких краев и деталей рисунка во всех тоновых диапазонах, но особенно в наиболее светлых участках и тенях.
- Обеспечивается более гладкие переходы между смежными тонами.

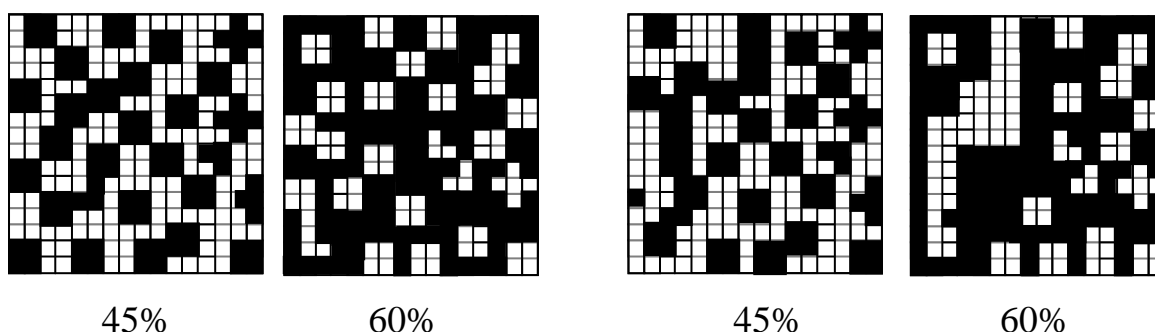


Рис. 5.10. Пример образования дефектов печати



- Возможна печать более чем четырьмя цветами. Дело в том, что печать с использованием более чем четырех печатных форм в рамках традиционного полутонового растривания может оказаться затруднительной, поскольку ошибки совмещения растут с каждой добавляемой формой. ЧМ-растривание обладает высокой устойчивостью к погрешностям совмещения, что делает его идеальным средством печати изображений, для которых требуются дополнительные печатные формы, – для лаков, флуоресцентных печатных красок, металлических цветов или технологии, известной под названием HiFi color.

При всех потенциальных выгодах в области ЧМ-растривания еще осталось решить несколько проблем. Некоторые программные решения уже существуют, другие в настоящее время разрабатываются.

Перечислим некоторые из потенциальных проблем:

- **Увеличение размера растровой точки.** Увеличение размера растровой точки описывает тенденцию увеличения размера или растискивания точек растра, после того как печатная краска наносится на бумагу в печатной машине. Согласно спецификации SWOP (американского стандарта рулонной офсетной печати), диапазон увеличения размера растровой точки при традиционной растровой печати изображений составляет 18...25 процентов. Однако в изображениях, напечатанных с использованием ЧМ-растривания, наблюдается исключительно сильное увеличение размера растровой точки: от 25 до 35 процентов на мелованной бумаге и до 50 процентов на немелованной. Таким образом, хотя исходная ЧМ-точка имеет очень малые размеры, с учетом растискивания необходимо резервировать вокруг каждой точки довольно большую область.

- **Появление зернистости.** Некоторые пользователи технологий ЧМ-растривания отмечают зернистость в малоконтрастных областях отпечатанных изображений. Ряд разработчиков программного обеспечения для ЧМ-растривания включили в свои пакеты средства для фильтрации и удаления шума.

## ГЛАВА 6. ФОРМАТЫ ГРАФИЧЕСКИХ ФАЙЛОВ

### 6.1. Общие сведения

Ни одна другая область применения компьютера не может похвастать таким многообразием типов форматов файлов, как компьютерная графика. Каждая более или менее солидная софтверная компания считает своим долгом сделать хоть какой, но графический редактор, а в придачу к нему, само собой разумеется, создается свой собственный формат файлов, в котором, как уверяют разработчики, этот редактор сохраняет шедевры, созданные с его помощью, наилучшим образом. Как итог такого подхода сложилась ситуация, когда уже никто не в состоянии охватить все многообразие типов существующих графических форматов. Графические файлы довольно непросто устроены, в отличие,

скажем, от простого текстового файла. Со временем появилась необходимость получения графических файлов с определёнными требованиями. Например, компьютерному художнику необходимо очень высокое качество картинки, рядовому пользователю – хорошее качество, но не очень большой объём, веб-дизайнеру нужно при минимальном объёме получить более или менее приличное изображение. Но требования переносимости файлов между различными приложениями вынудили выделить несколько определенных форматов, ставших, каждый в своей области, стандартами де-факто. Так, для изображений в Интернете, в большинстве случаев, используются форматы JPEG и GIF, для хранения изображений – JPEG, в издательском деле царствует TIFF и т.д.

Нельзя сказать, что есть плохие форматы, а есть хорошие. Каждый формат имеет преимущества и недостатки. В данном разделе будет рассказано лишь о некоторых графических форматах, поддерживаемых большинством графических программ и используемых на практике чаще других.

Растровые изображения сохраняются в файле в виде прямоугольной таблицы, в каждой клеточке которой записан двоичный код цвета соответствующего пикселя. Такой файл хранит данные и о других свойствах графического изображения, а также алгоритме его сжатия.

Векторные изображения сохраняются в файле как перечень объектов и значений их свойств – координат, размеров, цветов и тому подобное.

Как растровых, так и векторных форматов графических файлов существует достаточно большое количество. Кроме того, существуют комплексные форматы, которые могут хранить как векторную, так и растровую информацию. Среди этого многообразия форматов нет того идеального, какой бы удовлетворял всем возможным требованиям. Выбор того или другого формата для сохранения изображения зависит от целей и задач работы с изображением. Если нужна фотографическая точность воссоздания цветов, то преимущество отдадут одному из растровых форматов. Логотипы, схемы, элементы оформления целесообразно хранить в векторных форматах. Формат файла влияет на объём памяти, который занимает этот файл. Графические редакторы позволяют пользователю самостоятельно избирать формат сохранения изображения. Если вы собираетесь работать с графическим изображением только в одном редакторе, целесообразно выбрать тот формат, какой редактор предлагает по умолчанию. Если же данные будут обрабатываться другими программами, стоит использовать один из универсальных форматов.

На самом деле, границы между растровыми и векторными форматами несколько «размыты», поскольку векторные файлы могут содержать внедренные в файл растровые объекты или ссылку на растровый файл (технология OPI\*).

---

\* **OPI** (Open Prepress Interface) – технология, разработанная фирмой Aldus, позволяющая импортировать не оригинальные файлы, а их образы, создавая в программе лишь копию низкого разрешения (эскиз) и ссылку на оригинал. В процессе печати на принтер, эскизы подменяются на оригинальные файлы. Применение OPI дает возможность экономить ресурсы компьютера (прежде всего, память), заметно повышая его производительность. OPI явля-

Но, включая битовое изображение как объект, вы почти никогда не сможете его редактировать. Изображение можно размещать, поворачивать или наклонять, но нельзя «войти внутрь» и изменить его. Однако некоторые программы, как, например, Canvas или SuperPaint, имеют объектно-ориентированные и битовые слои, что позволяет осуществлять переходы между соответствующими моделями.

## 6.2. Форматы растровой графики

### Формат PCX

PCX (PCExchange) – стандарт представления графической информации, разработанный компанией ZSoft Corporation. Использовался графической программой ZSoft PC Paintbrush (одной из первых популярных графических программ) для MS-DOS, текстовыми процессорами и настольными издательскими системами, такими как Microsoft Word и Ventura Publisher. Фактически стал первым официальным стандартом растровой графики, так как получил поддержку Microsoft.

В настоящее время вытеснен форматами, которые поддерживают лучшее сжатие: GIF, JPEG и PNG.

### Формат Windows Device Independent Bitmap (BMP)

В качестве отступления заметим, что, как нам кажется, формат графического файла достоин права на жизнь лишь в двух случаях: он должен или хорошо уменьшать объем изображения в байтах или обеспечивать поддержку каких-либо полезных дополнительных функций. Так вот, BMP не обеспечивает ни того, ни другого. Он хранит данные о цвете только в модели RGB и поддерживает как индексированные цвета, так и True color. Возможно применение сжатия по принципу RLE, но делать это не рекомендуется, так как очень многие программы таких файлов не понимают. Поэтому если вы создаете обои, не устанавливайте флажок опции Compress (RLE).

Причина былой популярности формата, наверное, в его примитивности и лени программистов, использующих графику в этом формате для представления внутри своих программ. Ведь BMP записывает мозаичные элементы картинки просто подряд друг за другом, как цифры, характеризующие цвет этих участков изображения. Чтобы восстановить графический образ на экране из формата BMP не надо проводить никаких сложных и ресурсоемких операций по декодированию – достаточно лишь последовательно считывать номера цветов пикселей в палитре RGB и отображать их поток на экране. Такой простой

---

есть основой работы с импортированными графическими файлами в таких программах, как FreeHand и QuarkXPress, но широко применяется в других программных продуктах.

алгоритм не может не сказаться на степени загрузке процессора при обработке bmp-файлов.

Использование BMP не для нужд Windows является распространенной ошибкой новичков. Мы описываем здесь этот формат только для того, чтобы подчеркнуть – использовать BMP не имеет смысла ни в Web, ни для печати (особенно), ни для простого переноса и хранения информации. Программисты используют формат BMP для создания изображений, которые включаются в файлы справки, для хранения логотипов, иконок и прочих графических бирюлек внутри программ.

### **Формат Tagged Image File Format (TIFF)**

Формат TIFF (Tagged Image File Format – формат файлов изображений, снабженных тегами) является одним из наиболее широко распространенных форматов, используемых при подготовке графики. Этот формат является фактически стандартом для подготовки изображений в полиграфии. Файлы этого формата обычно имеют расширение TIF или TIFF.

TIFF является одним из наиболее сложных по своей внутренней структуре форматов. Файлы TIFF начинаются с заголовка файла изображения (IFH – Image File Header), имеющего длину 8 байтов. Заголовок файла содержит блок, называемый каталогом файла изображения (IFD – Image File, Directory). Этот блок позволяет графическим программам определить внутреннюю структуру файла.

При помощи IFD из файла можно выделить теги – блоки данных, содержащие информацию о размерах изображения, его цветовой модели, размере палитры (числе используемых цветов), сжатии данных и т.д. Само изображение также содержится в отдельном теге. Всего определено несколько десятков таких блоков. Так как весь TIFF-файл состоит из тегов, этот формат легко поддается модернизации и расширению. В самом деле, для введения дополнительных возможностей достаточно определить новый тег. Однако в этом кроется и источник возможных ошибок – если программа не сможет определить значение тега, введенного кем-либо из производителей аналогичного программного обеспечения, файл может быть открыт неправильно или его вовсе не удастся прочитать.

В файле формата TIFF изображение может храниться в цветовых моделях CMYK, RGB, Lab в режиме индексированных цветов, а также в виде оттенков серого (grayscale). Это позволяет использовать формат для хранения самых разных изображений, применяемых как для подготовки web-графики, так и в полиграфии. Подробнее о цветовых моделях будет рассказано немного позже. Кроме цветовой модели, сохраняется и разрешение, с которым следует выводить изображение на печать. Задав высокое разрешение, можно получить качественные распечатки, если, конечно, принтер поддерживает печать с заданными параметрами.

Максимальное число битов, которыми описывается один пиксель изображения в формате TIFF, составляет 24. Это позволяет закодировать до 16 777 216 цветов.

Кроме изображения, в TIFF-файле могут сохраняться каналы прозрачности (alpha-каналы), позволяющие сохранять прозрачные области изображения или выделения объектов между сеансами работы. Если вы работаете в PhotoShop, то вы можете сохранить в формате TIFF файл, содержащий слои, но другие программы смогут прочесть такой файл только как единое изображение. Для указания на необходимость сохранения слоев установите флажок Layers (Слои) в диалоге выбора имени сохраняемого файла (этот флажок доступен только при сохранении в расширенном варианте стандарта – Enhanced TIFF (Расширенный TIFF)).

Еще одна особенность формата TIFF – возможность сохранения нескольких изображений, имеющих собственные наборы атрибутов и свойств (тегов) в одном файле. Это делает TIFF похожим на формат GIF, но без возможности создания анимированных изображений.

Важное свойство формата TIFF – использование сжатия данных. Такое сжатие не является обязательным и может быть включено или выключено пользователем. В большинстве случаев используется алгоритм сжатия LZW, но может применяться и сжатие с потерями (например, алгоритм JPEG). Сжатие данных позволяет существенно снизить размер файла. Особенно сильно это проявляется на изображениях, содержащих большие однотонные пространства, например, на отсканированных текстах и схемах.

Однако сжатие данных можно применять далеко не всегда. Дело в том, что алгоритм LZW защищен патентом, и фирмы-разработчики вынуждены оплачивать его использование в своих программах. Поэтому не все программы могут сохранять файлы со сжатием и правильно читать их. Если вы отправляете кому-либо файлы в формате TIFF, то лучше воспользуйтесь какой-либо программой-архиватором (например, WinRAR или WinZip). Это уменьшит вероятность того, что ваши файлы не смогут быть открыты получателем.

Формат TIFF широко распространен не только на платформе IBM PC, но и на Apple Macintosh (собственно, Macintosh – «родина» формата TIFF). Многие графические редакторы (разумеется, и Adobe PhotoShop) поддерживают сохранение и чтение файлов в режимах IBM PC и Apple.

То, что TIFF «прижился» и на IBM PC, и на Apple, позволяет использовать его для передачи изображений с одной аппаратной платформы на другую без потери их свойств, атрибутов и, разумеется, содержания. Этот формат также можно использовать для передачи данных между различными приложениями, «не понимающими» форматы друг друга, но «знающими» TIFF. При такой передаче будут сохранены многие атрибуты изображения, теряющиеся, например, при передаче данных через буфер обмена Windows.

Для сохранения цветов изображения при передаче с одного компьютера на другой (из-за различий в составе аппаратного обеспечения и его настроек

цвета могут отображаться иначе) в состав файла может быть включен цветовой профиль ICC.

В заключение следует добавить, что формат TIFF может применяться для сохранения промежуточных результатов работы, не требующих внедрения специфической информации (векторных объектов, направляющих линий, слоев и других объектов). Распространенность этого формата позволяет легко переносить изображения между программами и аппаратными платформами. Использование цветокоррекции (профилей ICC) дает возможность сохранить цвета без изменения (насколько это возможно) при просмотре на разных мониторах и при выводе на печать.

## Формат **Graphic Interchange Format (GIF\*)**

GIF был создан как формат для обмена графикой. Сейчас он применяется почти на всех платформах и является стандартным форматом изображений в Интернете. Формат разработан в 1987 году для информационной службы CompuServe. Он использует алгоритм сжатия LZW, поэтому связан с лицензионными ограничениями по разработке программного обеспечения, использующего GIF-файлы. Второе серьезное ограничение касается пользователей: формат не поддерживает изображения с глубиной цвета больше восьми бит на пиксель (до 256 цветов).

Существует две разновидности формата. Первая официальная версия GIF была GIF87a, названная так по году выхода официальной документации. Затем вышла новая усовершенствованная версия формата, обладающая дополнительными возможностями и получившая название GIF89a. Обе эти разновидности поддерживают технологию чередования строк (interlacing) при помощи которой изображение может прорисовываться на экране путем постепенного увеличения четкости. Это особенно полезно, когда изображения выводятся на экран по мере поступления данных, как в случае с программами просмотра.

Кроме того, формат GIF89a позволяет добиваться целого ряда визуальных эффектов:

- маски прозрачности;
- включение нескольких изображений;
- глобальные цветовые палитры для нескольких изображений;
- анимация (попеременный показ нескольких изображений в цикле);
- включение текстовых комментариев;
- настраиваемые задержки показа и чередование (interlacing);
- ожидание реакции пользователя.

Мы упоминали, что GIF-файлы могут содержать не более 256 цветов, которые сохраняются в палитре, являющейся частью самого GIF-файла. Она на-

---

\* До настоящего времени продолжают споры о произношении слова GIF. Человек, который фактически создал этот формат, Стив Уилхит (Steve Wilhite) сказал, что «G» – это звук «дж». Однако даже многие профессионалы произносят «G» как звук «г».

зывается индексированной цветовой палитрой, так как цвета в данных изображения не представлены напрямую значениями RGB. Вместо этого данные изображения представлены однобайтовыми значениями, соответствующих номерам элементов цветовой палитры, подобно записям электронной таблицы, состоящей из двух столбцов. Каждое однобайтовое значение связано с полным 24-битным (3-байтовым) значением RGB-цвета в палитре, что дает большую экономию в объеме файла, и при этом позволяет указывать фактический цвет для точек изображения, который нужно использовать при выводе изображения на дисплей.

Данные изображения в формате GIF и палитру индексированных цветов можно редактировать практически в любой программе обработки изображений. Вы не обязаны использовать все 256 цветов: палитра формата GIF может представлять от одного до 256 цветов с использованием от одного до восьми битов для индексированного значения. Чем меньше цветов в палитре (цветовой таблице), тем лучше действует встроенное сжатие изображения и тем согласованнее вывод изображения на экран в различных браузерах и на различных платформах

Для GIF-изображений используется сжатие без потерь, которое нельзя отключить (да в этом и нет необходимости). Степень сжатия целиком зависит от содержимого изображения; изображения с однородными цветами (сплошные поля одного цвета) можно сжимать до 1/10 (или даже до 1/100) от исходного размера.

Изменив порядок следования данных в файле, создатели GIF заставили картинку рисоваться не только сверху вниз, но и, если можно так выразиться, «с глубины к поверхности», то есть становиться все четче и детальнее по мере подхода из сети новых данных. Для этого файл с изображением тасуется при записи так, чтобы сначала шли все строки пикселей с номерами, кратными восьми (первый проход), затем четверем (второй проход), потом двум и, наконец, последний проход – все оставшиеся строки с нечетными номерами. Во время приема и декодирования такого файла каждый следующий проход заполняет «дыры» в предыдущих, постепенно приближая изображение к исходному состоянию. Поэтому такие изображения были названы чересстрочными (interlaced).

Не стоит использовать формат GIF для вывода на печать цветных изображений с высоким разрешением: слишком низок уровень цветовой точности и почти всегда наблюдается постеризованность (тоновая ступенчатость) изображений.

Для создания GIF-анимации при разработке Web-публикаций используются современные мощные графические редакторы, такие например, как Adobe Photoshop, Corel PhotoPaint, или специализированные программы, такие как GIF Construction Set for Windows фирмы Alchemy Mindworks Inc. или Microsoft GIF Animator компании Microsoft.

## Формат Joint Photographic Experts Group (JPEG)

Формат JPEG впервые реализовал новый принцип сжатия с потерями информации. Он основан на удалении из изображения той части информации, которая слабо воспринимается человеческим глазом. Лишенное избыточной информации изображение занимает гораздо меньше места, чем исходное. Степень сжатия, а, следовательно, и количество удаляемой информации, плавно регулируется. Низкие степени сжатия дают лучшее качество изображения, а высокие могут существенно его ухудшить. Наиболее широко JPEG используется при создании изображений для электронного распространения на компакт-дисках или в интернете. Компактность файлов JPEG делает этот формат незаменимым в тех случаях, когда размер файлов критичен, например, при их передаче по каналам связи. JPEG поддерживает полутоновые и полноцветные изображения в моделях RGB и CMYK, но не поддерживаются дополнительные цветовые альфа-каналы.

Следует заметить, что на рисунках с четкими границами и большими заливочными областями сильно проявляются дефекты сжатия. Особенно характерно проявление грязи вокруг темных линий на светлом фоне и видимых квадратных областей. Последний дефект связан с тем, что алгоритм сжатия обрабатывает изображения квадратными блоками со стороной 8 пикселей.

Существует три подформата jpg: обычный, optimized (файлы несколько меньше, но не поддерживаются старыми программами) и Progressive (чересстрочное отображение, аналог interlaced в gif). Разновидность progressive JPEG позволяет сохранять изображения с выводом за указанное количество шагов (от 3 до 5 в Photoshop'e) – сначала с маленьким разрешением (плохим качеством), на следующих этапах первичное изображение перерисовывается все более качественной картинкой. Анимация или прозрачный цвет форматом не поддерживаются. Уменьшение размера файла достигается сложным математическим алгоритмом удаления информации – заказываемое качество ниже – коэффициент сжатия больше, файл меньше. Главное, подобрать максимальное сжатие при минимальной потере качества. Кроме коэффициента сжатия еще приходится делать выбор между типами формата – стандартный, оптимизированный или прогрессивный. Вероятно, до появления мощных алгоритмов сжатия изображения без потери качества, JPEG останется ведущим форматом для представления фотографий в Web.

Некоторые программы позволяют хранить изображение в jpg в режиме CMYK и даже включать в файл обтравочные контуры. Однако использовать jpg для полиграфических нужд категорически не рекомендуется из-за взаимодействия регулярной структуры блоков 8x8 пикселей, получающихся в результате компрессии, с не менее регулярной структурой типографского растра, что в итоге приводит к образованию муара. Опыт многолетнего использования этого безусловно полезного формата позволяет сделать два вывода. Во-первых, не стоит сохранять в нем все, что попало, а только крупные фотографии с большим количеством плавных цветовых переходов. А во-вторых, ни в



кчем случае не стоит сохранять одно и то же изображение в jpg больше одного раза: слишком заметными оказываются деструктивные изменения картинки от повторного использования компрессии.

### **Формат JP2 (JPEG 2000)**

Графический формат, который вместо дискретного косинусного преобразования, характерного для JPEG, использует технологию вейвлет-преобразования, основывающуюся на представлении сигнала в виде суперпозиции некоторых базовых функций – волновых пакетов. В результате такой компрессии изображение получается более гладким и чётким, а размер файла по сравнению с JPEG при одинаковом качестве уменьшается ещё на 30%.

Говоря простым языком, при одинаковом качестве размер файла в формате JPEG 2000 на 30% меньше, чем JPG. При сильном сжатии JPEG 2000 не разбивает изображение на квадраты, характерные формату JPEG. К сожалению, на данный момент этот формат мало распространён и поддерживается только браузерами Safari и Mozilla/Firefox.

### **Формат Portable Network Graphics (PNG)**

Формат PNG (Portable Network Graphics – переносимая сетевая графика) возник в результате полемики вокруг алгоритма сжатия LZW, который используется для сжатия GIF-изображений. В 1995 г., когда обладатель патента, фирма Unisys, стала с запозданием требовать причитающиеся ей (по праву) отчисления, разработчики программного обеспечения начали оспаривать эту дополнительную плату. Они утверждали, что, если бы им было известно, что использование формата GIF потребует лицензионных отчислений, они бы разработали свой бесплатный формат.

Они вложили свои средства (или, возможно, принципы) и разработали спецификацию, которая могла бы описывать насыщенные изображения с большей битовой глубиной лучше, чем GIF. В результате возник файловый формат PNG. Разработчики PNG не хотят повторения истории с произношением формата GIF, и поэтому в спецификации PNG написано: «PNG произносится как “пинг”».

Ключевые возможности формата PNG сближают его с GIF. PNG реализует еще более действенный метод чересстрочности. Довольно сказать, что первый проход, дающий общее представление об изображении, занимает в PNG не одну восьмую начального файла, как в GIF, а всего только одну шестьдесят четвертую – и, все же, распознаваемость рисунка при этом заметно лучше.

PNG позволяет хранить полную информацию о степени прозрачности в каждой точке изображения в виде альфа-канала: от нулевой (полная непрозрачность) до абсолютной невидимости. Так как формат был разработан для Web, в нем нет средств поддержки спецификации CMYK.

PNG-формат не дает возможности создавать анимированные ролики. Поэтому для хранения анимации либо нескольких изображений в одном файле употребляется вариант формата PNG – формат MNG (Multiple Network Graphics – множественная сетевая графика), который сейчас уже устарел. В настоящее время разработчики формата PNG работают над новым форматом PNP (Portable Network Photography – переносимая сетевая фотография), произносится «пинап», который предназначен для хранения фотографических изображений и обладает мощным алгоритмом сжатия с потерей качества.

Для анимированных изображений разработан формат APNG, который создали в компании Mozilla. Формат APNG пока не стандартизован, однако поддерживается браузерами Firefox и Opera.

Трудно прогнозировать будущее – здесь можно легко ошибиться, когда дело касается новых технологий, – поэтому преждевременно говорить, что PNG – это следующее поколение форматов и т.п. Но этот формат стоит того, чтобы на него хотя бы обратили внимание.

### **Формат XCF**

XCF (eXperimental Computing Facility) – собственный формат для графического редактора GIMP. Формат достаточно сложен, и немногие другие приложения его поддерживают.

Когда изображение сохраняется в формате XCF, практически вся детальная информация о нем сохраняется. Она включает данные точек для каждого слоя, текущее выделение, дополнительные каналы, контуры и направляющие. Данные точек в формате XCF сжимаются без потерь: блоки изображения сжимаются кодированием с переменной длиной строки. Это означает, что сколько бы раз не загружать и сохранять изображение, ни одна точка в нём не изменится. GIMP предоставляет возможность сжать сами файлы при помощи методов gzip или bzip2. Они оба эффективны и свободно доступны. После сжатия размер файла XCF может уменьшиться в 10 раз.

### **Формат CALS**

Растровый формат CALS (Computer Aided Acquisition and Logistics Support), разработанный подразделением министерства обороны США для стандартизации обмена графическими данными в электронном виде, особенно в областях технической графики (CAD/CAM) и приложений обработки изображений.

CALS – хорошо документированный, хотя и громоздкий, формат, в котором сделана попытка охватить многие вещи. Если вы не знакомы с документами правительства США, вам, возможно, покажется работа с данным форматом весьма сложной. Растровый формат CALS является необходимым в большинстве приложений, обрабатывающих документы правительства США.

## Формат FlashPix

FlashPix – формат файлов для хранения растровой графики, позволяющий сохранять изображение в нескольких разрешениях в одном файле. Несмотря на то, что в таком случае размер файла будет даже больше, чем при использовании TIFF, это позволяет добиться уменьшения объема передаваемых данных и времени загрузки, так как по запросу браузера отправляется только одно изображение, соответствующее текущему разрешению монитора.

FlashPix разработан компанией Live Picture на основе формата IVUE. По её предложению он был принят консорциумом, в который входили также Eastman Kodak, Microsoft, Hewlett-Packard.

При сохранении файла размер каждого следующего изображения уменьшается в два раза до тех пор, пока он не станет меньше одной плитки (англ. tile), размер которой по умолчанию равен 64x64 пикселя. Каждая плитка имеет свой алгоритм сжатия (например, LZH, JPEG, RLE), а каждый пиксель – свою глубину цвета.

Формат FlashPix с большим шумом был представлен широкой публике несколько лет назад. Помимо прочего предполагалось, что он позволит редактировать огромные изображения на компьютерах, не имеющих большого размера оперативной памяти и не снабженных мощными процессорами.

Однако постепенно ажиотаж вокруг формата FlashPix поутих, и сейчас о нем мало кто вспоминает. Те производители аппаратного и программного обеспечения, которые вначале внедряли поддержку формата FlashPix в свои продукты, со временем перестали это делать. Поэтому мы рекомендуем вам использовать его только в том случае, если вы работаете исключительно с программами редактирования изображений, поддерживающими формат FlashPix, и не собираетесь обмениваться изображениями с кем-либо, кто работает с другими программами.

## Формат TGA

Формат TGA назван по имени серии графических плат истинного разрешения (Truevision series of color graphics cards) и используется для профессиональных графических и видеоприложений. Фирма TrueVision разработала стандарт TGA (Targa), чтобы поддерживать 32-битовые изображения, которые содержат 8-битовые альфа-каналы, способные отображать «живое» видео. Поддержка TGA широко распространена среди прикладных программ, ориентированных на компьютеры для высококачественной работы с цветом и видео. Отметим, что платы Targa являются одними из самых дорогих видеоплат.

## Формат Fractal Image Format (FIF)

Формат растровых рисунков **FIF** разработан фирмой Iterated Systems. Он позволяет хранить изображение в 24-битных цветах в независимом от разрешающей способности формате. В нем поддерживается метод фрактального

сжатия изображения. Фрактальное сжатие основано на представлении внешне случайных форм с помощью организованных структур, построенных из меняющихся узоров (фракталов). Разбив сложную структуру на набор фракталов, его можно хранить на меньшем пространстве по сравнению с оригинальным объектом. Фрактальное сжатие позволяет достигать высокой степени сжатия ценой потери качества изображения. Формат очень медленный при сжатии, но приемлемый при просмотре сжатых изображений. Качество может корректироваться в процессе сжатия. Формат позволяет воспроизводить изображение с любой разрешающей способностью, даже с той, которая выше, чем в оригинальном несжатом файле! Это означает, что изображение можно масштабировать без искажений. Для того чтобы самим ощутить преимущества этой технологии, советуем воспользоваться программой Fractal Imager Plus.

### **Формат Wavelet Image Files (WIF)**

Формат основан на оригинальной технологии **волнового преобразования** (wavelet), которое дает возможность сжать цветное изображение в 20...300 раз, а черно-белое в 10...50 раз. Для сравнения: JPEG позволяет сжать цветные картинки в 20...30 раз. Программа Compression Engine, позволяющая осуществить волновое преобразование, доступна для свободного бесплатного использования и работает несколько быстрее, чем конкурирующая технология JPEG. Есть и еще одно преимущество данной технологии, – она не искажает сжимаемое изображение. Возможность более сильного (по сравнению с JPEG) сжатия больших файлов – также важная особенность волновой технологии: ведь чем больше файл, тем больше времени требуется на его пересылку. Кроме бесплатной программы Compression Engine фирмой-разработчиком предлагается (уже за деньги) программа Compression Engine Professional, позволяющая объединять несколько файлов различных графических форматов в один файл формата WIF, и комплект разработчика, который предоставит производителям возможность снабдить свои продукты функциями для осуществления волнового преобразования. Имеются также подключаемые модули для наиболее распространенных программ просмотра в Internet для браузеров Netscape Navigator и Internet Explorer.

### **Собственный формат программы Photoshop (PSD)**

Как правило, когда вы сохраняете файл в графическом приложении, вы «запоминаете» его в собственном программном файловом формате. Собственный программный файловый формат – обычно частный формат, созданный специально для данного программного обеспечения. В большинстве программных средств такой формат является самым эффективным средством при сохранении файлов.

Никаких размеров книги не хватит, если описывать собственные форматы программ обработки растровых изображений. Исключение мы сделаем только

для программы Adobe Photoshop, которая, несомненно, является самым популярным в мире средством редактирования изображений.

Этот PSD-формат сохраняет все атрибуты, присвоенные изображению в Photoshop (в том числе слои, дополнительные каналы, информацию о файле и т.п.).

Следует также упомянуть, что Photoshop открывает и сохраняет файлы в собственном формате быстрее, чем в любом другом. Собственный формат Photoshop предоставляет возможность сжатия изображений, подобную TIFF, которая не приводит к потере данных. Но Photoshop может упаковывать и распаковывать свой собственный формат намного быстрее, чем TIFF, а его схема сжатия лучше минимизирует размер каналов маски.

Следует отметить, что этот формат наиболее широко применяется для хранения промежуточных результатов работы над оформлением сайта. Для хранения исходных изображений обычно используются другие форматы. Формат PSD развивается одновременно с программой PhotoShop, что необходимо для хранения элементов, которые вводятся в новых версиях программы. При этом сохраняется полная обратная совместимость форматов. То есть файл, сохраненный, например, в PhotoShop 5.0, может быть открыт в PhotoShop CC без потери каких-либо элементов изображения или его качества. Следует учитывать, что обратная совместимость форматов не поддерживается. Это значит, что некоторые элементы файла не смогут быть прочитаны в более ранних версиях программы.

Недостаток собственного формата Photoshop – его поддерживают относительно мало приложений. Но даже те, которые поддерживают этот формат, делают это не лучшим образом. Такие приложения, как CorelPhoto-Paint и Adobe After Effects, могут открывать многослойное Photoshop-изображение и интерпретировать каждый слой независимо от других. Но поддержка большинства других ограничивается лишь «плоскими» Photoshop-файлами. Однако собственный формат Photoshop никогда не рассматривался как стандарт для обеспечения совместимости между приложениями – он разрабатывался исключительно для Photoshop, именно для этого его и следует использовать. Если же требуется обработать плоское изображение с помощью какой-то другой программы, воспользуйтесь TIFF, JPEG или любым другим универсальным форматом.

### **Формат RAW\***

**RAW** (в переводе с английского «raw» – сырой). Формат RAW появился благодаря цифровым фотоаппаратам. RAW – это по сути «отпечаток», который остается на матрице фотоаппарата в момент съемки, а точнее целых три отпечатка – в красном, зеленом и синем цветах. Кроме этих отпечатков, в RAW-файле хранятся и некоторые другие данные, которые в подобном случае носят скорее справочный характер, диктующие RAW-конвертеру с какой ин-

---

\* Его и форматом назвать трудно, это скорее всего «документ».

тенсивностью отразить на экране каждый из цветных каналов для разных пикселей – это баланс белого, цветовое пространство и т.д. Изменение этих параметров никак не отразится на исходной информации, вы можете их безболезненно изменить и в любой момент вернуться к первоначальному виду. Расширения у файлов в формате RAW могут быть разные (.cr2,.crw,.nef и т.д.) в зависимости от марки фотоаппарата – у каждого производителя камер свой способ хранения информации.

Для редактирования RAW-файлов и преобразования их в другие растровые форматы производители камер поставляют свое собственное программное обеспечение, и при этом RAW-конвертер фирмы Canon будет читать только RAW-файлы, снятые фотоаппаратами Canon (.cr2,.crw), и не сможет прочитать RAW-файл снятый фотоаппаратом Nikon (.nef). Существуют RAW-конвертеры сторонних производителей, которые работают с большинством RAW-файлов. В общем, отсутствие единого стандарта создает определенные неудобства при работе с этим форматом.

### **Формат Pixar (PXR)**

Pixar является собственным форматом компьютерных систем Pixar, предназначенных для высокоскоростной обработки графической информации, используемой при создании трехмерных изображений и анимационных эффектов. Формат позволяет сохранять изображения двух цветовых форматов: оттенков серого и RGB. Поддерживает один альфа-канал и не поддерживает цветовой профиль.

### **Формат Scitex CT**

Компьютеры Scitex являются графическими рабочими станциями высочайшего класса, которые часто используются в фирмах допечатной подготовки для цветокоррекции и обработки изображений. Формат Scitex CT (Continuous Tone – непрерывный тон) является частной системой, используемой в этих рабочих станциях. Программные пакеты редактирования изображений класса Adobe Photoshop и HSC Live Picture позволяют сохранять файлы в формате Scitex CT.

## **6.3. Форматы векторной графики**

Как мы уже отмечали, форматы векторных файлов требуются для хранения намного более разнообразной информации, чем битовые форматы. При таком разнообразии нет ничего удивительного в том, что не существует хорошего промышленного стандарта для формата векторных файлов, который мог бы редактироваться многими программами и распечатываться на любом принтере. Наиболее близок к этому файловый формат Illustrator, но данный формат зани-

мает свое законное место в категории комплексных форматов, поэтому мы рассмотрим его позже.

Следует помнить, что мы можем использовать некоторые из векторных файловых форматов как чисто растровые форматы. Это означает, что программа, ориентированная на окрашивание или обработку изображений, может открывать такой файл и для редактирования.

### Формат CDR

Этот формат принадлежит фирме Corel и является внутренним форматом векторного редактора CorelDRAW. Формат cdr каждой новой версии несовместим с более старыми версиями и другими векторными программами и редакторами. В версиях CorelDraw старше 9-ой окончательно устранены недостатки при открытии файлов CDR, присутствующие в более ранних версиях программы. В файлах этих версий применяется отдельная компрессия для векторных и растровых изображений, могут внедряться шрифты, используется многослойность.

При работе в CorelDRAW также используются форматы **CDT** (отличается от формата CDR лишь тем, что в нем хранятся файлы шаблонов документов), **CDX** (отличается от формата CDR меньшим размером файла документов, благодаря использованию сжатия информации при ее сохранении), **CGM** (для обмена между различными приложениями, работающими под Windows с поддержкой цветов RGB), **CLK** (формат программы создания видео клипов Corel R.A.V.E.), **CMX** (файловый формат, поддерживающий векторную, растровую и текстовую информацию, а также цвета RGB, CMYK и Pantone), **CPX** (формат программы Corel ArtShow 5) и **CSL** (предназначенный для хранения библиотек символов, формируемых в CorelDRAW).

### Формат DXF

Векторный формат DXF поддерживают все программы автоматизированного проектирования, начиная с пакета AutoCAD компании Autodesk. Однако из-за его сложности некоторые приложения «умеют» только читать DXF-файлы и не способны сохранять данные в этом формате. В DXF реализованы многие возможности, отсутствующие в большинстве других форматов, например, хранение трехмерных объектов. Необходимо отметить наличие прекрасного встроенного кодировщика текста.

### Формат XAR

Формат векторных редакторов Xara X, Corel Xara, Xara Xtreme. Позволяет сохранить изображение, создаваемое или модифицируемое в данных программах. Чаще всего используется только как промежуточный формат. Перевести файл этого формата в другие (JPG, GIF, TIF, AI и др.) можно с помощью операции Export в вышеназванных программах.

## Формат SVG

Сокращение от англ. Scalable Vector Graphics (масштабируемая векторная графика). Является открытым стандартом, то есть в отличие от большинства других форматов SVG не является чьей-либо собственностью. Это основанный на XML язык разметки, предназначенный для описания двухмерной векторной графики. Формат поддерживается многими веб-браузерами и может быть использован при оформлении веб-страниц.

К достоинствам формата можно отнести полное сохранение качества при изменении масштаба. Кроме того, в нем легко применимы скрипты для корректировки эффектов изображений (нанесение прозрачности, изменение контура и т.д.) непосредственно в текстовом редакторе. Недостатком является то, что в объектах, помимо изображения, хранятся и разнообразные параметры XML-разметки, поэтому файл на выходе может занимать большие объемы.

## Формат SWF

**SWF** – формат для флеш-анимации, векторной графики, видео и аудио в сети Интернет. Картинка, сохранённая в этом формате, масштабируется без видимых искажений, видеоролик имеет небольшой размер, происходит более быстрая загрузка видеофайла и его воспроизведение.

Сфера использования SWF различна, это могут быть игры, веб-сайты, CD презентации, баннеры и просто мультфильмы. При создании программного обеспечения можно использовать звуковые и графические файлы, можно создавать интерактивные интерфейсы и полноценные веб-приложения с использованием PHP и XML.

Первоначально формат был разработан в 1995 году американской компанией FutureWave Software. Программа называлась FutureSplash Animator, а формат имел расширение SPL.

В декабре 1996 года компания FutureWave Software была приобретена компанией Macromedia, и программа FutureSplash Animator был переименована в Macromedia Flash. Компания Macromedia уже имела собственный продукт Macromedia Shockwave. Macromedia стала использовать плагин Shockwave и для подключения других продуктов, включая Flash. Поэтому тип MIME для Flash был назван application/x-shockwave-flash, а файловое расширение SPL было заменено на SWF (сокращение от Shock Wave Flash).

В свою очередь, в декабре 2005 года компания Macromedia была поглощена Adobe. Компания Adobe, для избежания путаницы между Flash и Shock Wave, объявила, что SWF следует расшифровывать как Small Web Format.

Файлы SWF можно открыть программой Adobe Flash Player или с помощью практически любого web-браузера, который поддерживает технологию Flash. Для воспроизведения flash-приложений браузерами иногда необходима дополнительная установка подключаемого модуля Adobe Flash.



## Формат CDD

Расширение CDD – это файл диаграммы ConceptDraw. ConceptDraw PRO – мощный продукт для создания бизнес-диаграмм, блок-схем, графиков и диаграмм бизнес-процессов, а также профессиональных, деловых и технических диаграмм, таких как: UML, DFD, ERD и других. Ключевая особенность программы – поддержка импорта и экспорта документов в формате XML для MS Visio. Файлы CDD могут содержать программный код, написанный на языке ConceptDraw Basic, что дает возможность пользователям управлять графическими объектами. ConceptDraw PRO является незаменимым помощником для IT-профессионалов и консультантов, менеджеров, разработчиков ПО и баз данных, ученых, студентов и преподавателей.

Файл CDD используется в идентификации файла драйвера программы CD-Architect, которая поставляется вместе с программой Sonic Foundry. Файлы с расширением файла CDD не содержат сами драйверов для CD-Architect, а только содержат информацию о драйвере. Указанное приложение используется в производстве профессиональных аудио компакт-дисков. Sonic Foundry больше не предоставляет специализированные возможности записи компакт-дисков в своих продуктах.

## Формат VSD

Расширение VSD связано с программой Microsoft Visio, которая используется для создания бизнес-диаграмм. VSD может содержать визуальные объекты, информационные потоки, текст и другие данные; может также хранить информацию о подключении для импортированных источников данных.

Чертежи Visio позволяют пользователям визуализировать и представлять сложную информацию. Они могут быть использованы для создания блок-схем, диаграмм рабочих процессов, организационных схем, диаграмм программного обеспечения, сетевых диаграмм и моделей баз данных.

## Формат PICT

Файлы PICT были разработаны для программы QuickDraw. Формат PICT в основном связан с Macintosh компании Apple. QuickDraw представляет собой библиотеку двумерной графики, которая связана с API (основа классической ОС Apple Macintosh). Несмотря на то, что QuickDraw до сих пор является частью библиотек ОС Mac X, ее начала вытеснять более современная графическая система Quartz. Файлы изображений, создаваемые указанной программой, сохраняются в формате PICT. Они могут содержать как векторные, так и растровые изображения различных цветовых гамм. Для уменьшения размеров файлов формат PICT использует алгоритм кодирования RLE, а также методы сжатия JPEG. Обычно (особенно в ОС Windows) такие файлы имеют также расширение .pct.

Говоря о формате PICT, нельзя не упомянуть о программе Adobe ScreenReady. Это графический программный пакет обслуживающих программ под Macintosh, при помощи которого файлы преобразуются из графических приложений в формат, используемый программными средствами для создания мультимедиа. Используя ScreenReady, можно взять макет, сверстаный в Adobe PageMaker, Illustrator, Macromedia Freehand или QuarkXPress, и быстро преобразовать его в PICT-формат. Когда ваш файл оказывается в формате PICT, изображение легко может быть импортировано в программы для работы с мультимедиа, такие как Adobe Premiere, Adobe After Effects, Macromedia Director и Macromedia Authorware.

### **Формат PLT**

Файл для плоттера, созданный с помощью графического языка Hewlett-Packard Graphics Language (HPGL), содержит серию из двубуквенных кодов для управления плоттером (перьевым или растровым), например, для указания начальной точки на чертеже.

Может содержать дополнительные параметры с кодами. PLT – это программно независимый формат файла для непосредственного вывода на печать. К сожалению, файлы PLT практически невозможно корректировать.

Файлы PLT можно масштабировать без потери качества. Данные хранятся в ASCII формате. PLT файлы иногда могут иметь расширение .hpg.

### **Формат ZoomView**

ZoomView – предназначен для передачи через Web изображений высокого разрешения, масштаб которых может регулировать интерактивно с помощью проигрывателя Viewpoint Media Player. Информация о масштабируемом изображении хранится в нескольких файлах (с различными расширениями), подключаемых к HTML-файлу Web-страницы. Данный формат обеспечивает сжатие графической информации в файлах, а также поддерживает режим повышения качества изображения в процессе его загрузки по сети.

## **6.4. Комплексные форматы**

### **Формат EPS**

Отдельного и более подробного обсуждения достоин формат EPS (Encapsulated PostScript). Формат Encapsulated PostScript можно назвать самым надежным и универсальным способом сохранения данных. Скорее всего, большинство пользователей не знает, что такое Encapsulated PostScript (встроенный (инкапсулированный) формат PostScript), и почему он имеет такое странное название. PostScript – язык описания страниц. Он подобен языкам Basic, C или любому другому языку программирования, за исключением того, что он пред-

назначен для вывода текста и изображений на бумагу или фотопленку. Если вы работаете с PostScript-принтером и указываете в текстовом процессоре (или в любой другой программе) печать страницы, компьютер создает на языке PostScript программу с описанием этой страницы. Далее эта программа передается на принтер, который фактически содержит компьютер и интерпретатор PostScript, расшифровывает эту программу и выводит изображение на странице. Поэтому, чтобы разобраться с форматом EPS, мы будем вынуждены какое-то время уделить языкам описания страниц.

Пользователям не приходится напрямую сталкиваться с языком описания страниц, однако это одна из важнейших характеристик любого устройства вывода на печать, которая определяет класс и область применения принтера. Язык описания страниц используется во время обмена данными между драйвером и устройством вывода на печать, чтобы как можно точнее описать то изображение, которое будет получено на бумаге. В современных цветных лазерных (электрографических) принтерах используются только два варианта языка – PCL и PostScript. Язык описания страниц (который иногда называется «принтерным языком», «языком управления принтером» или просто «языком») полностью определяет тип шрифтов, способ кодирования изображения, команды управления принтером и используемые методы форматирования документов. Посмотрим, как соотносятся между собой языки PCL и PostScript.

**История создания языков описания страниц.** Первыми компьютерными устройствами вывода на печать были матричные и ударно-литерные принтеры. Драйвер направлял в такие устройства коды символов, а принтер печатал их с помощью единственного встроенного шрифта. Кроме кодов алфавитно-цифровых символов, драйвер передавал в принтер простейшие команды форматирования: перевод строки, возврат каретки, перевод формата и т.д. В плоттерах использовался графический язык для построения векторных изображений, который состоял из команд поднять/опустить перо, переместить перо в точку с указанными координатами или нарисовать простейшую геометрическую фигуру. Уже в то время существовали устройства ксерографического копирования компании Xerox (название которой переводится с греческого как «сухое письмо»), в которых изображение документа формировалось в «аналоговой» форме в виде электрического заряда на селеновом барабане.

Несмотря на то, что первыми появились струйные устройства вывода на печать, создание языков описания страниц связано с лазерными принтерами. Именно они позволили выводить на печать текстовую информацию в сочетании с рисунками, для чего и потребовался стандартный формат описания изображений при передаче данных из драйвера в принтер. Многие компании создавали собственные языки описания страниц для своих моделей принтеров. Можно вспомнить IBM ProPrinter, CaPSL (Canon Printing System Language), язык RENO в принтерах Agfa, а немецкой компании Mannesmann Tally даже удалось утвердить спецификацию ANSI 3.64 на основе собственного языка MTPPL (Mannesmann Tally Printer Language). К настоящему времени все эти языки описаний благополучно забыты, за единственным исключением – языка

ESC/P2 (Epson Standard Code for Printers, Level 2) для текстового режима в принтерах Epson. В то же время сохранились и благополучно развиваются языки PCL (Printer Control Language, язык управления принтером) компании Hewlett-Packard и PostScript компании Adobe Systems Inc, которые стали промышленными стандартами для пересылки данных в принтеры.

**От полиграфии к компьютерам.** Язык PostScript был разработан компанией Adobe. Однако сказать только это – значит не сказать ничего. Компания Adobe Systems Incorporated была организована в 1982 году именно для разработки и продвижения программных продуктов, использующих язык описания страниц PostScript. Первоначальной целью было создание «универсального компьютерного языка для описания и публикации документов любой сложности». Вряд ли можно считать, что эта цель достигнута, но язык PostScript действительно стал стандартом «де-факто» для компьютерной предпечатной подготовки, чему в немалой степени способствовало объединение в 1994 году компаний Adobe и Aldus, соединившее язык PostScript и программу верстки PageMaker.

Первая версия языка PostScript была опубликована компанией Adobe в 1985 году. Сейчас она называется PostScript Level I, то есть PostScript первого уровня. Кроме уровней для языка PostScript существуют еще цифровые версии, а также «цветовое» обозначение технических описаний.

В технической документации принтера обычно указывается только уровень PostScript, причем последним является третий уровень языка – PostScript Level III. Заметим, что сведения о совместимости двух принтеров с PostScript Level III, не означает полной идентичности выводимых на печать документов. Во-первых, могут отличаться номера версий, а во-вторых, некоторые производители применяют собственные интерпретаторы языка PostScript. Например, в принтерах Hewlett-Packard используется собственный интерпретатор языка PostScript, но в принтерах Xerox всегда применялся Genuine PostScript – «подлинный» язык PostScript, то есть язык, лицензированный у Adobe.

Сегодня язык PostScript является основным для предпечатной подготовки, однако это совершенно не означает, что PostScript решает все проблемы цветопередачи, цветоделения и унификации представления документа на любых устройствах вывода на печать. Проще говоря, это исторически сложившееся положение вещей или как сказал один дизайнер: «Меня засмеют, если я принесу на фотовывод шрифты TTF». Как и прежде, печать (особенно офсетный полиграфический процесс) остается искусством, а не наукой. Но основной заслугой языка PostScript стала повсеместная замена ручного макетирования компьютерной версткой. Возможно, совершенствование компьютерной верстки связано с программными продуктами Adobe, а не с достоинствами самого языка PostScript.

**От компьютеров к полиграфии.** Язык описания страниц PCL компании Hewlett-Packard развивался от простого к сложному. Первая версия этого языка (PCL 1), появившаяся практически одновременно с PostScript Level 1, не ставила перед собой никаких глобальных задач, но обеспечивала простейшие коман-

ды управления принтером и печать в текстовом режиме, а также основные операции для вывода на печать из однопользовательской рабочей станции.

В версии PCL 2 были добавлены функции EDP (Electronic Data Processing, обработка электронных данных) и транзакции между компьютером и принтером. Хотя и в текстовом режиме, но был реализован вывод на печать из многопользовательских операционных систем. В версии PCL 3 (1984 год) появились функции Office Word Processing (обработка офисных текстов), что позволило выводить на печать растровую графику и шрифты. Спецификация языка PCL 4 (1985 год) определила функции форматирования страниц. Появилась поддержка макросов, больших растровых шрифтов и улучшенной графики. В принтерах HP LaserJet IIP и HP LaserJet IIP Plus была реализована немного улучшенная версия PCL 4.5, которая не получила широкого распространения.

Версия PCL 5 существует в нескольких вариантах. В базовой спецификации (1990 год) были реализованы функции Office Publishing (офисная публикация), включая масштабирование шрифтов самим принтером, контурные шрифты и поддержку графического языка HP-GL/2. В версии PCL 5E (Enhanced, улучшенная) было обеспечено двунаправленное общение компьютера и принтера, а также функции выбора шрифтов в операционной системе Microsoft Windows. Версия PCL 5C (Color, цветная) служит для цветных принтеров и характеризуется добавлением тегов указания цвета текста.

В последней версии языка реализован переход на новую модульную структуру языка (что уже давно сделано в PostScript) для ускорения разработки нового программного обеспечения и, в частности, новых драйверов устройств вывода на печать. Эта версия создавалась в тесном сотрудничестве с компанией Microsoft, поэтому обеспечен ускоренный возврат ответа в приложение, быстрая печать сложных графических изображений, улучшенное качество печати и повышенная точность при выводе документов. Все версии PCL являются совместимыми снизу вверх, то есть каждая новая версия сохраняет все старые возможности и вводит новые функции.

**PCL и PostScript.** Начнем с того, что в PCL используются стандартные шрифты TTF (True Type Font) систем Windows, в то время как в PostScript применяются одноименные собственные шрифты, которые, как минимум, должны как-то попасть в операционную систему.

Однако основное отличие состоит в концепции языков описания страниц. Если PCL предназначен для управления работой принтера, то есть определяет поток команд управления, то PostScript служит для аппаратно-независимого описания страницы. Проще говоря, для создания графического изображения принтер должен некоторым образом интерпретировать описания на языке PostScript (как известно, любая интерпретация вносит некоторую погрешность). Однако для вывода документа на языке PCL принтеру вполне достаточно выполнить понятные и знакомые команды этого языка. Спецификация PCL открыта и распространяется бесплатно, в то время как использование лицензированного языка PostScript предполагает авторские отчисления для компании Adobe.

Можно не говорить, что для одной и той же страницы описание на языке PCL занимает меньше места и обрабатывается принтером быстрее, чем описание на языке PostScript.

Естественно, мы не призываем всех и каждого переходить с PostScript на PCL и тем более не пытаемся принизить историческую роль языка PostScript в офсетной полиграфии. Однако если дизайнер готовит Web-публикацию, то кажется немного странными рассуждения о точной цветопередаче (это при 256 цветах в Интернете) или необходимости использования шрифтов PostScript (которые вряд ли найдутся на компьютере рядового пользователя). Нужно четко понимать, что в полиграфии цветные принтеры используются только для получения пробных оттисков, позволяющих ориентировочно оценить цвет изображения и общий баланс цвета. На заключительной стадии, при подготовке к цветоделению на пленке или печатной форме, все равно потребуются более точные цветные пробные оттиски.

Однако совсем иначе обстоит дело, когда цветной лазерный принтер является конечным звеном печатного процесса (например, при непрофессиональном выводе на печать или при печати малотиражной продукции). Здесь вполне допустимо и оправдано использование языка PCL.

**Тенденции и перспективы.** Еще недавно все принтеры делились на две категории: принтеры PostScript и принтеры, не поддерживающие этот язык. С течением времени все большее число устройств стало поддерживать PCL.

Однако возникает одна проблема, о которой не всегда упоминают изготовители устройств печати. Любой принтер может «слушаться» только одного набора команд – или PCL, или PostScript. Даже, если это явно не указано, в технической документации, второй язык реализован через программную интерпретацию. Проще говоря, ранее большая часть принтеров считала основным язык Adobe PostScript, а PCL – дополнительным (то есть преобразуемым из PCL в PostScript). Однако понемногу язык PostScript стал пропадать в младших моделях многих изготовителей. Например, в принтерах Phaser 740, 780 и 840 компании Xerox (1999 год) основным был Genuine Adobe PostScript 3 и дополнительным PCL5e. В принтерах Phaser 550 и Phaser 560 язык PCL 5 вообще поставлялся только по специальному заказу, а основным и единственным был язык описания страниц Adobe PostScript Level 2, правда, с добавленным языком описания векторной графики HP-GL.

Однако посмотрим на современные модели персональных лазерных принтеров компании Xerox, чтобы не заикнуться на явно «ангажированных» для PCL принтерах компании HP. Модели Phaser 3110 и Phaser 3210 используются шрифты Windows (то есть TTF) и эмуляцию PCL 6. В модели Phaser 3310 язык управления печатью PCL 6 является основным, хотя можно заказать дополнительный язык PostScript уровня III.

В старых сетевых и полноцветных принтерах Xerox используется «истинный», он же «стандартный» язык Adobe PostScript 3 и нет языка PCL. Но в появившихся в прошлом году двух новых моделях – лазерном Phaser 6200 и твер-

дочерний Phaser 8200 – дополнительно к Adobe PostScript 3 реализован язык PCL 6.

Итак, если ранее Xerox не придавала большого значения языку PCL, то теперь в младших моделях эта компания отказалась от PostScript, а в старших – дополнила PostScript языком PCL. Следовательно, язык PCL востребован пользователями и понемногу начинает проникать в принтеры разных компаний, что во многом связано с переходом цветных лазерных принтеров из категории «дорогих профессиональных» устройств в ранг обычного офисного оборудования.

В начале этого раздела было сказано, что пользователь может даже не знать о существовании языка описания страниц. Однако при покупке нового цветного лазерного принтера следует обратить внимание не только на привычные и понятные технические характеристики (например, разрешение, скорость печати, время на переход в режим готовности и т.д.), но и на поддерживаемый устройством язык описания страниц. Если принтер будет использован исключительно для офисных программ, подобных Microsoft Office, то достаточно поддержки языка PCL. Если же планируется работа с «тяжелыми» графическими или издательскими программами, то не обойтись без языка PostScript. Не следует забывать и о том, какой из языков является основным, а какой – эмулируемым.

Различные графические редакторы создают, вообще говоря, различные EPS-файлы. Photoshop считается одним из тех, которые это делают наилучшим образом.

Файлы EPS обычно имеют большой объем. Например, они могут быть в несколько раз больше, чем аналогичные по содержанию TIFF-файлы с LZW-сжатием. Если вы собираетесь распечатать документ на принтере, который не относится к типу PostScript, то не рекомендуется использовать формат EPS. Для печати в этом случае лучше использовать формат TIFF или JPEG.

Изначально EPS разрабатывался как векторный формат, позднее появилась его растровая разновидность – Photoshop EPS.

В Photoshop в формате EPS можно сохранять изображения в следующих цветовых представлениях: RGB, CMYK, Lab, оттенки серого, черно-белое (Bitmap), дуплексное, индексированные цвета. Кроме того, EPS-формат предусматривает внедрение ICC-профилей.

Кроме формата эскиза (TIFF, PICT, JPEG) Photoshop дает возможность выбрать способ кодирования (encoding) данных: ASCII, Binary и JPEG:

- ASCII-кодирование приводит к созданию очень больших файлов, которые, однако, воспринимаются любыми принтерами и приложениями.
- Binary-кодирование создает меньшие по объему файлы, подходящие для многих приложений, но не воспринимаемые правильно принтерами некоторых старых моделей.
- JPEG-кодирование дает наименьший объем файлов, но может ухудшить качество изображения. При этом оно совместимо только с принтерами PostScript уровня 2 и выше. Кроме того, при использовании JPEG-кодирования

могут возникнуть проблемы с цветоделением, когда потребуется его выполнить.

## Формат PDF

PDF (Portable Document Format) был разработан командой компании Adobe Systems. Разработчики формата поставили перед собой задачу создать такой формат отображения документа, чтобы на любом устройстве документ открывался и выглядел одинаково.

Формат PDF используется для хранения и передачи текстовой и графической информации в сети, например, для передачи фирменного бланка в типографию или размещение анкеты на сайте. Отлично подходит для демонстрации наработок: показать легко, отредактировать – сложно. Это усложняет воровство интеллектуальной собственности. Ну и идеи «безбумажного офиса» хорошо воспринимаются всеми, кто задумывается об экологии на планете.

За время своего существования формат PDF значительно прибавил в возможностях. Уже в первой же редакции формата появилась возможность вставлять в текст документа гиперссылки, шифровать документ с паролем и, тем самым, защищать его от модификации. Впоследствии появилась возможность поверх изображения наносить текстовый слой, в том числе невидимый, давая пользователю возможность, видя «картинку», тем не менее, копировать с неё текст. Кроме того, в этой же версии появилась возможность вставлять метаданные в виде пар «ключ-значение», каждая из которых может быть связана с какой-то частью документа (например, отдельным изображением) или со всем документом целиком. Это важные нововведения, с точки зрения архивного хранения, и они поддерживаются форматом по сей день.

Широкому распространению формата сегодня способствует ряд факторов.

Во-первых, компания-разработчик Adobe Systems отказалась от сугубо платного распространения специального программного обеспечения для работы с данным форматом. Во-вторых, в PDF со временем реализовали поддержку внешних ссылок, что позволило его активно использовать в Интернете. В-третьих, появление компьютеров с более существенными ресурсными возможностями, а также скоростных модемов позволило быстрее открывать и загружать PDF-документы. И, наконец, в-четвертых, сегодня многие редакторы умеют конвертировать документы различных форматов в формат PDF.

К заметным плюсам при работе с данным форматом можно отнести:

- Его кроссплатформенность. Это означает, что если открыть формат PDF в окне любой операционной платформы, то он всегда будет выглядеть именно таким, каким его первоначально создали.
- Низкую требовательность к печатающим устройствам. То есть документ печатается без искажений на принтерах любого класса.
- Высокую компактность. Формат позволяет работать со многими алгоритмами сжатия данных.



- Совместимость с мультимедийным контентом. PDF-документы позволяют присоединять мультимедийные и гипертекстовые элементы, а также допускают предварительный просмотр страниц.

- Возможности настройки уровней безопасности. Например, блокировка открытия PDF-документа, его печати или же редактирования.

К недостаткам формата можно отнести:

- Защищенность патентом. Тот факт, что PDF является запатентованной собственностью компании Adobe Systems, не позволяет сторонним разработчикам дорабатывать его, устраняя замеченные недостатки.

- Побочные явления всеядности. Желание создать универсальный стандарт не позволило разработчикам продвинуться в решении специфических проблем. Например, при имеющейся возможности создавать интернет-страницы, многие форматы более эффективны и практичны.

- Функциональные трудности редактирования. Нацеленность на полную визуальную передачу исходного вида документа затрудняет логическое редактирование текста без использования специальных приложений. Трудно отредактировать текст PDF, чтобы он выглядел именно так, как вы ранее задумали.

Несколько слов хотелось сказать о стандарте PDF/A. PDF/A – это подмножество формата PDF, содержащее ограниченный набор возможностей представления данных. Данный формат является стандартом ISO и предназначен для долгосрочного хранения электронных документов. Обеспечение длительного срока хранения достигается посредством внедрения в содержимое электронного документа в формате PDF/A всей информации, необходимой для его отображения. Такой информацией, в частности, являются шрифты – те из них, которые использованы в документе, включены в него.

Считается, что документ, хранимый в формате PDF/A, ввиду полного отсутствия связи с такими изменчивыми вещами как гиперссылки и мультимедийный контент, можно будет открыть в любой операционной системе через какое угодно длительное время с помощью приложения, поддерживающего соответствующий формат. Поскольку PDF/A обеспечен статусом международного стандарта, его поддержка со стороны разработчиков ПО в долгосрочной перспективе оправдана, а использование целесообразно по сравнению с другими доступными форматами хранения, которые могут измениться в любой момент времени.

## **Формат DjVu**

Формат DjVu при дословном переводе (от французского «дежа вю») означает «уже увиденное». Изначально разрабатывался для хранения текстов книг, журналов и прочих документов, хранить которые в виде картинок накладно из-за больших размеров файлов, а распознать достаточно трудно, так как это требует большого времени и усилий.

Формат оптимизирован для использования в Интернете – просматривать файл можно еще до того, как он будет полностью скачан. Вы можете начать просматривать первые страницы, пока остальные еще будут загружаться.

В настоящее время книги в формате DjVu получили большое распространение. Существует множество библиотек, в том числе и бесплатных, множество программ как для компьютера, так и для мобильных устройств. Создание таких файлов несложно даже для неопытного пользователя компьютера. Вы можете самостоятельно отсканировать какие-либо материалы и сохранить их в таком виде. Если объем материалов большой, то экономия места может быть существенной. Небольшой размер файлов особенно актуален для их распространения через Интернет.

В основе формата DjVu лежат несколько технологий, в том числе разработанных в AT&T Labs:

- алгоритм отделения текста от фона на отсканированном изображении;
- вейвлетный алгоритм сжатия фона IW44;
- алгоритм сжатия чёрно-белых изображений JBIG2;
- универсальный алгоритм сжатия Deflate;
- алгоритм распаковки «по запросу»;
- алгоритм «маскировки» изображений.

Для сжатия цветных изображений в DjVu применяется специальная технология, разделяющая исходное изображение на три слоя: передний план, задний план и чёрно-белую (однобитовую) маску. Маска сохраняется с разрешением исходного файла; именно она содержит изображение текста и прочие чёткие детали. Разрешение заднего плана, в котором остаются иллюстрации и текстура страницы, по умолчанию понижается для экономии места. Передний план содержит цветовую информацию о маске; его разрешение обычно понижается ещё сильнее. Затем задний и передний планы сжимаются с помощью вейвлет-преобразования, а маска – алгоритмом JB2.

Особенностью алгоритма JB2 является то, что он ищет на странице повторяющиеся символы и сохраняет их изображение только один раз. В многостраничных документах каждые несколько подряд идущих страниц пользуются общим «словарём» изображений.

Для сжатия большинства книг можно обойтись только двумя цветами. В этом случае используется всего один слой, что позволяет достичь рекордной степени сжатия. В типичной книге с чёрно-белыми иллюстрациями, отсканированной с разрешением 600 dpi, средний размер страницы составляет около 15 Кб, то есть приблизительно в 100 раз меньше, чем исходный файл. В присутствии сложного заднего плана выигрыш объёма составляет обычно 4...10 раз. Для особо важных документов обычно используются форматы: PNG, JPEG 2000, TIFF.

Возможности DjVu:

- поддержка всех версий Windows;
- непрерывный и одностраничный режимы просмотра, возможность отображения разворота;

- практически любой язык интерфейса;
- пользовательские закладки и аннотации;
- поиск по тексту и копирование;
- поддержка словарей, переводящих слова под указателем мыши;
- список миниатюр страниц с настраиваемым размером;
- оглавление и гиперссылки;
- расширенные возможности печати;
- полноэкранный режим;
- режимы быстрого увеличения и масштабирования по выделению;
- экспорт страниц (или части страницы) в bmp, png, gif, tif и jpg;
- поворот страниц на 90 градусов;
- настройка яркости, контраста и гаммы;
- режимы отображения: цветной, чёрно-белый, передний план, задний план;
- навигация и скроллинг как мышью, так и с клавиатуры.

Существует несколько приложений для чтения файлов djvu.

Первая утилита, которую можно использовать, называется Djvu Reader. Именно ее начали использовать для открытия файлов этого формата в далеких 90-х. На его смену пришла новая программа под названием Windjview. Она имеет более мощный функционал по сравнению с первой и поддерживается разработчиками по сей день.

Третье приложение настоящий комбайн, который открывает практически все текстовые форматы. Называется она Stdu Viewer. Достаточно мощная программка для того, чтобы открыть файл DjVu и не только его.

### **Формат Computer Graphics Metafile**

Формат CGM создан техническим комитетом при международных организациях по стандартизации ISO и ANSI. Он ориентирован на поддержку изображений в самых разнообразных областях машинной графики: технические иллюстрации, картография, иллюстративная графика, визуализация графических моделей и др. CGM используют или поддерживают на уровне импорта и экспорта многие векторные редакторы (Micrografx Designer), настольные издательские системы (Corel Ventura), системы автоматизированного проектирования (AutoCAD), пакеты деловой графики (Lotus Freelance). Формат представляет собой метафайл и имеет несколько разновидностей, не совместимых друг с другом. При этом процедура импорта не требует задания параметров и выполняется без диалога с пользователем.

CGM поддерживает гиперсвязи графических объектов внутри иллюстрации, что делает его хорошо совместимым с языком HTML. Используя CGM и HTML, авторы могут легко создавать высококачественные интерактивные компактные документы, к которым можно легко получить доступ через Интернет.

CGM, благодаря своей поддержке высококачественной векторной графики, является также естественным форматом для публикации данных систем ав-

томатизированного проектирования в компактной, эффективной и интерактивной форме.

Хотя формат CGM не имеет широкого распространения в Web и вытеснен другими форматами в художественной области, он является общепринятым в промышленности и правительственных организациях, в том числе в Air Transport Association (авиация), CALS (системы военного назначения) и J2008 (автомобильная промышленность).

### Форматы электронных книг

Электронные книги (ридеры, читалки) уже давно стали привычными устройствами для широкого круга пользователей. Их достоинства: доступность контента (скачать необходимую книгу из Интернета можно за считанные минуты), не портящий зрение экран E-ink, возможность иметь в ридере коллекцию из тысяч книг, долгая работа на одной зарядке, настройки типа и размера шрифта. Не так давно появились электронные книги с подсветкой экрана – они позволяют читать в полной темноте. В общем, преимущества ридеров можно перечислять очень долго.

Однако при знакомстве с читалками у пользователей часто возникает одна проблема. Люди, которые решают приобрести электронную книгу в первый раз, сталкиваясь с понятием «форматы электронных книг», часто не понимают о чем идет речь. Проблема особенно актуальна для начинающих, которым аббревиатуры FB2, EPUB или MOBI совершенно ничего не говорят.

В электронных библиотеках Интернета часто предлагается большой набор типов файлов: FB2, EPUB, MOBI, PDF, DOC, RTF, TXT, DJVU и других. Выбор широк, и это ставит перед новичками определенные проблемы.

**FB2 (FictionBook)** – формат электронных книг, который был создан группой российских разработчиков. Книги в этом типе файлов имеют структурированный вид (то есть содержат разбивку по главам, содержание, иллюстрации, обложку). Кроме того, этот стандарт хранит информацию о файле (так называемые тэги: автор, название, жанр), которая считывается ридером и позволяет пользователю удобно сортировать файлы на устройстве. Данный типа файлов занимает небольшой объем, может быть заархивирован, и хорошо конвертируется в другие форматы. Так как формат изначально был разработан под кириллицу, тексты на русском языке в FB2 имеют переносы слов.

Формат был изначально рассчитан на российских пользователей, и он практически не используется за границей. Именно поэтому FB2 не поддерживается популярными мировыми производителями читалок – Amazon и Barnes & Noble. Зато это основной формат файлов для популярных в России читалок от Pocketbook, Onyx и Wexler. Кроме того, электронные книги Sony теперь поддерживают FB2 – после выхода на российский рынок компания разработала официальную прошивку для а Sony PRS-T1, которая позволяет читать книги в FB2.

**EPUB (Electronic PUBlication)** – самый популярный в мире формат для электронных книг. С ним работают устройства Barnes & Noble и Sony. По структуре верстки этот тип файла напоминает заархивированную веб-страницу, содержащую текст, графику, встроенные шрифты, иллюстрации.

Помимо западных брендов, формат EPUB поддерживается моделями производителей, ориентированных на российский рынок (Pocketbook, Onyx, Wexler) по причине их высокой популярности в нашей стране. Кроме того, данный стандарт электронных книг используют iPhone и iPad. Фирменная программа Apple для чтения iBooks поддерживает именно EPUB.

**MOBI** – формат электронных книг ридеров Amazon Kindle. Получает распространение в российских онлайн-библиотеках по мере того, как Kindle становится все более популярным в России. MOBI по своим свойствам схож с EPUB. Недавно Amazon представил еще один формат электронных текстов Kindle Format 8 или KF8 (его отличает более богатое форматирование) с уточнением, что новые и старые устройства Amazon не перестанут поддерживать MOBI.

## ГЛАВА 7. СЖАТИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

### 7.1. Общие сведения о сжатии информации

Основоположником науки о сжатии информации принято считать Клода Шеннона. Его теорема об оптимальном кодировании показывает, к чему нужно стремиться при кодировании информации и на сколько та или иная информация при этом сожмется. Кроме того, им были проведены опыты по эмпирической оценке избыточности английского текста. Он предлагал людям угадывать следующую букву и оценивал вероятность правильного угадывания. На основе ряда опытов он пришел к выводу, что количество информации в английском тексте колеблется в пределах 0,6...1,3 бита на символ. Несмотря на то, что результаты исследований Шеннона были по-настоящему востребованы лишь десятилетия спустя, трудно переоценить их значение.

Первые алгоритмы сжатия были примитивными в связи с тем, что была примитивной вычислительная техника. С развитием мощностей компьютеров стали возможными все более мощные алгоритмы. Настоящим прорывом было изобретение Лемпелем и Зивом в 1977 г. словарных алгоритмов, о которых мы поговорим позже. До этого момента сжатие сводилось к примитивному кодированию символов. Словарные алгоритмы позволяли кодировать повторяющиеся строки символов, что позволило резко повысить степень сжатия. Важную роль сыграло изобретение примерно в это же время арифметического кодирования, позволившего воплотить в жизнь идею Шеннона об оптимальном кодировании. Следующим прорывом было изобретение в 1984 г. алгоритма PPM.

PPM (prediction by partial matching) – это метод контекстно-зависимого моделирования ограниченного порядка, позволяющий оценить вероятность по-

явления символа в зависимости от предыдущих символов. Следует отметить, что это изобретение долго оставалось незамеченным. Дело в том, что алгоритм сложен и требует больших ресурсов, в первую очередь больших объемов памяти, что было серьезной проблемой в то время. Изобретенный в том же 1984 г. алгоритм LZW был чрезвычайно популярен благодаря своей простоте, хорошей рекламе и нетребовательности к ресурсам, несмотря на относительно низкую степень сжатия. На сегодняшний день алгоритм RPM является наилучшим алгоритмом для сжатия текстовой информации, а LZW давно уже не встраивается в новые приложения (однако широко используется в старых).

Будущее алгоритмов сжатия тесно связано с будущим компьютерных технологий. Современные алгоритмы уже вплотную приблизились к Шенноновской оценке 1,3 бита на символ, но ученые не видят причин, по которым компьютер не может предсказывать лучше, чем человек. Для достижения высоких степеней сжатия приходится использовать более сложные алгоритмы. Однако существовавшее одно время предубеждение, что сложные алгоритмы с более высокой степенью сжатия всегда более медленны, несостоятельно. Так, существуют крайне быстрые реализации алгоритмов RPM для текстовой информации и SPIHT для графики, имеющие очень высокую степень сжатия.

Таким образом, будущее за новыми алгоритмами с высокими требованиями к ресурсам и все более и более высокой степенью сжатия.

Устаревают не только алгоритмы, но и типы информации, на которые они ориентированы. Так, на смену графике с малым числом цветов и неформатированному тексту пришли высококачественные изображения и электронные документы в различных форматах. Известные алгоритмы не всегда эффективны для новых типов данных. Это делает крайне актуальной проблему разработки новых алгоритмов.

Количество нужной человеку информации неуклонно растет. Объемы устройств для хранения данных и пропускная способность линий связи также растут. Однако количество информации растет быстрее. У этой проблемы есть три решения.

Первое – ограничение количества информации. К сожалению, оно не всегда приемлемо. Например, для изображений это означает уменьшение разрешения, что приведет к потере мелких деталей и может сделать изображения вообще бесполезными (например, для медицинских или космических изображений). Второе – увеличение объема носителей информации и пропускной способности каналов связи. Это решение связано с материальными затратами, причем иногда весьма значительными.

Третье решение – использование сжатия информации. Это решение позволяет в несколько раз сократить требования к объему устройств хранения данных и пропускной способности каналов связи без дополнительных издержек (за исключением издержек на реализацию алгоритмов сжатия). Условиями его применимости является избыточность информации и возможность установки специального программного обеспечения либо аппаратуры как вблизи ис-

точника, так и вблизи приемника информации. Как правило, оба эти условия удовлетворяются.

Именно благодаря необходимости использования сжатия информации, методы сжатия достаточно широко распространены. Однако существуют две серьезные проблемы. Во-первых, широко используемые методы сжатия, как правило, устарели и не обеспечивают достаточной степени сжатия. В то же время они встроены в большое количество программных продуктов и библиотек и поэтому будут использоваться еще достаточно долгое время. Второй проблемой является частое применение методов сжатия, не соответствующих характеру данных. Например, для сжатия графики широко используется алгоритм LZW, ориентированный на сжатие одномерной информации, например, текста. Решение этих проблем позволяет резко повысить эффективность применения алгоритмов сжатия.

Таким образом, разработка и внедрение новых алгоритмов сжатия, а также правильное использование существующих позволит значительно сократить издержки на аппаратное обеспечение вычислительных систем.

Как правило, все методы сжатия графических изображений разделяют на две категории: архивацию (сжатие без потерь) и компрессию (сжатие с потерями). Под архивацией понимают сжатие информации с возможностью ее дальнейшего восстановления. Компрессия же означает потерю некоторого количества информации об изображении, что естественно приводит к ухудшению качества, но уменьшает объем сохраненных данных. Архивировать можно как растровую, так и векторную графику. Принцип архивации состоит в том, что программа анализирует наличие в сжимаемых данных одинаковых последовательностей и исключает их, записывая вместо повторяющегося фрагмента ссылку на предыдущий и аналогичный ему для того, чтобы была возможность восстановления. Хорошим примером графического объекта с большим количеством одинаковых последовательностей может стать фотография или рисунок с голубым небом в изображении или со сплошной однотонной заливкой. При таком подходе можно восстанавливать нужную информацию без потерь.

Компрессия же не гарантирует полного восстановления исходных данных, поэтому ее основная задача – не «убить» что-нибудь очень ценное в погоне за уменьшением объема. Обычно информация, подвергнутая компрессии, занимает значительно меньше объема, чем сохраненная методами архивации. Именно это обстоятельство и оставляет этому методу место под солнцем. Регулирование степени сжатия дает право на выбор: размер выходного файла или сохранение его качества. Рассмотрим несколько алгоритмов сжатия данных, которые не вносят изменений в исходные файлы и гарантируют полное восстановление данных.

## 7.2. Сжатия без потерь

### 7.2.1. RLE-сжатие

Одной из простейших форм сжатия является метод **RLE (Run Length Encoding – кодирование с переменной длиной строки)**.

Метод сжатия данных, при котором одинаковые последовательности одних и тех же байтов заменяются однократным упоминанием повторяющегося байта (или целой цепочки байтов) и числа его повторений в исходных данных. Например, строка типа 0100 0100 0100 0100 0100 0100 0100 0100, описывающая некую группу пикселей, будет заменена на запись типа 0100x8 и т.п. Применяется этот тип сжатия в тех случаях, когда изображение имеет большие участки одного цвета, цифровое представление которых идентично. В основном этот тип сжатия применим для монохромных изображений с небольшим количеством цветов: для деловой и научной графики, в которых сжатием данных можно добиться наилучших результатов.

Алгоритм применим для сжатия других типов данных (в том числе и не графических), но малоэффективен, так как сжимаемые данные должны иметь простую повторяющуюся структуру. Этот алгоритм имеет еще одно важное преимущество – он относительно прост и позволяет быстро производить распаковку из этого формата и упаковку обратно. В принципе, на основе этого несложного алгоритма работают более совершенные и более сложные (а также менее быстрые) методы сжатия графических данных (рассмотрим их позже). Этот метод используется для файлов формата .PSD, .BMP и других.

### **7.2.2. Кодирование методами Хаффмана и ССИТ**

Алгоритм Хаффмана основан на определенном анализе документа и вычислении частоты встречаемости цветовых значений (или значений других видов информации), а затем этим значениям в соответствии с рангом присваиваются коды сначала с минимальным количеством битов, а затем по мере снижения частоты (уменьшения ранга) используется все большее количество двоичных разрядов. Такой способ кодирования иногда называют алфавитным кодированием.

Заменяем также для простоты значения цвета буквами. Например, в следующей последовательности букв ААСААВАВАВВАВВСАСВСАСААССС заметно, что чаще всего встречается символ А (12 раз), затем символ С (9 раз) и, наконец, символ В (5 раз). Следовательно, символ А можно заменять кодом 0, символ С – кодом 1, а символ В – кодом 00. И так далее, если элементов для кодирования больше. В результате, если считать, что каждый символ в нашем примере кодируется 1 битом, то для передачи строки потребуется 208 битов, а в сжатом виде объем информации составит только 31 бит.

В этом то и заключается принцип кодирования по Хаффману. Первым, кто использовал кодирования по Хаффману (естественно, не подозревая об этом), был американский художник Сэмюэль Морзе. В разработанной им азбуке для сокращения объема сообщения часто встречающиеся буквы передаются короткими сигналами (точки), а редко встречающиеся – длинными (тире).

Граница применимости этой схемы сжатия очевидна: данные можно сжимать, только если отдельные элементы данных различаются по частоте встречаемости. Если же элементы данных распределены статистически равно-



мерно, то сжатие невозможно.

Методы CCITT Group 3, CCITT Group 4 работают с однобитными изображениями, сохраненными в цветовой модели Bitmap. Они основаны на поиске и исключении из исходного изображения дублирующихся последовательностей данных (как и в предыдущем типе сжатия – RLE). Оба ориентированы на упаковку именно растровой графической информации, так как работают с отдельными рядами пикселей в изображении. Изначально алгоритм был разработан для сжатия данных, передаваемых через факсимильные системы связи (CCITT Group 3), а более совершенная разновидность этого метода архивации данных (CCITT Group 4) подходит для записи монохромных изображений с более высокой степенью сжатия. Как и предыдущий алгоритм, он в основном подходит для сжатия изображений с большими одноцветными областями. Его достоинство – скорость выполнения, а недостаток – в ограничениях при компрессии графических данных (не все данные удается эффективно сжать таким образом).

### 7.2.3. LZW-кодирование

В далеком 1978 году двое израильских исследователей Якоб Зив (Jacob Ziv) и Абрахам Лемпель (Abraham Lempel) разработали принципиально новый для того времени алгоритм сжатия информации без потери данных. Этому методу, не мудрствуя, они дали название LZ78, полученное из сокращения собственных фамилий и даты завершения своего проекта. Информация о принципах построения этого алгоритма была общедоступной, и спустя несколько лет американский программист Терри Уэлч (Terry Welch) усовершенствовал его, добавил в обозначение первую букву своей фамилии и запатентовал новый алгоритм под названием **LZW**, также предоставив свою разработку для использования всем желающим.

Метод LZW сжимает данные путем поиска одинаковых последовательностей во всем файле. Эти последовательности, которые называются фразами, выявляются и сохраняются в таблице. В таблице содержатся короткие маркеры (ключи), соответствующие более длинным фразам.

Давайте статистически проанализируем информацию двух предложений предыдущего абзаца:

***«Граница применимости этой схемы сжатия очевидна: данные можно сжимать, только если отдельные элементы данных различаются по частоте встречаемости»*** и

***«Если же элементы данных распределены статистически равномерно, то сжатие невозможно».***

Очевидно, во втором предложении содержится несколько последовательностей букв (по меньшей мере, из двух букв), которые можно обнаружить и в первом предложении. Эти последовательности второго предложения подчеркнуты. Наверное, имеется еще больше совпадений, которые сразу не бросаются в глаза. Тем не менее, 39 из 83 знаков второго предложения можно счи-

тать избыточными. Именно на этом основана схема сжатия.

Сначала часть текста передается (записывается) без сжатия, а далее следуют данные, которые указывают, где можно найти некоторую последовательность знаков в уже переданном тексте. Если снова произвести загрузку такого файла, то программа восстановления отыскивает подобные последовательности знаков и вводит их вместо так называемых офсетных данных (относительных адресов). Все доступные в настоящее время программы сжатия без потерь, включая PKZIP, ARJ, RAR и т.п., используют различные реализации описанного метода. Они сжимают информацию с учетом уже переданных данных. Поскольку переданные данные образуют своего рода постоянно просматриваемый словарь, метод сжатия называют «методом на основе словаря».

#### 7.2.4. Метод дефляции

Ранее мы отмечали, что Терри Уэлч предоставил свою разработку для использования всем желающим. Одним из таких «желающих» оказался сотрудник компании CompuServe Inc. Боб Берри (Bob Berry), взявший LZW в качестве основы для созданного им в 1987 году принципиально нового графического формата GIF. Созданная Терри Уэлчем компания Unisys, которой и принадлежали авторские права на алгоритм LZW, взимала плату за его использование только с производителей аппаратного обеспечения для компьютеров, в котором применялся данный стандарт, например, с изготовителей модемов. Разработчики программного обеспечения «комиссионными сборами» не облагались.

Однако зимой 1994 года компания Unisys, начавшая испытывать финансовые проблемы, объявила LZW коммерческим стандартом, использование которого требует оплаты. Это автоматически сделало GIF единственным в мире платным графическим форматом, что вызвало волну недовольства среди пользователей Интернета, поскольку практически на всех современных Web-сайтах, так или иначе, применяются элементы GIF.

После волнений по поводу прав компании Unisys и лицензирования патента на метод LZW целый ряд организаций обратился к разработке программ, которые можно использовать без каких-либо патентных претензий. Один из алгоритмов был назван дефляцией, и наиболее распространенным бесплатным пакетом, реализующим этот метод, является библиотека `zlib library`.

Для дефляции используются методы сжатия данных без потерь, аналогичные LZW, но разработчики алгоритма приложили все усилия, чтобы алгоритм дефляции не подпадал под действие патентов LZW. Метод дефляции используется для упомянутого выше формата ZIP, который применяется в пакете Acrobat, а также для формата PNG и некоторых других программ архивного сжатия.

### 7.2.5. Метод JBIG

Алгоритм разработан группой экспертов **ISO (Joint Bi-level Experts Group)** специально для сжатия однобитных черно-белых изображений. Например, факсов или отсканированных документов. В принципе может применяться и к 2-х, и к 4-х битовым картинкам. При этом алгоритм разбивает их на отдельные битовые плоскости. JBIG позволяет управлять такими параметрами, как порядок разбиения изображения на битовые плоскости и уровни масштабирования. Последняя возможность позволяет легко ориентироваться в базе больших по размерам изображений, просматривая сначала их уменьшенные копии. Настраивая эти параметры, можно использовать интересный эффект при получении изображения по сети или по любому другому каналу, пропускная способность которого мала по сравнению с возможностями процессора. Распакываться изображение на экране будет постепенно, как бы медленно «проявляясь». При этом человек начинает анализировать картинку задолго до конца процесса разархивации.

Алгоритм построен на базе Q-кодировщика, патентом на который владеет IBM. Q-кодер, как и алгоритм Хаффмана, использует для чаще появляющихся символов короткие цепочки, а для реже появляющихся – длинные. Однако, в отличие от алгоритма Хаффмана, в алгоритме используются и последовательности символов.

### 7.2.6. Эффективность методов сжатия без потерь

Насколько эффективно можно сжимать графические данные методами без потерь? Мы уже отмечали, что в практике работы встречаются четыре типа изображений, а именно, черно-белые, полутоновые, палитровые и истинно-цветные изображения. Черно-белые изображения можно эффективно сжимать с помощью метода Хаффмана. Такой метод используется, например, при факсимильной передаче. Для других видов изображений коэффициенты сжатия, достижимые с помощью методов сжатия без потерь, в большинстве случаев невелики.

Полутоновые и истинно-цветные изображения обеспечивают наиболее естественное представление оригиналов, так как в них содержится вся яркостная и, соответственно, цветовая информация. Такие изображения плохо сжимаются алгоритмами сжатия без потерь. Причина этого проста. Как кодирование по Хаффману, так и LZW-кодирование, и кодирование длин серий основаны на предположении, что в обычных массивах данных можно обнаружить много избыточной или нерационально закодированной информации. Отдельные знаки либо встречаются с различной частотой – и тогда могут быть закодированы более эффективно, или же знаковые последовательности встречаются повторно в некоторой окрестности. Как правило, ни то, ни другое не имеет места в полутоновых и истинно-цветных изображениях. В правильно освещенном полутоновом изображении не только содержатся практически все численные

значения между 0 и 255, но к тому же многие из них еще и имеют одинаковую частоту. Поэтому сжатие данных методом кодирования по Хаффману неэффективно.

Насколько успешным будет сжатие методом LZW или с использованием кодирования длин серий, решающим образом зависит от насыщенности деталями и, соответственно, от цветового многообразия изображения. Если изображение содержит относительно мало цветов, то с известной вероятностью в нем будут существовать области, содержащие зоны с одинаковыми полутонами или цветами. В оптимальном случае степень сжатия такого изображения может достигать примерно 50%. В наиболее выигрышном положении находятся палитровые изображения. Поскольку в этом случае многообразие цветов автоматически ограничивается, вероятность того, что цвета будут повторяться, относительно велика. Наоборот, в полутоновых и истинно-цветных изображениях это бывает скорее исключением.

Опыт показывает, что реальное сжатие полутоновых и палитровых изображений, достижимое методами сжатия без потерь, составляет от 5% до 50%. Для истинно-цветных изображений даже такое сжатие достижимо только в виде исключения. Зачастую происходит даже увеличение файла. Причина этого состоит в том, что в файл при сжатии должна быть дополнительно записана информация для интерпретации сжатых данных.

Подводя итог, отметим, что если методы сжатия без потерь с успехом используются для снижения емкости памяти, требуемой для записи программных или текстовых файлов, то для сжатия графических данных они пригодны лишь в очень ограниченной степени. В частности, эти методы абсолютно непригодны для изображений в истинных цветах, для запоминания которых требуется как раз особенно большая емкость.

Поэтому в последние годы было затрачено много усилий, чтобы разработать методы, позволяющие эффективно сжимать видеоданные. Однако очень скоро стало ясно, что задача не решается методами сжатия без потерь. Поэтому были созданы методы, которые обеспечивают такое преобразование видеоданных, которое позволяет добиться эффективного сжатия ценой контролируемой потери качества.

### **7.3. Сжатие с потерями**

#### **7.3.1. Метод JPEG**

На сегодняшний день JPEG является одной из ярких иллюстраций результатов исследований в области развития технологий сжатия изображений. Аббревиатура JPEG происходит от названия комитета по стандартам Joint Photographic Experts Group (Объединенная группа экспертов по фотографии), входящего в состав Международной организации по стандартизации (ISO). В 1982 году ISO сформировала группу экспертов по фотографии, возложив на нее обязанности по проведению исследований в области передачи видеосигналов, неподвижных изображений и текстов по цифровым каналам связи. Перед груп-

пой была поставлена задача разработать набор промышленных стандартов по передаче графических данных и данных изображений с помощью цифровых коммуникационных сетей.

В 1986 году одной из подгрупп Международного комитета ССИТТ были начаты исследования методов сжатия цветных и полутоновых данных для факсимильной связи. Применяемые при этом методы сжатия цветных данных очень напоминали те, которые исследовались группой JPEG. Поэтому было принято решение объединить ресурсы этих групп для совместной работы над единым стандартом. Этот комитет и получил название JPEG.

Большинство из ранее разработанных методов сжатия были малоприспособлены для сжатия данных полноцветных изображений. В тот период очень малое число файловых форматов могли поддерживать растровые изображения с глубиной цвета 24-бит/пиксель и более. Например, формат GIF позволял сохранять изображения с максимальной глубиной цвета 8 бит/пиксель, то есть не более 256 цветов. Его алгоритм сжатия (LZW) мало подходил для сканированных изображений. Форматы TIFF и BMP позволяли хранить данные глубиной 24 бит/пиксель, но их версии, существовавшие до JPEG, позволяли применять только схемы кодирования, которые плохо сжимали этот тип данных изображения (LZW и RLE).

JPEG явился методом сжатия, позволяющим сжимать данные полноцветных многоградационных изображений с глубиной от 6 до 24 бит/пиксель с достаточно высокой скоростью и эффективностью. Сегодня JPEG – эта схема сжатия изображений, которая позволяет достичь очень высоких коэффициентов сжатия. Правда, максимальное сжатие графической информации, как правило, связано с определенной потерей информации.

Процесс сжатия по схеме JPEG включает ряд этапов:

- преобразование изображения в оптимальное цветовое пространство;
- субдискретизация компонентов цветности усреднением групп пикселей;
- сегментация изображения;
- применение дискретного косинусного преобразования (ДКП);
- квантование каждого блока коэффициентов ДКП с применением весовых функций, оптимизированных с учетом визуального восприятия человеком;
- кодирование результирующих коэффициентов (данных изображения) с применением алгоритмов удаления избыточной информации.

Рассмотрим вкратце особенности каждого из перечисленных этапов. При этом хотелось бы обратить внимание на то, что декодирование JPEG осуществляется в обратном порядке.

### **Преобразование изображения в оптимальное цветовое пространство.**

В принципе алгоритм JPEG способен кодировать изображения, основанные на любом типе цветового пространства. Однако в случае общепринятых цветовых моделей типа RGB такое сжатие цветовых данных невозможно, поскольку каждый цветовой канал RGB несет некоторую информацию яркости и любая потеря разрешения весьма заметна. Поэтому необходимо перевести изо-

бражение из цветового пространства RGB, в цветовое пространство YCrCb (иногда называют YUV).

В нем Y – яркостная составляющая, а Cr, Cb – компоненты, отвечающие за цвет (хроматический красный и хроматический синий). За счет того, что человеческий глаз менее чувствителен к цвету, чем к яркости, появляется возможность архивировать массивы для Cr и Cb компонент с большими потерями и, соответственно, большими коэффициентами сжатия. Подобное преобразование уже давно используется в телевидении. На сигналы, отвечающие за цвет, там выделяется более узкая полоса частот.

**Субдискретизация и сегментация.** На экране компьютера мы практически никогда не видим реально полноцветных изображений. Это объясняется ограниченными возможностями по цифровому представлению в памяти ЭВМ, искажениями при воспроизведении цвета монитором и видеокартой. В результате на мониторе ЭВМ воспроизводятся, в зависимости от выбранного видеорежима, цвета, всего лишь наиболее близкие к реальным.

Большая часть визуальной информации, к которой наиболее чувствительны глаза человека, состоит из полутоновых компонентов яркости (Y) цветового пространства YCbCr. Две других составляющих цветности (Cb и Cr) содержат цветовую информацию, к которой глаз человека менее чувствителен. Следовательно, определенная ее часть может быть отброшена и, тем самым, можно уменьшить количество учитываемых пикселей для каналов цветности. Например, в изображении размером 1000x1000 пикселей можно использовать яркости всех 1000x1000 пикселей, но только 500x500 пикселей для каждого компонента цветности. При таком представлении каждый пиксель цветности будет охватывать ту же область, что и блок 2x2 пикселя (для яркости). В результате мы сохраним для каждого блока 2x2 всего 6 пиксельных значений (4 значения яркости и по одному значению для каждого из двух каналов цветности) вместо того, чтобы использовать 12 значений при обычном описании. Практика показала, что уменьшение объема данных на 50% почти незаметно отражается на качестве большинства изображений.

Далее исходное изображение разбивается на матрицы размером 8x8, при этом формируются три рабочие матрицы – по 8 бит отдельно для каждой компоненты. Матрица по компоненте Y формируется с учетом всех пикселей изображения, а для компонент Cr и Cb матрицы набираются через строчку и через столбец, то есть из исходной матрицы размером 16x16 получается только одна рабочая матрица. При этом, как нетрудно заметить, мы теряем 3/4 полезной информации о цветовых составляющих изображения. Мы можем поступать так благодаря работе в пространстве YCrCb. По сравнению с моделью RGB полное число кодируемых блоков уменьшится в два раза, но заметного ухудшения качества изображения при этом не произойдет, так как зрительный аппарат человека не воспринимает искажения цвета мелких деталей изображения.

**Дискретное косинусное преобразование.** Ключевым компонентом работы алгоритма JPEG является дискретное косинусное преобразование. Дискретное косинусное преобразование представляет собой разновидность преобразо-

вания Фурье. Графическое изображение можно рассматривать как совокупность пространственных волн, причем оси X и Y совпадают с шириной и высотой изображения, а по оси Z откладывается значение цвета соответствующего пикселя изображения. Дискретное косинусное преобразование позволяет переходить от пространственного представления изображения к ее спектральному представлению и обратно. Воздействуя на спектральное представление изображения, состоящее из «гармоник», то есть, отбрасывая наименее значимые из них, можно балансировать между качеством воспроизведения и степенью сжатия.

Исходные данные для ДКП имеют вид блоков или матриц 8x8 элементов сигналов Y, Cb или Cr, выражаемых 8-разрядными целыми положительными двоичными числами. Перед выполнением ДКП значение каждого элемента блока сдвигается путем вычитания числа 128, в результате чего элементы блоков выражаются целыми числами со знаком. После этого в кодере JPEG выполняется ДКП.

В результате выполнения ДКП квадратной матрицы 8x8 чисел получается квадратная матрица 8x8 коэффициентов ДКП, которые могут быть как положительными, так и отрицательными целыми числами из диапазона -2047...2047. Эта операция сама по себе не изменяет количества передаваемой информации и является обратимой, так как после выполнения обратного ДКП в каждом блоке и объединения блоков получается изображение, идентичное исходному. Единственным источником необратимых потерь информации могут быть ошибки округления при вычислениях, однако эти ошибки могут быть сделаны достаточно малыми за счет выбора разрядности вычислительных средств.

Тем не менее, именно ДКП создает основу для последующего значительного уменьшения объема передаваемой информации. Необходимо отметить, что именно благодаря ДКП каждый его коэффициент содержит информацию не об одном каком-то элементе из матрицы элементов изображения, а обо всех 64 элементах.

В матрице коэффициентов низкочастотные компоненты расположены ближе к левому верхнему углу, а высокочастотные – справа и внизу. Это важно потому, что большинство графических образов на экране компьютера состоит из низкочастотной информации. Высокочастотные компоненты не так важны для передачи изображения. Таким образом, дискретное косинусное преобразование позволяет определить, какую часть информации можно безболезненно выбросить, не внося серьезных искажений в изображение.

**Квантование.** В принципе, это просто деление рабочей матрицы на матрицу квантования поэлементно. От выбора матрицы округления зависит баланс между степенью сжатия изображения и его качеством после восстановления.

Важно отметить, что для квантования сигнала яркости и цветоразностных сигналов используются разные таблицы. В результате выполнения операций деления и округления многие коэффициенты ДКП становятся равными нулю. Именно квантование создает возможность уменьшения числа двоичных символов, необходимых для представления информации о коэффициентах ДКП, то есть сжатия изображения. В то же время именно квантование является источником необратимых потерь информации при сжатии.

Выбор конкретной таблицы квантования в стандарте JPEG оставлен на усмотрение пользователей, но таблицы квантования сигналов яркости и цветности должны быть одни и те же для всех блоков данного изображения.

Таблица 7.1. Матрица квантования с фактором качества, равным 2

3	5	7	9	11	13	15	17
5	7	11	13	15	17	19	21
7	11	13	15	17	19	21	23
9	11	13	15	17	19	21	23
11	13	15	17	19	21	23	25
13	15	17	19	21	23	25	27
15	17	19	21	23	25	27	29
17	19	21	23	25	27	29	31

**Кодирование.** Округленная матрица коэффициентов, полученная на этапе квантования, имеет определенное количество нулевых элементов. Для того чтобы объединить нулевые элементы в группы, производится зигзагообразное сканирование матрицы, начиная с левого верхнего угла. Таким образом, элементы матрицы записываются в цепочку.

Полученные данные кодируются с помощью ранее описанного алгоритма RLE. Затем полученные числа кодируются с помощью алгоритма Хаффмана. Напомню, что алгоритм сжатия Хаффмана был разработан для кодирования текстовых сообщений, и суть его состоит в том, что часто встречающимся в тексте символам ставятся в соответствие найденные по определенному алгоритму короткие двоичные коды, а редко встречающимся символам – более длинные коды. Для кодирования каждого сообщения может использоваться своя собственная таблица соответствий или же общая, фиксированная таблица. При кодировании пар чисел, осуществляемом в алгоритме сжатия JPEG, учитывается, что длинные последовательности нулей и большие значения коэффициентов встречаются реже, чем короткие последовательности нулей и маленькие значения коэффициентов. Полученный по алгоритму сжатия Хаффмана двоичный код готов к передаче по сети и хранению в памяти компьютера.

$a_{0.0}$	$a_{0.1}$	$a_{0.2}$	$a_{0.3}$	$a_{0.4}$	$a_{0.5}$	$a_{0.6}$	$a_{0.7}$
$a_{1.0}$	$a_{1.1}$	$a_{1.2}$	$a_{1.3}$	$a_{1.4}$	$a_{1.5}$	$a_{1.6}$	$a_{1.7}$
$a_{2.0}$	$a_{2.1}$	$a_{2.2}$	$a_{2.3}$	$a_{3.0}$			
$a_{3.0}$	$a_{3.0}$	$a_{3.0}$	$a_{3.0}$				
$a_{4.0}$	$a_{4.1}$	$a_{4.2}$					
$a_{5.0}$	$a_{5.1}$						
$a_{6.0}$	$a_{6.1}$						
$a_{7.0}$	$a_{7.1}$						

Рис. 7.1. Алгоритм зигзаг-сканирования



Процесс восстановления изображения в этом алгоритме полностью симметричен. Метод позволяет сжимать некоторые изображения в 10...15 раз без серьезных потерь.

Существенными положительными сторонами алгоритма является то, что:

- Имеется возможность регулировки степени сжатия.
- Выходное цветное изображение может иметь 24 бита на точку.

Отрицательными сторонами алгоритма является то, что:

- При повышении степени сжатия изображение распадается на отдельные квадраты (8x8). Это связано с тем, что происходят большие потери в низких частотах при квантовании, и восстановить исходные данные становится невозможно.

- Проявляется эффект Гиббса – ореолы по границам резких переходов цветов.

- Не очень приятным свойством JPEG является также то, что нередко горизонтальные и вертикальные полосы на дисплее абсолютно не видны и могут проявиться только при печати в виде муарового узора. Он возникает при наложении наклонного раstra печати на горизонтальные и вертикальные полосы изображения. Из-за этих сюрпризов JPEG не рекомендуется активно использовать в полиграфии, задавая высокие коэффициенты. Однако при архивации изображений, предназначенных для просмотра человеком, он незаменим.

Стандартизован JPEG в 1991 году, но уже тогда существовали алгоритмы, сжимающие сильнее при меньших потерях качества. Дело в том, что действия разработчиков стандарта были ограничены мощностью существовавшей на тот момент техники.

Широкое применение JPEG долгое время сдерживалось, пожалуй, лишь тем, что он оперирует только 24-битными изображениями. Поэтому для того, чтобы с приемлемым качеством посмотреть картинку на обычном мониторе в 256-цветной палитре, требовалось применение соответствующих алгоритмов и, следовательно, определенное время. В приложениях, ориентированных на придирчивого пользователя (таких, например, как игры), подобные задержки неприемлемы. Кроме того, если имеющиеся у вас изображения, допустим, в 8-битном формате GIF перевести в 24-битный JPEG, а потом обратно в GIF для просмотра, то потеря качества произойдет дважды при обоих преобразованиях.

Несколько слов необходимо сказать о модификациях этого алгоритма. Хотя JPEG и является стандартом ISO, формат его файлов не был зафиксирован. Пользуясь этим, производители создают свои, несовместимые между собой форматы, и, следовательно, могут изменить алгоритм. Так, внутренние таблицы алгоритма, рекомендованные ISO, заменяются ими на свои собственные. Кроме того, легкая неразбериха присутствует при задании степени потерь. Например, при тестировании выясняется, что «отличное» качество, «100%» и «10 баллов» дают существенно различающиеся картинки. При этом, кстати, 100% качества не означают сжатие без потерь. Встречаются также варианты JPEG для специфических приложений.

Как стандарт ISO JPEG широко используется при обмене изображениями в компьютерных сетях. Поддерживается алгоритм JPEG в форматах Quick Time, PostScript Level 2, Tiff 6.0 и, на данный момент, занимает видное место в системах мультимедиа.

Строго говоря, JPEG обозначает рассмотренный выше алгоритм сжатия, а не конкретный формат представления графической информации. Практически любую графическую информацию можно сжать по такому алгоритму. Формат файлов, использующих алгоритм JPEG, формально называют JFIF (JPEG File Interchange Format). Однако, на практике, очень часто файлы, использующие JPEG-сжатие, называют JPEG-файлами. На основе JPEG – метода сжатия построены многочисленные форматы, например, формат TIFF/JPEG, известный как TIFF 6.0, QuickTime и др.

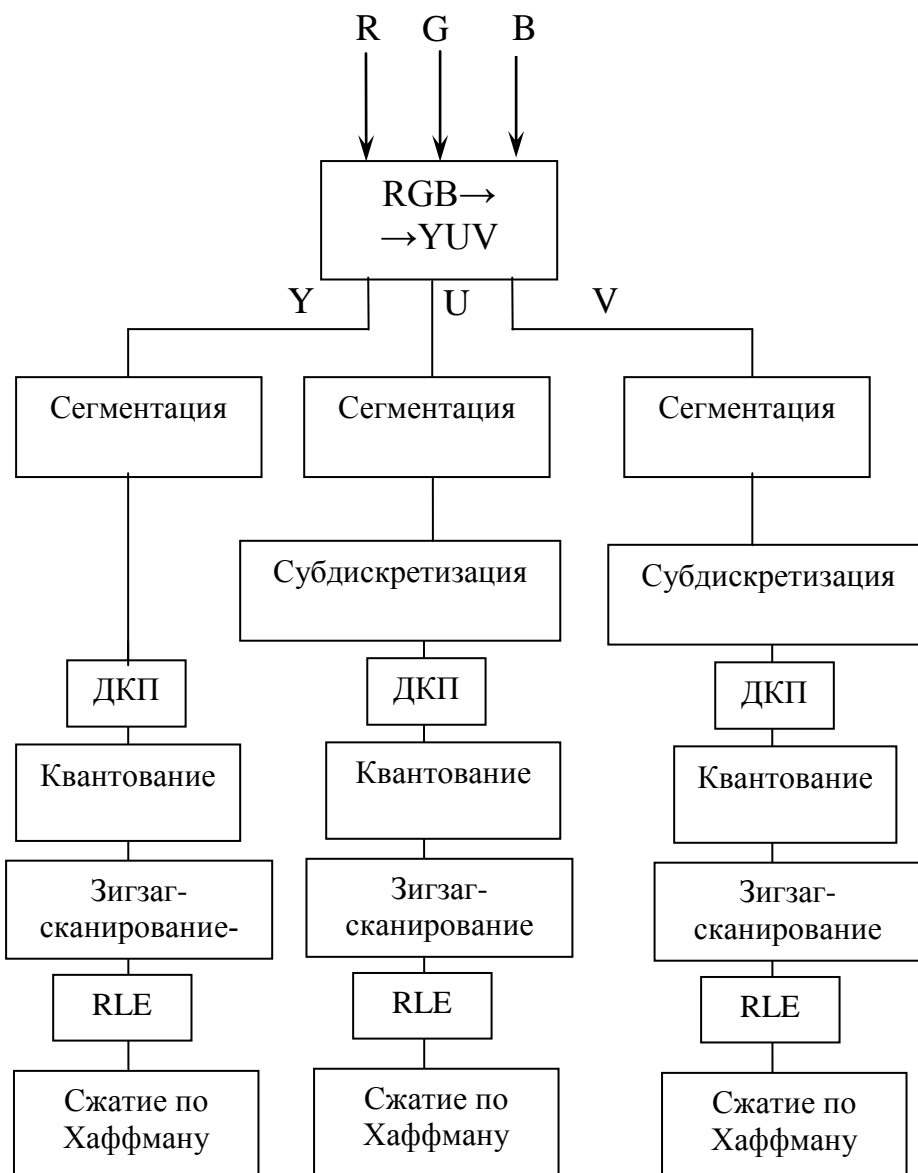


Рис. 7.2. Конвейер операций, используемый в алгоритме JPEG

JPEG обладает более высокой степенью сжатия изображений, нежели GIF, но не обладает возможностью хранить несколько изображений в одном

файле. Правда, известна модификация формата JPEG, получившая название Progressive JPEG, который предназначен для тех же задач, что и чересстрочное отображение GIF-изображений. Это сделало формат JPEG более привлекательным в качестве сетевого стандарта. Эта модификация предусматривают реализацию функциональной возможности, получившей название **этикетка**. Фактически это уменьшенная копия изображения. Этикетку можно рассматривать как своего рода аналог предложенного в формате GIF приема чересстрочной развертки изображения. То есть при наличии большого количества файлов JPEG можно выводить их на экран в виде этикеток, что позволяет отобразить их достаточно быстро или большом количестве (списком) и, тем самым, дать пользователю представление о содержимом каждого файла. Этикетки могут быть закодированы методом JPEG; сохранены в формате 1 байт/пиксель (то есть в виде полутонового изображения) или представлены в виде полноцветного изображения с 16,7 млн. цветов (24 бит/пиксель).

Заметим, что JPEG ориентирован, прежде всего, на реалистичные изображения, то есть изображения фотографической направленности, и качество сжатия значительно ухудшается при обработке изображений с четко очерченными линиями и границами цветов.

Наряду с вышесказанным необходимо отметить, что графическая анимация, черно-белые иллюстрации, документы, а также типичная векторная графика алгоритмом JPEG сжимаются, как правило, плохо.

Формат JPEG получил большое распространение в Web-публикациях для представления графических элементов Web-страницы, в тех случаях, когда требуется многоцветное качественное изображение.

### **7.3.2. Вейвлет-сжатие**

Вначале обсудим, что же собственно такое вейвлеты. Слово «wavelet», являющееся переводом на английский французского «ondelette», означает небольшие волны, следующие друг за другом. Можно без преувеличения сказать, что вейвлеты произвели революцию в области теории и практики обработки нестационарных сигналов. В настоящее время вейвлеты широко применяются для распознавания образов; при обработке и синтезе различных сигналов, например речевых, медицинских; для изучения свойств турбулентных полей и во многих других случаях.

Особо большое развитие получила практика применения вейвлетов для решения задач сжатия и обработки изображений. В этой области применение вейвлетов позволило достичь одновременного снижения сложности и повышения эффективности кодеров. В настоящее время вейвлеты являются ядром программ сжатия неподвижных (JPEG-2000) и подвижных изображений (MPEG-4). Огромный интерес к изучению теории и практики вейвлетов вызвал лавинообразный поток издающейся литературы. В настоящее время ежегодно издаются десятки книг, учебных пособий, тематических выпусков журналов, посвящен-

ных данной тематике. Теория и практика вейвлетов находится на стыке различных наук: математики, физики и т.д.

Большинство сигналов, встречающихся на практике, представлены во временной области, то есть сигнал есть функция времени. Таким образом, при отображении сигнала на графике одной из координат (независимой) является ось времени, а другой координатой (зависимой) – ось амплитуд.

Для большинства приложений обработки сигнала это представление не является наилучшим. Во многих случаях наиболее значимая информация скрыта в частотной области сигнала. Частота сигнала находится при помощи уже упомянутого нами преобразования Фурье (ПФ). В результате ПФ сигнала, заданного во временной области, получается его спектральное представление. Вместо значений времени на оси абсцисс графика сигнала будет теперь отложены значения частоты, а ось ординат будет отображать амплитуду той или иной частоты в сигнале. Напомним, что ПФ дает частотную информацию, содержащуюся в сигнале, то есть говорит о том, каково содержание каждой частоты в сигнале. Однако в какой момент времени возникла та или иная частота, когда она закончилась – на эти вопросы ответ получить не удастся. В случае если требуется временная локализация спектральных компонент, необходимо обратиться к частотно-временному представлению сигнала.

Вейвлет-преобразование и относится как раз к этому типу преобразований. Оно обеспечивает частотно-временное представление сигналов. Говоря о вейвлет-преобразовании, будем иметь в виду следующее. Пропустим сигнал через два фильтра – низкочастотный и высокочастотный (фильтры соединены параллельно). Повторим эту процедуру для выхода низкочастотного фильтра, оставив выход высокочастотного фильтра неизменным. Так, если исходный сигнал содержал частоты до 1000 Гц, то после первого этапа получим два сигнала 0...500 Гц и 500...1000 Гц, после второго этапа – три сигнала 0...250 Гц, 250...500 Гц и 500...1000 Гц и т.д. Эта операция называется декомпозицией. Декомпозиция продолжается какое-то число раз. В конечном счете, получается множество субсигналов, которое представляет исходный сигнал. Каждый субсигнал соответствует какой-то субполосе частот. Можно построить трехмерный график, отложив по одной оси время, по второй – частоту и по третьей – амплитуду. Таким образом, можно увидеть, какие частоты присутствуют в каждый интервал времени. Однако и вейвлет-преобразование не является идеалом. Дело в том, что существует закон, называемый «принципом неопределенности Гейзенберга», который гласит, что нельзя одновременно измерить частоту и время с произвольно высокой точностью. Поэтому можно лишь говорить об интервале времени и о наблюдающейся в нем частотной полосе. Это и есть, собственно, проблема разрешения анализа, решение которой невозможно в рамках преобразования Фурье. Таким образом, при вейвлет-преобразовании разрешение изменяется: на высоких частотах лучше разрешение по времени, а на низких – по частоте. Это означает, что для высокочастотной компоненты можно точнее указать ее временную позицию, а для низкочастотной – ее значение частоты.

Метод сжатия Wavelet преобразует изображение по следующему алгоритму:

- преобразование цветового пространства;
- фильтрация изображения;
- вейвлет-преобразование;
- квантование;
- кодирование.

После преобразования в цветовое пространство типа цветность/яркость исходное изображение раскладывается на две составляющие – детали (состоящие в основном из резких перепадов яркости), и сглаженную уменьшенную версию оригинала. Это достигается применением пары фильтров, причем каждая из полученных составляющих вдвое меньше исходного изображения. Как правило, используются фильтры с конечным импульсным откликом, в которых пиксели, попавшие в небольшое «окно», умножаются на заданный набор коэффициентов, полученные значения суммируются, и окно сдвигается для расчета следующего значения на выходе.

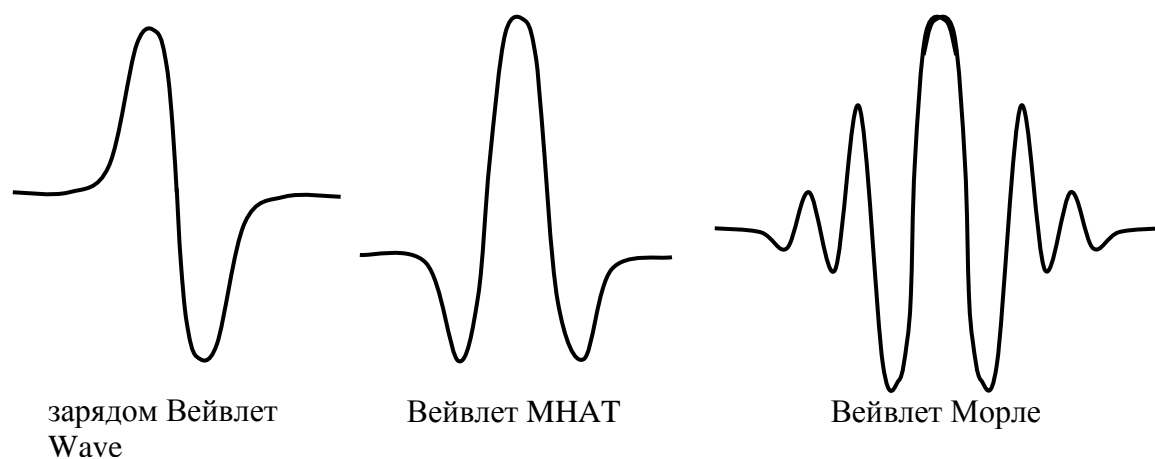


Рис. 7.3. Некоторые типы вейвлетов

Поскольку изображения двумерны, фильтрация производится и по вертикали и по горизонтали. Этот процесс повторяется многократно, причем каждый раз в качестве входа используется сглаженная версия с предыдущего шага. Так как изображения «деталей» состоят обычно из набора резких границ и не содержат обширных участков с плавно меняющейся интенсивностью, большая часть значений пикселей в промежутках между границами близка к нулю. Если допустимо пренебречь некоторым количеством мелких деталей, то все эти значения можно просто обнулить. В результате получается версия исходного изображения, хорошо поддающаяся сжатию. Для восстановления оригинала применяется такой же алгоритм, но с парой фильтров, обратной к исходным.

Для работы с различными классами изображений могут использоваться различные фильтры. Возможно, поэтому все еще не существует единого стандарта для вейвлет-сжатия. Однако для конкретных приложений такие стандарты существуют; в частности, ФБР ввело стандарт на вейвлет-сжатие изображений отпечатков пальцев. Впрочем, свобода выбора фильтров может оказаться

очень полезной в задаче сжатия: алгоритмы, основанные на принципе «наилучшего базиса», подбирают оптимальный фильтр для отдельных участков изображения, а алгоритмы, использующие вейвлет-пакеты, достигают эффективного представления деталей, варьируя глубину фильтрации на разных участках.

Результатом вейвлет-преобразования, как и дискретного косинусного преобразования, является массив числовых коэффициентов. На следующем этапе происходит квантование этого массива, и близкие к нулю коэффициенты отбрасываются. Затем массив подвергается кодированию.

Преимущество метода сжатия Wavelet перед JPEG состоит в том, что Wavelet преобразует полное изображение, а не его отдельные фрагменты, и позволяет получить качественное изображение при больших (до 100) коэффициентах сжатия. При высокой степени компрессии метод сжатия Wavelet может давать искажения, имеющие вид ряби вблизи резких границ, однако такие артефакты в среднем меньше бросаются в глаза наблюдателю, чем «мозаика», создаваемая JPEG. В 2000 году вариант сжатия методом Wavelet включен в стандарт JPEG-2000.

Еще раз подчеркнем, что вейвлет-преобразование само по себе ничего не сжимает. Оно лишь осуществляет предварительную обработку изображения, после которой эффективность обычных методов сжатия резко возрастает, причем даже при использовании универсальных алгоритмов и программ (таких, как LZW и ZIP), не адаптированных к конкретной задаче. Впрочем, использование методов кодирования, учитывающих структуру вейвлет-преобразования, может существенно повысить степень сжатия. Один из широко используемых методов такого типа – метод нуль-дерева (zero-tree compression). Он основан на предположении, что если некоторая область изображения не содержит информации на некотором уровне разрешения, то с большой вероятностью она не будет информативной и на более тонком уровне разрешения. Вейвлет-преобразование изображения можно хранить в виде дерева, корнем которого является сильно сглаженная версия оригинала, а ветви, представляющие отдельные блоки, обрываются на том уровне, где дальнейшая обработка не дает заметного уточнения. Такое дерево можно с успехом сжать обычными методами типа хатфмановского или арифметического кодирования, которые используются почти во всех алгоритмах сжатия.

Если вас смущает такое научное объяснение механизма вейвлетного сжатия, подойдем к этой проблеме с другой стороны и попытаемся раскрыть ту же проблему, что называется, «на пальцах».

В изображениях из реального мира (фотографиях, например) значения яркости редко бывают одинаковыми даже у соседних пикселей. Всегда есть мельчайшие колебания, которые неуловимы человеческим глазом, но которые алгоритм сжатия честно пытается учесть.

Алгоритмы сжатия «любят», когда в данных есть закономерность. Лучше всего сжимаются длинные последовательности нулей (закономерность тут очевидна). В самом деле, вместо того, чтобы записывать в память 100 нулей, мож-

но записать просто число 100 (конечно, с пометкой, что это именно количество нулей). Декодирующая программа «поймёт», что имелись в виду нули и воспроизведёт их.

Однако если в нашей последовательности в середине вдруг окажется единица, то одним числом 100 ограничиться не удастся. Но зачем кодировать абсолютно все детали? Ведь когда мы смотрим на фотографию, нам важен общий рисунок, а незначительные колебания яркости мы и не заметим. А значит, при кодировании мы можем немного изменить изображение так, чтобы оно хорошо кодировалось. При этом степень сжатия сразу вырастет. Правда, декодированное изображение будет незначительно отличаться от исходного, но кто заметит?

Итак, наша цель – преобразовать изображение так, чтобы оно хорошо сжималось классическими алгоритмами. Подумаем, как нужно изменить его, чтобы получить длинные цепочки нулей.

У «реальных» изображений, таких как фотографии, есть одна особенность – яркость соседних пикселей обычно отличается на небольшую величину. В самом деле, в мире редко можно увидеть резкие, контрастные перепады яркости. А если они и есть, то занимают лишь малую часть изображения.

Предположим, что фрагмент яркости какой-то строки изображения выглядит как: 154, 155, 156, 157, 157, 157, 158, 156.

Видно, что соседние числа очень близки. Чтобы получить желаемые нули или хотя бы что-то близкое к ним, можно закодировать отдельно первое число, а потом рассматривать лишь отличия каждого числа от предыдущего. Получаем: 154, 1, 1, 1, 0, 0, 1, -2.

Уже лучше! Такой метод в самом деле используется и называется дельтакодированием. Но у него есть серьёзный недостаток – он нелокальный. То есть нельзя взять кусочек последовательности и узнать, какие именно яркости в нём закодированы без декодирования всех значений перед этим кусочком.

Попробуем поступить иначе. Не будем пытаться сразу получить хорошую последовательность, попробуем улучшить её хотя бы немного. Для этого разобьём все числа на пары и найдём полусуммы и полуразности значений в каждой из них:

$$(154, 155), (156, 157), (157, 157), (158, 156) \\ (154.5, 0.5), (156.5, 0.5), (157, 0.0), (157, -1.0).$$

Почему именно полусуммы и полуразности? А всё очень просто! Полусумма – это среднее значение яркости пары пикселей. А полуразность несёт в себе информацию об отличиях между значениями в паре. Очевидно, зная полусумму  $a$  и полуразность  $d$ , можно найти и сами значения: первое значение в паре  $= a - d$ , второе значение в паре  $= a + d$ . Это преобразование было предложено в 1909 году Альфредом Хааром и носит его имя.

А где же сжатие? Полученные числа можно перегруппировать по принципу «мухи отдельно, котлеты отдельно», разделив полусуммы и полуразности: 154.5, 156.5, 157, 157; 0.5, 0.5, 0.0, -1.0.

Числа во второй половине последовательности как правило будут не большими (то, что они не целые, пусть пока не смущает). Почему так? Как мы уже выяснили раньше, в реальных изображениях соседние пиксели редко отличаются друг от друга значительно. Если значение одного велико, то и другого велико. В таких случаях говорят, что соседние пиксели коррелированы. Все точки выстраиваются вдоль одной прямой линии. И так практически во всех реальных изображениях. Верхний левый и нижний правый углы изображения практически всегда пусты. Видно, что полуразности находятся в гораздо более узком диапазоне значений. А это значит, что на них можно потратить меньше одного байта. Какое-никакое, а сжатие.

Полученные полусуммы – это, как мы уже выяснили, средние значения в парах пикселей. То есть, фактически, значения полусумм – это уменьшенная копия исходного изображения! Уменьшенная потому, что полусумм в два раза меньше, чем исходных пикселей.

Но что такое разности? Полусуммы усредняют значения яркостей, то есть «отфильтровывают» случайные всплески значений. Можно считать, что это некоторый частотный фильтр. Аналогично, разности «выделяют» среди значений межпиксельные «всплески» и уstraняют константную составляющую. То есть они «отфильтровывают» низкие частоты.

Таким образом, преобразование Хаара – это пара фильтров, разделяющих сигнал на низкочастотную и высокочастотную составляющие. Чтобы получить исходный сигнал, нужно просто снова объединить эти составляющие.

Что нам это даёт? Пусть у нас есть фотография-портрет. Низкочастотная составляющая несёт в себе информацию об общей форме лица, о плавных перепадах яркости. Высокочастотная – это шум и мелкие детали. Обычно, когда мы смотрим на портрет, нас больше интересует низкочастотная составляющая, а значит, при сжатии часть высокочастотных данных можно отбросить. Тем более что, как мы выяснили, она обычно имеет меньшие значения, а значит, более компактно кодируется. Степень сжатия можно увеличить, применяя преобразование Хаара многократно. В самом деле, высокочастотная составляющая – это всего лишь половина от всего набора чисел. Но что мешает применить нашу процедуру ещё раз к низкочастотным данным? После повторного применения, высокочастотная информация будет занимать уже 75%.

### 7.3.3. Фрактальное сжатие

Как упоминалось в первой главе, рождение фрактальной геометрии обычно связывают с выходом в 1977 г. книги Б. Мандельброта «Фрактальная геометрия природы». Одна из основных идей книги заключалась в том, что средствами традиционной геометрии чрезвычайно сложно представить природные объекты. Фрактальная геометрия задает их очень просто. В 1981 г. Джон Хатчинсон опубликовал статью «Фракталы и самоподобие», в которой была представлена теория построения фракталов с помощью системы итерированных функций ((Iterated Function System –IFS)). Четыре года спустя появилась статья



Майкла Барнсли и Стефана Демкса, в которой приводилась уже достаточно стройная теория IPS. В 1987 г. Барнсли основал Iterated Systems, компанию, основной деятельностью которой является создание новых алгоритмов и ПО с использованием фракталов. Всего через год он выпустил фундаментальный труд «Фракталы повсюду». Помимо описания IPS, в ней был получен результат, известный сейчас как Collage Theorem, который лежит в основе математического обоснования идеи фрактальной компрессии.

Если построение изображений с помощью фрактальной математики можно назвать прямой задачей, то построение по изображению итерирующих функций – это обратная задача. Довольно долго она считалась неразрешимой, однако Барнсли построил соответствующий алгоритм, и в 1990 и 1991 гг. эта идея была защищена патентами.

Первая статья об успехах Барнсли в области компрессии появилась в журнале BYTE в январе 1988 г. В ней не описывалось решение обратной задачи, но приводилось несколько изображений, сжатых с коэффициентом 1:10 000, что было совершенно ошеломительно. Но практически сразу было отмечено, что, несмотря на броские названия («Темный лес», «Побережье Монтере», «Поле подсолнухов»), изображения в действительности имели искусственную природу. Это вызвало массу скептических замечаний, подогреваемых еще и заявлением Барнсли о том, что «среднее изображение требует для сжатия порядка 100 часов работы на мощной двухпроцессорной рабочей станции, причем с участием человека».

Отношение к новому методу изменилось в 1992 г., когда Арнауд Джеквин описал практический алгоритм и опубликовал его. Этот алгоритм был крайне медленным и не претендовал на компрессию в 10000 раз, но его несомненным достоинством было то, что вмешательство человека удалось полностью исключить. Сегодня все известные программы фрактальной компрессии базируются на алгоритме Джеквина.

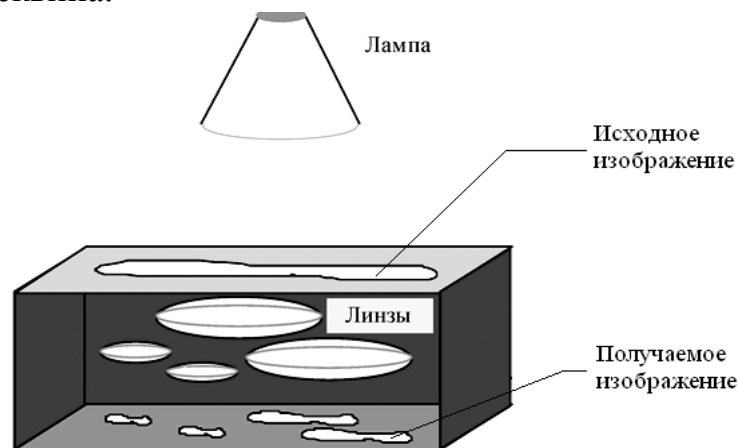


Рис. 7.4. Машина Барнсли

Идея метода фрактальной архивации основана на том, что мы представляем изображение в более компактной форме – с помощью коэффициентов системы итерируемых функций IFS. Строго говоря, IFS представляет собой набор

трехмерных аффинных преобразований, в нашем случае переводящих одно изображение в другое. Преобразованию подвергаются точки в трехмерном пространстве (координата  $X$ , координата  $Y$ , яркость).

Наиболее наглядно этот процесс продемонстрировал Барнсли, введя понятие Фотокопировальной Машины (рис. 7.4), состоящей из экрана, на котором изображена исходная картинка, и системы линз, проецирующих изображение на другой экран:

- Линзы могут проецировать часть изображения произвольной формы в любое другое место нового изображения.
- Области, в которые проецируются изображения, не пересекаются.
- Линза может менять яркость и уменьшать контрастность.
- Линза может зеркально отражать и поворачивать свой фрагмент изображения.
- Линза должна уменьшать (масштабировать) свой фрагмент изображения.

Расставляя линзы и меняя их характеристики, мы можем управлять получаемым изображением. Одна итерация работы Машины заключается в том, что по исходному изображению с помощью проектирования строится новое, после чего новое берется в качестве исходного. Утверждается, что в процессе итераций мы получим изображение, которое перестанет изменяться. Оно будет зависеть только от расположения и характеристик линз и не будет зависеть от исходной картинки. Это изображение называется «неподвижной точкой» или аттрактором данной IFS. Соответствующая теория гарантирует наличие ровно одной неподвижной точки для каждой IFS.

Поскольку отображение линз является сжимающим, каждая линза в явном виде задает самоподобные области в нашем изображении. Благодаря самоподобию, мы получаем сложную структуру изображения при любом увеличении. Таким образом, интуитивно понятно, что система итерируемых функций задает фрактал как самоподобный математический объект.

Наиболее известны два изображения, полученных с помощью IFS: треугольник Серпинского и папоротник Барнсли описанные в первой главе. Треугольник Серпинского задается тремя, а папоротник Барнсли четырьмя аффинными преобразованиями (или, в нашей терминологии, «линзами»). Каждое преобразование кодируется буквально считанными байтами, в то время как изображение, построенное с их помощью, может занимать и несколько мегабайт.

Из вышесказанного становится понятно, как работает архиватор, и почему ему требуется так много времени. Фактически, фрактальная компрессия – это поиск самоподобных областей в изображении и определение для них параметров аффинных преобразований.

В худшем случае, если не будет применяться оптимизирующий алгоритм, потребуется перебор и сравнение всех возможных фрагментов изображения разного размера. Даже для небольших изображений при учете дискретности мы получим астрономическое число перебираемых вариантов. Причем даже резкое сужение классов преобразований, например, за счет масштабирования только в определенное количество раз, не дает заметного выигрыша во времени. Кроме

того, при этом теряется качество изображения. Подавляющее большинство исследований в области фрактальной компрессии сейчас направлены на уменьшение времени архивации, необходимого для получения качественного изображения.

**Оценка потерь и способы их регулирования.** До сих пор мы не затронули несколько важных вопросов. Например, что делать, если алгоритм не может подобрать для какого-либо фрагмента изображения подобный ему? Достаточно очевидное решение – разбить этот фрагмент на более мелкие и попытаться поискать для них. Однако понятно, что процедуру эту нельзя повторять до бесконечности, иначе количество необходимых преобразований станет так велико, что алгоритм перестанет быть алгоритмом компрессии. Следовательно, допускаются потери в какой-то части изображения.

Для фрактального алгоритма компрессии, как и для других алгоритмов сжатия с потерями, очень важны механизмы, с помощью которых можно будет регулировать степень сжатия и степень потерь. К настоящему времени разработан достаточно большой набор таких методов. Во-первых, можно ограничить количество преобразований, заведомо обеспечив степень сжатия не ниже фиксированной величины. Во-вторых, можно потребовать, чтобы в ситуации, когда разница между обрабатываемым фрагментом и наилучшим его приближением будет выше определенного порогового значения, этот фрагмент дробился обязательно (для него обязательно устанавливается несколько линз). В-третьих, можно запретить дробить фрагменты размером меньше, допустим, четырех точек. Изменяя пороговые значения и приоритет этих условий, можно очень гибко управлять коэффициентом компрессии изображения: от побитного соответствия до любой степени сжатия.

**Возможности масштабирования.** Итак, мы выяснили, что IFS задает фрактальную структуру, сколь угодно близкую к исходному изображению. При внимательном рассмотрении процесса построения изображения с ее помощью становится понятно, что восстанавливаемое изображение может иметь любое (!) разрешение. В самом деле, возвращаясь к аналогии с Фотокопировальной Машиной, можно сказать, что нам не важно, до какой сетки растра будет округляться установившееся неподвижное изображение. Ведь Машина работает вообще с непрерывными экранами.

На этапе архивации проводится распознавание изображения, и в виде коэффициентов хранится уже не растровая информация, а информация о структуре самого изображения. Именно это и позволяет при развертывании увеличивать его в несколько раз. Особенно впечатляют примеры, в которых при увеличении изображений природных объектов проявляются новые детали, действительно этим объектам присущие (например, когда при увеличении фотографии скалы она приобретает новые, более мелкие неровности).

Масштабирование – уникальная особенность, присущая фрактальной компрессии. Со временем ее, видимо, будут активно использовать как в специальных алгоритмах масштабирования, так и во многих приложениях.

**Сравнение с JPEG.** Как уже отмечалось, в настоящее время наиболее распространенным алгоритмом архивации графики является JPEG. Сравним его с фрактальной компрессией.

Во-первых, заметим, что и тот, и другой алгоритм оперируют 8-битными (в градациях серого) и 24-битными полноцветными изображениями. Оба являются алгоритмами сжатия с потерями и обеспечивают близкие коэффициенты архивации. И у фрактального алгоритма, и у JPEG существует возможность увеличить степень сжатия за счет увеличения потерь. Кроме того, оба алгоритма очень хорошо распараллеливаются, что увеличивает скорость обработки.

Различия начинаются, если мы рассмотрим время, необходимое алгоритмам для архивации/разархивации. Так, фрактальный алгоритм сжимает в сотни и даже в тысячи раз дольше, чем JPEG. Распаковка изображения, наоборот, произойдет в 5...10 раз быстрее. Поэтому, если изображение будет сжато только один раз, а передано по сети и распаковано множество раз, то выгодней использовать фрактальный алгоритм.

JPEG использует разложение изображения по косинусоидальным функциям, поэтому потери в нем (даже при заданных минимальных потерях) проявляются в волнах и ореолах на границе резких переходов цветов. Именно за этот эффект его не любят использовать при сжатии изображений, которые готовят для качественной печати: там этот эффект может стать очень заметен.

Фрактальный алгоритм избавлен от этого недостатка. Более того, при печати изображения каждый раз приходится выполнять операцию масштабирования, поскольку растр (или линиатура) печатающего устройства не совпадает с растром изображения. При преобразовании также может возникнуть несколько неприятных эффектов, с которыми можно бороться либо масштабируя изображение программно (для дешевых устройств печати типа обычных лазерных и струйных принтеров), либо снабжая устройство печати своим процессором, винчестером и набором программ обработки изображений (для дорогих фото-наборных автоматов). Как можно догадаться, при использовании фрактального алгоритма таких проблем практически не возникает.

Вытеснение алгоритма JPEG фрактальным алгоритмом в повсеместном использовании произойдет еще не скоро (хотя бы в силу низкой скорости архивации последнего), однако в области приложений мультимедиа, в компьютерных играх его использование вполне оправдано.

**Проблемы с патентами.** Проблема, с которой приходится сталкиваться при реализации алгоритма фрактальной компрессии, – проблема лицензирования. На алгоритмы фрактальной компрессии в 1990 году Майкл Барнсли и Алан Слоан получили патент, а в 1991 году Барнсли получил второй патент. Сложно сказать, как повлияет это патентование на дальнейшую судьбу алгоритма. Пока мы имеем несколько примеров, когда патенты играли негативную роль. Например, принадлежность компании IBM девяти патентов на различные модификации арифметического кодирования помешало использованию его в алгоритме JPEG. В конце концов, оно было заменено кодированием по Хаффману.

Известный в свое время судебный процесс по поводу MS DOS 6.0 был спровоцирован незаконным использованием корпорацией Microsoft алгоритма LZRW1, правами на который обладает компания Stac. Интересно, что правами на такой же алгоритм обладает и фирма Gibson&Graybill, поскольку патентное бюро США не смогло в свое время установить, что выдает патент на очень похожий алгоритм.

На довольно простое RLE-сжатие в свое время было выдано три (!) патента. Их текст рассматривается как анекдот, но, тем не менее, если вам в голову пришло нечто схожее, то при реализации алгоритма в коммерческой программе надо быть очень осторожным.

## ГЛАВА 8. УСТРОЙСТВА ВВОДА ИНФОРМАЦИИ

Устройства ввода информации – это устройства, которые переводят информацию с языка человека на машинный язык.

К устройствам ввода информации относятся следующие устройства:

- клавиатура;
- координатные устройства ввода (мышь, тачпад);
- сканеры;
- цифровые фотокамеры;
- дигитайзеры.

### 8.1. Клавиатура

Традиционный персональный компьютер трудно представить без клавиатуры, которая стала совершенно привычным устройством для всех пользователей. Это неудивительно, ведь современная человеческая цивилизация основана на письменности, и поэтому ввод текстовой информации можно отнести к числу тех функций, без которых вычислительное устройство общего назначения никак не может обойтись. Более того, для тех пользователей, которые только начинают изучение персонального компьютера, клавиатура является первым устройством, которое им требуется освоить. Иными словами, для компьютера клавиатура представляет примерно то же самое, что и руль для автомобиля.

От качества клавиатуры во многом зависит удобство и эффективность работы за компьютером. Практика показывает, что неисправная или неудобная клавиатура может принести пользователю ничуть не меньше головной боли, чем медленный процессор и небольшой объем памяти компьютера.

Типичная клавиатура компьютера имеет набор клавиш, на которых изображены символы, включающие буквы, цифры, знаки препинания, а также условные знаки, обозначающие специальные операции. Помимо буквенных и цифровых клавиш на клавиатуре присутствует и ряд служебных клавиш. К числу последних относятся клавиши, предназначенные для редактирования текста, клавиши, ответственные за переключение режимов работы клавиатуры, функциональные клавиши, обычно использующиеся для управления компьютером, а

также клавиши управления курсором. Как правило, клавиши, выполняющие схожие функции, на клавиатурах объединены в отдельные группы или блоки.

В современных клавиатурах обычно встречаются два типа основных блоков – это алфавитно-цифровой блок, расположенный в левой её части, и специализированный цифровой блок, имеющий в своем составе лишь цифровые клавиши. Данный блок, как правило, располагается в правой части клавиатуры, а его выключение и включение осуществляется при помощи специальной клавиши NumLock.

Отдельный небольшой блок составляют четыре клавиши управления курсором. Они могут использоваться как для перемещения собственно курсора, так и самого содержимого экрана. Для включения и выключения режима перемещения содержимого экрана служит специальная клавиша Scroll Lock. Кроме того, практически во всех клавиатурах в отдельный блок, располагающийся над основным алфавитно-цифровым блоком, выделены функциональные клавиши.

Первые клавиатуры для персональных компьютеров были, естественно, рассчитаны в основном на американских пользователей и поэтому имели лишь латинские буквы, а также служебные знаки. Впоследствии появились и те, которые были рассчитаны на два типа алфавита, например, на латиницу и кириллицу. Переключение между шрифтами осуществляется на клавиатуре при помощи специальной комбинации клавиш, которую обычно можно изменять программным путем. На клавиатуре также присутствуют служебные клавиши, которые позволяют набирать символы в регистре прописных букв или вводить знаки препинания.

Сейчас на рынке можно встретить различные виды клавиатур, которые могут отличаться по следующим параметрам:

- интерфейс подключения;
- принцип работы;
- раскладка клавиатуры;

На сегодняшний день существует два основных способа подключения внешних клавиатур – при помощи шины USB или разъема типа PS/2. Кроме того, многие клавиатуры можно подключить к обоим типам разъемов.

Существуют также и беспроводные клавиатуры. Очевидная разница между беспроводной клавиатурой и обычной состоит в том, что беспроводная использует инфракрасные лучи для передачи данных на компьютер, в отличие от простой клавиатуры, использующей провода. Когда вы печатаете, данные при помощи специального луча передаются с клавиатуры на специальное принимающее устройство компьютера. Самое большое преимущество этого состоит в том, что на один уменьшается количество проводов за вашим столом. Многие люди предпочитают иметь беспроводную мышку, наряду с клавиатурой.

А есть и встроенные клавиатуры, используемые в основном в ноутбуках.

## Принцип работы клавиатур

Что касается технологий, лежащих в основе работы клавиатур, то их насчитывается великое множество. Однако реально существует только два типа клавиатур, которые различаются механизмом работы клавиш: мембранные и механические.

**Устройство мембранной клавиатуры.** Мембранная клавиатура является самой распространенной из всех, по причине низкой стоимости изготовления и относительно невысокого уровня шума, издаваемого клавишами при наборе. Принцип действия довольно прост, при нажатии одной из клавиш замыкаются контактные мембраны в форме диска, расположенные на пластиковой пленке, сложенной как бы в два слоя (по одной мембране на каждый слой).

Между этими слоями находится еще один – слой, изолирующий контакты верхнего и нижнего слоев. За возврат клавиш отвечает резиновый «купол», вот откуда «бесшумность» клавиатур такого типа.

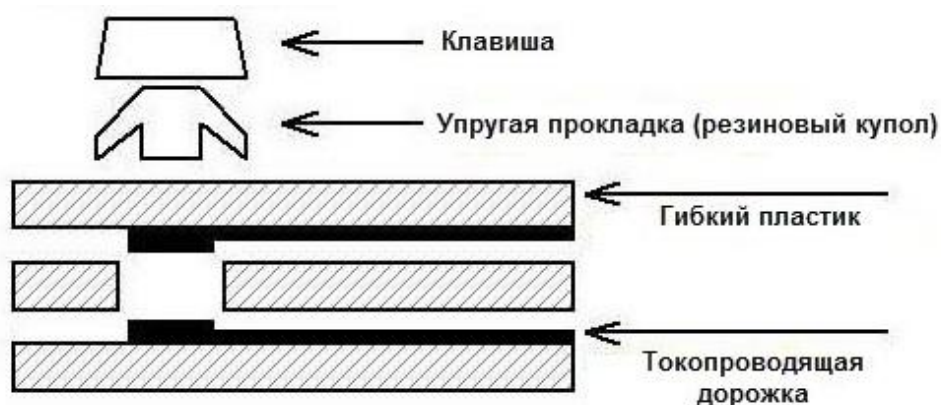


Рис. 8.1. Устройство мембранной клавиатуры

Кстати, использование резинового «купола» вместо классической пружины, позволяет еще и повысить надежность, такие клавиатуры достаточно герметичны, что возможно избавит вас от покупки новой в том случае, если на нее случайно прольется кофе. Из недостатков такого типа клавиатур можно отметить относительно малый ресурс (в среднем 10 млн. нажатий – около 5 лет работы), а также «эффект усталости», когда нажимать клавиши становится все легче.

А что насчет полумеханических клавиатур? В клавиатурах этого типа вместо обычных контактов используются более долговечные металлические контакты, размещенные на печатной плате. Однако, как и прежде, здесь за возврат клавиш в начальное положение отвечает все тот же резиновый купол. Получается, что эффект «усталости» клавиш здесь также присутствует во всей «красе». Но в целом, такие устройства более надежны, скажем так – они средние по надежности, но и цена на них тоже средняя, уже не такая низкая, как на клавиатуры мембранного типа. Таким образом, скрестив «ужа с ежом», полу-

чили хорошо сбалансированную по всем характеристикам клавиатуру, на нее и кофе пролить не так страшно, и шумит она не сильно.

**Механическая клавиатура.** Главное отличие механической клавиатуры от мембранной заключается в том, что за возврат клавиш отвечает пружина. Подобное решение призвано повысить долговечность работы и улучшить тактильные ощущения при наборе, особенно при быстром наборе, например, все тем же десятипальцевым «слепым» методом печати. Соответственно про «усталость» клавиш говорить не приходится, здесь таковой эффект отсутствует полностью.

Все контакты в механических клавиатурах выполнены из металла, но существуют разновидности с позолоченными контактами. О надежности вы сможете судить по приблизительному сроку службы таких клавиатур, который составляет от 50 (для обычных) до 100 (для позолоченных контактов) млн. нажатий. Так как в конструкции таких клавиатур отсутствует резиновый купол, его роль выполняют специальные переключатели, коих существует великое множество. Самые популярные из них – переключатели с названием «Cherry», которых, в свою очередь, тоже несколько типов, и все они отличаются тем, что по-разному замыкают контакты.

Кстати, по сравнению с мембранными, механические клавиатуры намного быстрее реагируют на нажатия, и за счет того, что вам не приходится нажимать клавишу до упора вниз, получается, что печатаете вы быстрее, а энергии на это все тратите меньше. Но и это еще далеко не все.

Очень часто клавиатуры имеют так называемую «тактильную отдачу», это когда вы при нажатии ощущаете, как кнопки нажимаются, не глядя чувствуете, на каком расстоянии от пальцев они находятся и с какой силой их надо нажимать – грубо говоря, просто «чувствуете» свою клавиатуру. Для «слепого» набора это очень важно. Так вот, в мембранной клавиатуре тактильная отдача со временем становится не такой же, как в начале, играет роль тот самый эффект «усталости» клавиш, а в механической – не изменится.

Многие механические переключатели издают громкий «щелкающий» звук. Это помогает регистрировать нажатия не только тактильным ощущением, но и звуком. Но многих это раздражает, поэтому в некоторых клавиатурах такого звука нет.

Ну а теперь немного «дегтя». Механические клавиатуры тяжелее мембранных, за счет того, что в конструкции используются тяжелые материалы. Например, все клавиши могут быть вмонтированы в металлическую пластину, что не только добавляет веса, но и увеличивает стоимость самой клавиатуры.



А отсутствие резиновых элементов в конструкции приводит к потере герметичности, хотя есть модели с защитой от жидкостей, но стоимость их, откровенно говоря, зашкаливает.

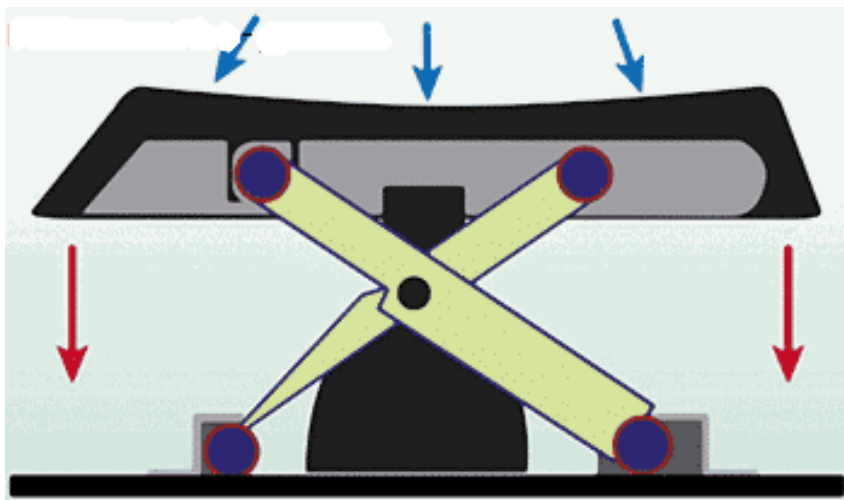


Рис. 8.2. Устройство мембранной клавиатуры ножничного типа

Есть еще мембранные клавиатуры с **ножничным механизмом** клавиш, это те, что используются в ноутбуках, но можно и приобрести такую для обычного ПК. Позиционируются они как разновидность мембранных клавиатур, но при этом обеспечивают более ровный вертикальный ход клавиш и отсутствие заеданий.

Достигается это все за счет того, что клавиши закрепляются с помощью двух пластиковых деталей (креплений), образующих «ножницы». Благодаря такому механизму, достигается равномерность нажатия, то есть становится не так важно, в какую часть клавиши вы нажмете, в центр или ее край, четкость нажатия все равно останется на высоте.

Было бы несправедливо не упомянуть еще два вида технологий, которые встречаются достаточно редко. Это – емкостная клавиатура, в которой на плате нанесены два проводника, на толкателе расположен третий. Эти три проводника являются, по сути, двумя последовательно соединёнными конденсаторами. Клавиатура реагирует не на замыкание, а на изменение ёмкости и потому срабатывает при неполном нажатии.

И еще один вид – так называемая магнитная клавиатура, в которой используется геркон или эффект Холла. Отличаются они от всех видов наличием герконов. Герконы реагируют на изменения магнитного поля и тем самым замыкают свои контакты. Клавиши в такой клавиатуре работают очень мягко. Благодаря герконам, контакты никогда не стираются, поэтому она считается самой долговечной. Единственное, чего она не переносит, так это наличие возле нее мобильных телефонов, или других источников магнитного поля. На сегодняшний день, такие устройства ввода считаются одними из самых надежных. Чаще всего они используются в критичных местах наподобие АЭС и самолётных кабин.

Ну и в завершении, хотелось бы рассказать про «гибкие» клавиатуры. Все видели героев-хакеров в кино, которым в очередной раз, выполняя задание по спасению мира, приходилось что-то обезвреживать или взламывать, при этом они доставали клавиатуру буквально из кармана, разворачивали ее и спокойно работали. Так вот, это никакая не выдумка режиссера – такие клавиатуры действительно существуют. И, как и в случае с ножничными клавиатурами, гибкие – это просто разновидность мембранных клавиатур. Такие клавиатуры, как правило, обтянуты в герметичный корпус, например, из силикона, что позволяет мыть ее под краном, например, или сворачивать в трубочку.

Однако отсутствие жесткого корпуса не позволяет долго работать за такой клавиатурой, не испытывая при этом больших неудобств. Скорее всего, они сгодятся как «походный» вариант, либо для того, чтобы пошутить над кем-нибудь.

### Раскладки клавиатур

Расположение букв на компьютерной клавиатуре – это наследие печатных машинок, которые появились в XIX веке.

Принцип работы такой машинки прост. При ударе пальцем по клавише с буквой приводится в действие рычаг (молоточек) с литой матрицей этой буквы на вершине. Он ударяет по ленте, пропитанной чернилами и расположенной между бумагой и молоточком, и оставляет, таким образом, отпечаток на бумаге.

На первых печатных машинках, изобретенных Кристофером Шоулсом, буквы на клавишах располагались в алфавитном порядке, в два ряда. Кроме того, печатать можно было исключительно заглавными буквами, а цифр 1 и 0 вообще не было. Их с успехом заменяли буквы I и O. Поначалу это всех устраивало. Однако со временем скорость печати становилась все больше, и тогда у таких машинок выявилась серьезная проблема: отдельные молоточки не успевали возвращаться на свое место и постоянно сцеплялись друг с другом. Очень часто попытки их разъединить приводили к поломке машинок.

А произошло это потому, что в английском алфавите очень много соседствующих букв, которые используются чаще других (например, p-r, n-o). В результате часто получалось так, что соседние клавиши нажимались одна за другой, что приводило к сцеплению и заклиниванию молоточков.

Производители печатных машинок сделали выводы и разработали клавиатуру, в которой часто встречающиеся в текстах буквы были размещены подале от указательных пальцев. Так появилась знаменитая раскладка клавиатуры QWERTY (по первым литерам верхнего ряда слева направо), которая используется до сих пор в 98% клавиатур. Она и перекочевала на клавиатуры компьютеров, хотя на них проблемы сцепления рычагов (молоточков) вообще не существует.

Раскладка QWERTY, однако, за долгую жизнь свою не стала безоговорочным монополистом на «рынке раскладок». Существуют как минимум пять

альтернативных клавиатурных латиниц. Ими пользуются, к ним привыкают с младых лет. Американец, печатающий быстро и вслепую, удивится, сколько он наделал ошибок, работая на чужом компьютере в Вене или Париже. Нестандартные раскладки имеют полное право на существование и заслуживают чуточки внимания.

**AZERTY.** Раскладка клавиатуры AZERTY названа по первым 6 буквам в левом верхнем углу клавиатуры. AZERTY – достояние франкофонов Европы и Африки. В конце 19-го века французы, познакомившись с Ремингтонами из США, стали думать о национальной гордости и собственной клавиатуре для океанских пишущих трещоток. Основные отличия этой раскладки от раскладки QWERTY заключаются в том, что в ней переставлены клавиши A и Q, Z и W. Кроме того, во французской раскладке во втором ряду букв вместо двоеточия и точки с запятой находится буква «M». А цифры, словно в советской печатной машинке, помещены в верхний регистр.

**QWERTZ.** Звучит по-немецки и соответствует германскому духу название клавиатурной раскладки QWERTZ. На макбуке, купленном в Берлине, Вене или Праге, обязательно будет такой порядок букв в верхнем ряду. У нас эту раскладку именуют просто – «немецкая». Можно было назвать и «албанской», учитывая, что там она тоже используется.

Причина перестановки Y и Z заключается в том, что буква Z в языке немцев и австрийцев встречается гораздо чаще, чем Y, и, работая с американской клавиатурой, пришлось бы её набирать мизинцем, что непрактично и вредно. Приятней было видеть её рядом с T – поскольку дифтонг tz есть гордость немецкого языка. Кроме того, в раскладке присутствуют дополнительные буквы германской азбуки.

**DVORAK.** Можно подумать, что dvorak – очередная стандартная-нестандартная последовательность клавиш, но это просто фамилия изобретателя Августа Дворака, психолога и педагога из Сиэтла (США), являющегося родственником великого композитора Антонина Дворжака.

Клавиатурная раскладка Дворака (PYFGCRL) – это воплощение дилеммы приятного и полезного, битва привычки с инновацией. Запатентовав её в 1936 году, бородатый изобретатель объяснил, что считает QWERTY неэкономичной и неудобной. Ряд научных экспериментов с участием трёх тысяч школьников и студентов подтвердил, что новая клавиатура с появлением электрических пишущих машинок действительно выглядит более эффективной – пальцы машинисток гораздо меньше устают, на ней удобно набирать разные скобочки.

Люди, пользующиеся раскладкой «QWERTY», набирают в основном ряду, втором, всего 32% символов, а Дворак сделал так, чтобы было семьдесят. Так кисти рук меньше утомляются. Кроме того, американец учёл, что большинство людей на Земле – правши. Поэтому при работе с раскладкой Дворака больше половины символов набирается правой рукой, заодно и скорость набора возрастает до рекордных значений.

Нагрузка на руки при этом получается более сбалансированной. Посудите сами: за 8-часовой рабочий день наши пальцы проделывают на клавиатуре

Дворака путь около 2 км, в то время как на традиционной клавиатуре QWERTY этот же показатель составляет уже 7 километров. Соответственно и скорость печати на клавиатуре Дворака в 2 раза выше по сравнению с клавиатурой QWERTY.

Однако столь эргономичной, казалось бы, раскладке не суждено было победить то, к чему успели привыкнуть утомленные машинистки и работники телеграфа.

**COLEMAK.** Клавиатура Колемак – это продолжение концепции Дворака применительно к реалиям компьютерного века. И это – компромисс между DVORAK и QWERTY-образными раскладками, с равномерной нагрузкой для всех пальцев.

Изобрел COLEMAK в 2006 году Шай Коулмен, имя раскладки основано на смешении фамилий Коулмена и Дворака. Первая её фишка – это отсутствие ненавистного «КАПС ЛОКа». Вместо оной – дополнительная клавиша Backspace, для тех, кто не только хочет быстро печатать (а Колемак позволяет это делать), но и быстро исправлять ошибки левой ногой, простите, мизинцем. Данная эргономичная раскладка отличается от стандартной всего в 17 местах, притом, что почти все спецсимволы остались на своих, и поэтому Колемак еще называют Двораком для программистов.

**MALTRON.** На первый взгляд клавиатура Мальтрон может показаться замороженной и сложной. Блоки с буквенными символами разнесены в разные стороны, а по центру взгроможден Numpad. Всё какое-то космическое, словно в старой ламповой фантастике.

При этом MALTRON служит совершенно земным благим нуждам – эта клавиатура и раскладка к ней придуманы в 1970-х годах для профилактики повторяющегося растяжения («туннельного синдрома»), из-за которого у людей, много и регулярно печатающих, развиваются неприятности с работой пальцев, кисти и запястья в целом, которые перерастают в хронические профессиональные заболевания.

Как же обстоят дела с русской клавиатурой? Почему на ней буквы расположены именно в таком порядке, а не иначе? Дело в том, что в России печатные машинки, как и все технические новинки, появились гораздо позже, чем на Западе. К этому моменту многие конструктивные недоработки были уже устранены. И русская клавиатура изначально разрабатывалась как эргономичная, то есть с удобным и рациональным расположением клавиш. Под самыми сильными и быстрыми указательными пальцами были размещены наиболее часто используемые буквы, а под слабыми безымянными пальцами и мизинцами – более редкие.

В русской компьютерной письменности в настоящее время используются две раскладки клавиатуры: QWERTY (ЙЦУКЕН) и «фонетическая» раскладка. Считается, что раскладка ЙЦУКЕН далека от оптимальной при печати слепым десятипальцевым методом:

- нагрузка по пальцам распределяется неравномерно, из-за чего одни пальцы «пробегают» по клавиатуре большие расстояния, чем другие;

- приходится часто гнуть пальцы, так как основной «домашний» ряд клавиатуры мало задействован;
- часто два и более символа нажимаются подряд в одной зоне, одним пальцем;
- в раскладке ЙЦУКЕН также отсутствуют клавиши для используемых в русской письменности знаков препинания и небуквенных орфографических знаков.

В русской фонетической раскладке русские буквы расположены там же, где и похожие (фонетически, по звучанию) латинские, например, А-А, Б-В, Д-Д, Ф-Ф, К-К, О-О и т. д. Созданы варианты русской фонетической раскладки на основе латинской QWERTY, а также на основе других латинских и национальных раскладок. Русская фонетическая раскладка считается лучшей для иностранцев, изучающих русский язык, а также для множества русских, живущих за пределами СНГ. Подключение русской фонетической раскладки в Microsoft Windows требует специальной компьютерной программы, найти которую можно на соответствующих сайтах Интернета.

**Японская клавиатура.** Фонд японских иероглифов насчитывает многие тысячи знаков. Точно определить его объем невозможно, так как он является открытым, подобно лексическому фонду языка: некоторые иероглифы выходят из употребления, возникают новые. Считается, что минимальный уровень знания японского языка включает в себя порядка 2000 иероглифов, этого обычно хватает, чтобы читать японские газеты и литературу. Но как при таком огромном количестве используемых знаков может выглядеть японская компьютерная клавиатура?

Оказывается, помимо основной системы письма – традиционных иероглифов, с которыми мы привыкли ассоциировать японские тексты, в современном японском языке существует также слоговая азбука. Иероглиф – это пиктограмма, обозначающая каждое целое слово или понятие. А каждый символ японской слоговой азбуки означает слог. Эта азбука называется кана и состоит она из двух фонетических разновидностей – хираганы и катаканы. Конфигурация знаков слоговой азбуки определилась за счет сокращенного написания того или иного иероглифа.

Слоговая азбука имеет достаточно небольшое количество символов, чтобы разместить их на стандартной клавиатуре. Каждое японское слово может быть записано хираганой, по правилам, аналогичным правилам письменности в европейских языках.

Итак, японская клавиатура выглядит так же, как и привычная нам. На ее клавишах, помимо латинских букв, нанесены символы японской азбуки хираганы. Текст вводится на латинице так, как он произносится. Преобразование в иероглифы производится автоматически. Последовательно набираемые латинские буквы преобразуются в символы японской азбуки, а текст, набранный ими – в иероглифы. Достаточно нажать на правую клавишу мыши и над словом выпадет меню, в верхней части которого система сама предложит разные, наиболее часто используемые виды записи слова с использованием иероглифов.

Японская клавиатура позволяет также вводить сразу символы каны. Печатается так же, как описано выше, с разницей в том, что пропускается промежуточный перевод из латиницы в хирагану.

Таким образом, японская клавиатура своим внешним видом практически не отличается от той, с которой мы привыкли работать изо дня в день. Более того, вы можете свою клавиатуру превратить в японскую. Для этого нужно в правом нижнем углу экрана или там, где у вас отображается языковая панель, выбрать **Параметры...** и, нажав кнопку **Добавить**, в появившемся списке поставить галочку напротив японского языка. После этих процедур раскладка клавиатуры будет меняться не только на латинскую-русскую, но и на японскую, а кнопками на языковой панели внизу можно, например, задавать алфавит– катакану или хирагану.

**Китайская клавиатура.** Среднестатистический китаец использует 3000 иероглифов, хотя известно, что в самом полном китайском словаре Цихай (аналог нашего словаря Даля) собрано 57 тысяч иероглифов. Понятно, что клавиатура не может содержать даже 1000 знаков. До недавнего времени использовались программы, которые адаптировали набираемые на клавиатуре латинские слова в транскрипция китайского иероглифа. Программа предлагала выбор из нескольких вариантов иероглифов, и какой из них использовать, решал сам пользователь.

Сейчас же в Китае используются и другие клавиатуры, принцип действия которых следующий: не смотря на то, что каждый иероглиф индивидуален, передаёт свой смысл, а также имеет неповторимое начертание, можно повторить это начертание, используя примерно 150 стандартных ключей (набор из которого состоит большинство иероглифов), а разместив эти ключи на клавиатуре, можно набрать из разных ключей нужный иероглиф.

В Китае насчитывается девять групп диалектов, и, само собой, нет стандартной раскладки клавиатуры. Это значит, что ни одна китайская клавиатура не похожа на другую. По типу раскладки китайская клавиатура обычно разделена на пять регионов – лево- и правосторонние буквы, вертикальные и горизонтальные добавки и перечёркивания. Блоггеры-профессионалы, которых в Китае 16 миллионов, печатают при такой раскладке 160 символов (в среднем 500 нажатий клавиш) в минуту.

## 8.2. Координатные устройства ввода информации

Существующие координатные устройства можно разделить на две категории: компьютерные мыши и тачпады.

### 8.2.1. Компьютерные мыши

**История и технологии.** Мышью называется двухмерный аналоговый манипулятор, подключаемый к персональному компьютеру и снабженный одной, двумя или тремя кнопками на верхней крышке и колесиком.

А знаете ли вы, что таким «мышинным» этот гаджет был не всегда? Тот, кто придумал компьютерную мышь, называл свое детище строго и по-научному – «индикатор координат x и y для системы отображения». И мелкого грызуна этот индикатор мог напомнить только человеку с феноменально развитым воображением либо с хорошим футуристическим чутьем. Ну разве что провод отдаленно напоминал хвост, но тогда и утюг можно назвать мышью... Словом, кто окрестил этот агрегат мышью – тайна, которую еще предстоит расследовать.

Компьютерную мышь придумал американский ученый Дуглас Энгельбарт. Как сам он рассказывал, идея создания приспособления, облегчающего работу с операционными системами, пришла к нему в 1951 году. А воплотилась идея в миленький параллелепипед из дерева, когда изобретатель компьютерной мыши работал над новой операционной системой, очень напоминающей ту, которой мы пользуемся сейчас.

Дуглас Энгельбарт был автором и других глобальных изобретений компьютерной эры – графического интерфейса, текстового редактора, гипертекста, онлайн-конференций и др. Как ни удивительно, он не стал мультимиллиардером, но заслужил своими работами благодарность многомиллионной армии пользователей.

Посмотрите на фото первой мыши (рис.8.3) и сравните ее с вашим компьютерным грызуном.

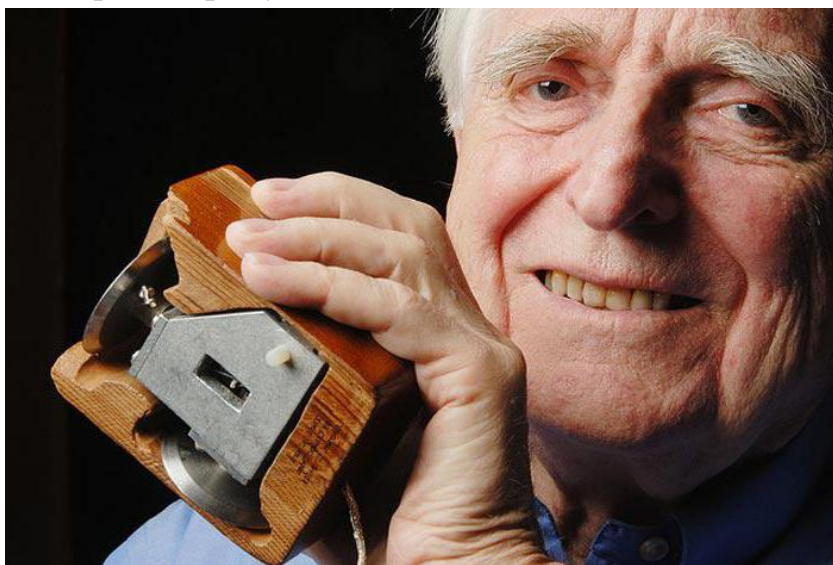


Рис. 8.3. Дуглас Энгельбарт демонстрирует первую компьютерную мышь (фото наших дней)

Да, принципиальное отличие налицо: вензеля по рабочей плоскости выписывать не получилось бы, так как два колесика ограничивали маневренность. Можно было двигать мышью только влево-вправо и взад-вперед. То есть этот манипулятор обладал прямым приводом. На корпусе была всего одна кнопка.

Официальный день рождения компьютерной мыши – 9 декабря 1968 года. В этот день новорожденная была представлена общественности в ходе научной конференции в Сан-Франциско, где произвела фурор своими инновационными для того времени функциями. Изобретатель компьютерной мыши получил за свое детище премию в сумме 10 тыс. долларов. По тем временам сумма вполне

пристойная. А новорожденная малютка стала быстро учиться и совершенствоваться при помощи умных людей. И начала свое триумфальное внедрение в семью важных и жизненно необходимых компьютерных гаджетов.

Первая компания, которая по достоинству оценила функциональные перспективы малютки мышки, была Хегох. Тут в 70-х годах прошлого века мышь научилась по-другому двигаться благодаря замене колесиков шариком и вошла в дружную комплектацию персонального компьютера Alto. Но в тот раз компьютерному зверьку не суждено было показать себя пользователям во всей красе: компьютер Alto так и не пошел в производство. И только в 1981 году в составе команды Хегох 8010 компьютерная мышь вырвалась на волю. Правда, она была довольно дорогой персоной, так как ее стоимость составляла 400 американских долларов.

Нужно отметить, что в СССР тоже разработали свой гаджет. Советская компьютерная мышь имела несколько несерьезное, но вполне официальное название «манипулятор Колобок». Он был оснащен тремя кнопками – по поводу назначения средней из них до сих пор не утихают споры среди убежденных сединой первых пользователей, имевших счастье держать этот редкий теперь экземпляр в руках. Но судя по их же отзывам на форумах, несмотря на свой внушительный вес и впечатляющий по толщине хвост, работал манипулятор не хуже всяких других.

Манипулятор «мышь» – как правило, самый дешевый из компонентов компьютера, поэтому и отношение к нему соответствующее, очень часто почти безразличное. В то же время очевидно, что мышь – крайне важное устройство в составе ПК, поскольку вместе с клавиатурой постоянно используется для ввода информации и управления ею внутри ПК. Следовательно, удобство мыши, ее соответствие задачам пользователя имеет большое значение.

Глядя на фото первых компьютерных манипуляторов, трудно сдержать улыбку – они такие несовершенные по сравнению с нынешними. Но они важная часть истории компьютерной мыши. Скоро исполнится полвека, как родился манипулятор-мышь. Интересно, насколько долго еще она как важная составляющая нашего компьютерного быта останется с нами.

Существует четыре вида компьютерных мышей:

- механические;
- оптические;
- лазерные;
- трекбол-мыши.

Первые модели компьютерных мышей были механическими. Внутри устройства находился массивный металлический шар, покрытый слоем резины. Нижней стороной он соприкасался с внешней поверхностью, а двумя другими – с роликами. При перемещении руки, держащей мышку, вращение шара передавалось роликам, от них – переключателям, а дальше преобразовывалось в последовательность электрических сигналов, отправляемых в компьютер. Двух роликов вполне достаточно для получения координат точки на плоскости. К недостаткам такого решения можно отнести необходимость периодической чи-



стки шара от налипшей грязи (накручивались волосы, налипала пыль) и замену износившихся компонентов.

Вскоре им на смену пришли оптико-механические решения. Внешне все осталось без изменений, но переключатели были упразднены, уступив место более надежному решению – оптопаре. За несколько заумным названием скрываются вполне безобидные светодиод и оптический датчик, вместе называемые оптронной парой. Каждый ролик был объединен с перфорированным колесом, размещенным между датчиком и диодом. При вращении поток света прерывался, что регистрировалось датчиком и передавалось в компьютер.

В 1999 году появились оригинальные компьютерные мыши, названные оптическими, в которых от механического способа регистрации перемещения удалось полностью отказаться. Светодиод подсвечивает поверхность под мышкой, а примитивная фотокамера с определенной частотой делает снимки. Процессор устройства обрабатывает их и на основании полученных результатов делает вывод о скорости и направлении смещения. Остается лишь передать эти данные программе-драйверу.

Вскоре им на смену пришли лазерные модификации. Процессор стал более производительным, точность фокусировки возросла, «проблемных» поверхностей, на которых датчик не работает, почти не осталось. Основное отличие от оптических в другом типе светодиода, который излучает не в видимом, а инфракрасном диапазоне.

Эти две технологии очень часто путают или вообще неправильно объединяют в одну. Оптическая мышь – это манипулятор, оснащенный очень маленькой видеокамерой, которая делает приблизительно тысячу фотоснимков за секунду, они обрабатываются процессором и поступают на компьютер. Такая мышь использует световой диод, который выдаёт луч света в видимом диапазоне. Ещё такие мышки называют светодиодными.

Лазерная мышь устроена аналогично, единственным отличием является использование полупроводникового лазера вместо диода. При работе с лазерной мышью не наблюдается видимого свечения сенсора, она не имеет видимой подсветки.

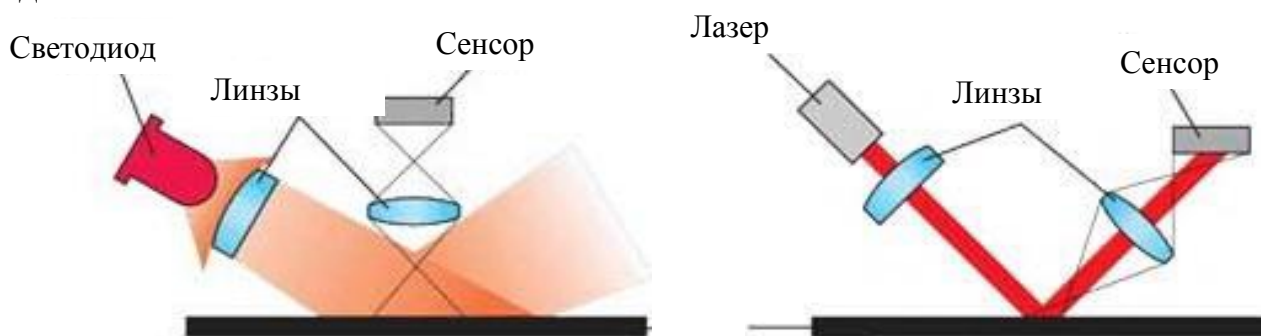


Рис. 8.4. Работа оптической и лазерной мышек (слева направо)

Одной из разновидностей компьютерной мыши является трекбол (англ. trackball) – указательное устройство ввода информации об относительном перемещении для компьютера. Разработали его канадские ученые для королев-

ского флота Канады в 1952 году. Но тогда трекболов было выпущено не более 10 – они не понравились военным морякам... может быть размерами, ведь шариком в них служили шары для боулинга. Трекбол функционально представляет собой перевернутую механическую (шариковую) мышь. Шар находится сверху или сбоку и пользователь может вращать его ладонью или пальцами, при этом не перемещая корпус устройства. Несмотря на внешние различия, трекбол и мышь конструктивно похожи – при движении шар приводит во вращение пару валиков или, в более современном варианте, его сканируют оптические датчики перемещения (как в оптической мыши). У них есть одно преимущество: для манипуляции при помощи трекбола, в отличие от мыши, не нужно много места и ровной поверхности, и он менее чувствителен к вибрациям. Поэтому таким манипулятором часто оснащают всякую профессиональную умную технику, подразумевая полевые, не слишком комфортные условия, в которых ей придется работать. Многим поклонникам этого манипулятора трекбол удобен не только тем, что для работы с ним требуется мало места, но и тем, что во время работы рука остается неподвижной в запястье.

**Способ подключения.** Мыши имеют два основных вида портов: PS/2-порт и USB-порт. Разумнее выбрать мышь с USB-портом, поскольку она устанавливается автоматически. А вот для установки мыши первого типа вам понадобится и установка драйверов.

По виду подключения мыши также делятся на проводные и беспроводные. Существует несколько типов беспроводного подключения – это радиочастотный, инфракрасный, индукционный, Bluetooth и Wi-Fi. Первые два являются устаревшими, но такие мыши могут еще встречаться. Если для мыши используется инфракрасное подключение, вы сможете работать с ней только при условии, что между мышью и приемным устройством, подключенным к компьютеру, нет непрозрачных препятствий, иначе связь теряется. Также могут возникать некоторые помехи, которые будут неприятны при работе с документами, Интернетом либо графикой.

Радиочастотная связь чаще всего осуществляется на одной из частот – 27 МГц или 2,4 ГГц. Отличаются они как ценой, так и дальностью принятия сигнала. Первый вид более приемлем, если вы не хотите отдавать за мышь большую сумму. Правда, пожалев пару десятков долларов, вы можете взамен получить небольшое торможение и бездействие мыши при увеличении расстояния от компьютера. При использовании мыши с радиочастотой 2,4 ГГц порой могут возникать небольшие помехи. Происходит это из-за того, что многие другие приборы работают на той же частоте.

Индукционные мыши сами являются беспроводными, но связь с компьютером обеспечивается с помощью специального коврика-планшета, который подключен к нему проводом.

Использование Bluetooth и Wi-Fi для соединения вашего «грызуна» и компьютера приемлемо даже для пользователей ноутбуков. Такие мышки могут работать не только во всех углах вашей комнаты, где будет находиться компь-

ютер, но порой даже через стену. Wi-Fi позволяет управлять мышью в пределах покрытия сети, но подключение не защищено от помех.

**Разрешение компьютерной мыши.** Чем больше разрешение, тем чувствительнее мышка к перемещению. Меньше движения по столу – больше движения на экране. Максимальное разрешение оптической мышки на сегодняшний день 1800 dpi, а для лазерной – 5700 dpi. Большое разрешение необходимо при работе с графикой и для компьютерных игр. В то же время, чтобы компьютерная мышь не вызывала задержек и трудностей в управлении, достаточно уже 800 dpi (именно такой показатель был у шариковых мышек). В большинстве современных мышек этот параметр можно переключать. Часто путают разрешение мыши с параметром чувствительности её в панели инструментов операционной системы. В настройках мыши через панель управления вы искусственно меняете масштаб поверхности под сенсором, а разрешение мыши – это реальная, физическая величина.

**Скорость.** Скоростные показатели мыши вряд ли заинтересуют обычного пользователя и станут достоянием интереса геймеров. Ведь от передвижения курсора или прицела на экране зависит исход игры. Так, например, чтобы передвинуть курсор по диагонали монитора, оптической мышке потребуется порядка 5...6 сантиметров, а лазерной около 2...3 см!

**Рабочая поверхность.** Здесь полное преимущество за лазерными манипуляторами, которые в силу своей технологии, могут передвигаться по любым поверхностям, даже по глянцевым и стеклу – без искажения траектории движения курсора. Оптическая мышь не без успеха может двигаться по этим поверхностям, но при этом могут возникать подёргивания или даже скачки курсора, поэтому советуем работать таким устройством на специальном коврике.

**Ценовая политика.** Конечно, цена на лазерный манипулятор может в несколько раз превосходить оптические модели. Но за счёт меньшего энергопотребления беспроводная лазерная мышь проработает в автономном режиме гораздо дольше, что исключит потребность частой замены батареек.

### 8.2.2. Устройства тачпад и мульт-тач

Тачпад (англ. touchpad: touch – касаться, pad – подушечка), сенсорная панель – указательное устройство ввода, применяемое, чаще всего, в ноутбуках. Как и другие указательные устройства, тачпад обычно используется для управления «указателем», перемещением пальца по поверхности устройства. Тачпады имеют различные размеры, но обычно их площадь не превосходит 50 см<sup>2</sup>.

Работа тачпадов основана на измерении ёмкости пальца или измерении ёмкости между сенсорами. Ёмкостные сенсоры расположены вдоль вертикальной и горизонтальной осей тачпада, что позволяет определить положение пальца с нужной точностью. Поскольку работа устройства основана на измерении ёмкости, тачпад не будет работать, если водить по нему каким-либо непроводящим предметом, например, основанием карандаша. В случае использования

проводящих предметов тачпад будет работать только при достаточной площади соприкосновения. Влажные пальцы затрудняют работу тачпада.

Тачпады являются устройствами с довольно низким разрешением. Это позволяет использовать их в повседневной работе за компьютером (офисные приложения, веб-браузеры, логические игры), однако делает очень сложной работу в графических редакторах и практически невозможной при использовании в компьютерных играх.

Следующим шагом развития явилась технология мульти-тач. Мульти-тач в переводе с английского (multi-touch) означает – множественное прикосновение. Уникальная функция сенсорных мульти-тач систем способна одновременно определять координаты двух и более точек соприкосновения. Сенсорная система мульти-тач, благодаря своим возможностям, применяется в самых разных областях.

Впервые мульти-тач-технология управления устройствами при помощи жестов – появились на портативных компьютерах MacBook и MacBook Pro в далёком 2005 году. В тот период технология находилась в зачатке и была очень примитивной. Например, обычный трекпад MacBook умел прокручивать содержимое страниц двумя пальцами, а «правый клик» можно было делать не при помощи физической кнопки на трекпаде, а при помощи «тапа» по трекпаду двумя пальцами. Это был очень скудный функционал, однако другие производители компьютеров не могли похвастаться и этим. Такое маленькое достижение стало настоящим прорывом в понимании того, как можно удобно управлять портативным устройством без мыши.

Следующую веху в развитии технологии мульти-тач положил iPhone. Инженеры Apple развили идею трекпада и перенесли её на экран мобильного телефона, научив миниатюрное устройство «понимать» человеческие жесты. Вскоре эту идею уже было трудно остановить, и она пришла на iPod. Управление устройствами при помощи multi-touch жестов оказалось настолько удобным и совершенно новым способом «общения» с устройствами, что инженеры Apple уже не могли остановиться.

Сделав эволюционный виток, мульти-тач возвращается на MacBook, предложив пользователям портативных устройств абсолютно новый, удобный и динамичный способ управления компьютером – при помощи жестов. Однако и на этом всё не остановилось. Многие пользователи продукции Apple уже не могли себе представить компьютер, который обделён устройством для управления жестами. Поэтому специалисты по эргономике, дизайнеры и инженеры Apple придумали, разработали и воплотили в реальности принципиально новую мышь. Так появилась Magic Mouse. Это первая в мире мышь, которая лишена скроллов и кнопок, и первая в мире мышь, которая работает исключительно с Multi-Touch.

Magic Mouse является одной из самых тяжелых мышей. При весе в 289 грамм, эта беспроводная мышь примерно в пять раз тяжелее, чем некоторые из её конкурентов. Тем не менее, мышка не чувствуется тяжелой или неудобной в использовании. Кроме того, она не требует большого количества движений, по-

тому что вы можете скользить пальцами по поверхности мыши для навигации по веб-сайтам, iTunes или в других приложениях.

Apple Magic Mouse не имеет колеса прокрутки, но имеет нечто гораздо лучшее. Это первая в мире мышь, в которой для прокрутки вы можете водить пальцем буквально всей поверхностью корпуса, и нажимать там, где вы хотите. Еще одной особенностью данной мышки является скорость прокрутки. В зависимости от того, насколько быстро вы перемещаете палец по устройству, настолько быстро будет и происходить прокрутка страницы.

Для перемещения по истории веб-браузера вы можете двигаться вперед или назад, для этого проведите двумя пальцами по верхней части устройства. Конечно, в первое время немного тяжело проводить двумя пальцами, но вы быстро привыкнете.

Мышь хорошо работает на компьютерах с операционной системой Mac, но не имеет отдельных драйверов для Windows.



Рис.8.5. Работа с мышью Apple

Оптическое разрешение составляет 1300 точек на дюйм, что является хорошим показателем, и позволяет мыши быстро и точно реагировать на ваши движения, а чувствительность можно настроить в соответствии с вашими предпочтениями.

Дальность действия беспроводной связи составляет до 33 метров от компьютера. Мышь Apple Magic не требует подключения приемника к USB-порту, но для использования мышки в вашем компьютере должен быть включен.

### 8.3. Сканеры

Сканер (от английского scan – пристально разглядывать, бегло просматривать) – это устройство, предназначенное для ввода текстовой или графической информации в компьютер путем преобразования ее в цифровой вид для последующего использования. Среди многообразия современных типов сканеров особое место занимают планшетные сканеры, предназначенные в основном для офисного и домашнего использования.

Сканеры этого типа появились в 80-х годах и благодаря оптимальному соотношению функциональных возможностей и удобству использования сразу стали объектом повышенного внимания публики. Хотя в последнее время, благодаря широкому распространению цифровой фотографии, использование планшетных сканеров для оцифровки негативов пленочных фотокамер заметно уменьшилось, тем не менее, для работы с бумажными документами ничего

лучше таких устройств пока не придумано. Так что сканерам, судя по всему, уготована еще долгая жизнь, хотя их техническое совершенствование уже практически прекратилось. Тем более что большинство современных моделей сканеров имеют достаточно сбалансированные показатели быстродействия и качества сканирования. Сегодня вполне приличный сканер «для дома, для семьи» можно купить дешевле \$50, тогда как гораздо более дорогие сканеры для фоторабот остались уделом консервативно настроенных фотолюбителей, предпочитающих пленочную съемку.

Сканеры используются в самых различных областях. Ниже приведен список наиболее популярных функций этих цифровых устройств.

- Преобразование печатного текста в редактируемый документ путем использования системы оптического распознавания символов (OCR). Эти документы могут включать письма, брошюры, статьи в газетах и любой другой печатный материал.

- Копирование с помощью сканера и принтера без использования копира.

- Посылка факсов с помощью компьютерного факс-модема. Сканер предлагает отправку факсов из дома, а также может оказать помощь в сохранении конфиденциальности на работе, предоставляя вам личный отдельный доступ к возможностям факса без необходимости применять факсимильный аппарат компании.

- Фиксация изображений с фотографий и других объектов для презентаций. Сканеры незаменимы при создании цифровых изображений в условиях острой нехватки времени.

- Создание изображений для Web-страниц. Разместите семейные фотографии на личном Web-сайте либо отсканируйте снимки продуктов компании для онлайн-ового каталога.

- Фиксация штриховой графики – логотипов, декоративных алфавитов, рисунков или диаграмм, а также фотографий для личных писем и публикаций компании.

- Создание компьютеризированной базы данных изображений для вашей фирмы, домашней коллекции, фамильного древа и других нужд.

- Фиксация изображений трехмерных объектов. Если у вас есть пакет продуктов либо какой-то один продукт для включения в презентацию, но отсутствует его фотография, некоторые сканеры могут зафиксировать его изображение.

- Добавление фотографий в вашу электронную почту. Знаете ли вы лучший способ сделать письмо более убедительным, чем вставить в него фотографию?

- Фиксация фотографии или изображения для использования в качестве основы для художественной работы.

- Фиксация документов, таких как письма, факсы, записки, отчеты для системы администрирования документами. Эти сложные системы включают системы оптического распознавания символов для конвертирования документов в редактируемый текст и добавления их в систему поиска, чтобы вы легко могли найти требуемую информацию.

Известно ли вам все это? Знаете ли вы какие-нибудь еще функции сканеров? Проведите со сканером пару недель, и наверняка вы сможете значительно пополнить этот список.

### 8.3.1. Технологии сканирования изображений

Теоретически все сканеры имеют одинаковые компоненты: источник освещения, сенсор, записывающий изображение линия за линией, что-то вроде движущегося зеркала или каретки, позволяющей сенсору видеть (что в нашем случае значит сканировать) только одну линию оригинала за один раз, и электронная схема, которая преобразует зафиксированное изображение в цифровую форму. На практике основные различия между моделями сканеров зависят от того, как эти компоненты физически размещены и электронно взаимосвязаны, а также от качества самих компонентов.

Существует несколько конструкций сканирующих элементов, наиболее интересные из них – технологии PMT, CIS, CCD и их модификации.

**Сканеры технологии PMT.** Технология **PMT (PhotoMultiplier Tube)** используется высококачественными барабанными сканерами в полиграфии. Барабанные устройства – это без преувеличения динозавры мира цифровых сканеров изображений, как по возрасту, так и по размерам. Считается, что сканеры именно этого типа стали первыми устройствами, подключаемыми к ПК. В то время сканеры были чрезвычайно редкими, узкоспециализированными и дорогостоящими устройствами (для барабанных сканеров это верно и сейчас), предназначенными для решения, прежде всего, полиграфических задач.

Основные принципы барабанного сканирования несложны. Оригинал монтируется на поверхности прозрачного цилиндра из оргстекла, барабана, укрепленного на массивном основании, которое обеспечивает ему превосходную устойчивость. Барабан вращается с высокой скоростью (обычно 300...1350 оборотов в минуту), а в нескольких миллиметрах от его поверхности находится модуль сканирующего датчика.

К достоинствам барабанных сканеров можно отнести:

- возможность сканирования как прозрачных, так и непрозрачных оригиналов;
- высокое качество получаемого изображения;
- возможность регулирования фокусного расстояния, что позволяет получать изображения с разной детализацией.

Однако эти сканеры не свободны от недостатков:

- невозможность сканирования негибких оригиналов (книг, журналов и др.);
- высокая стоимость;
- сложность правильной установки оригинала и настройки устройства.

Не все барабанные сканеры можно отнести к настольным, так как профессиональные барабанные сканеры имеют достаточно внушительные размеры,

хотя существуют современные модификации сканеров барабанного типа настольного исполнения.

**Сканеры технологии CIS. CIS (Contact Image Sensor)** – относительно новая технология планшетных сканеров. В качестве источника света у большинства CIS сканеров используются светодиоды, излучение которых отражается от сканируемого изображения, и, пройдя через линзу, фокусируется на датчике изображения, который представлен фототранзисторами. На выходе получается аналоговый сигнал, который усиливается и подается на вход аналого-цифрового преобразователя. В том случае, если необходимо сканировать цветное изображение, в качестве источника света используются светодиоды трех основных цветов.

Сканирующая головка, выполненная по технологии CIS, имеет три основных компонента – источник света (светодиоды), специальную цилиндрическую линзу (или набор линз), а также приемный элемент с электронной начинкой для формирования выходного аналогового сигнала и синхронизации с другими компонентами сканера, выполненными на единой печатной плате (рис. 8.6).

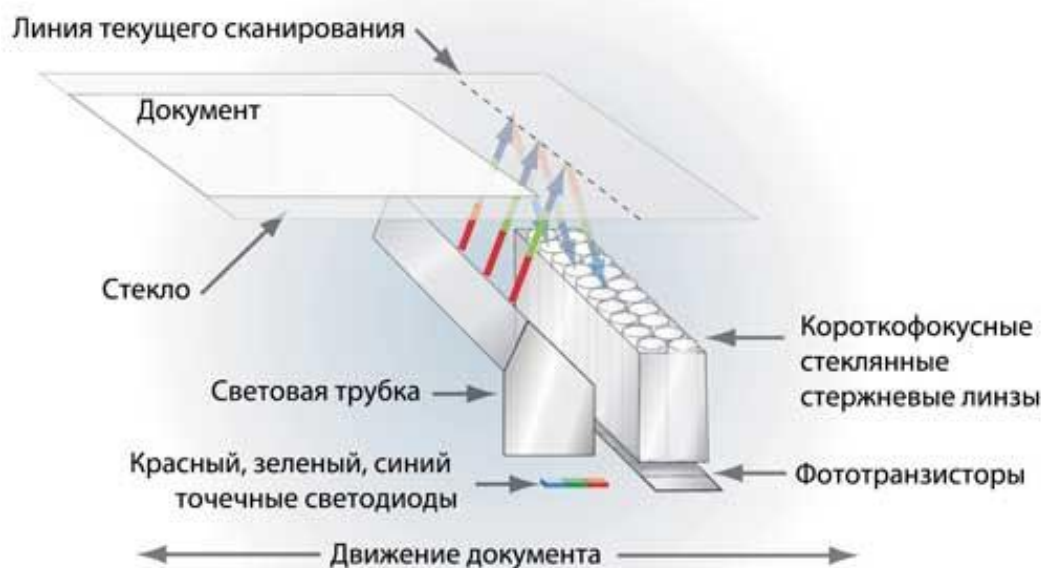


Рис. 8.6. Схематическое представление CIS-сканера

Как правило, для создания CIS-датчика, позволяющего сканировать документы формата А4 (ширина линейки датчика 216 мм), прибегают к построению ее из одинаковых модулей, соединенных последовательно.

Так как светодиоды, как и любой другой источник света, не идеальны, возникает ряд проблем, которые требуется решить производителям сканеров. Во-первых, существуют различия в интенсивности свечения светодиодов в составе одной линейки, причем разница может достигать 50%. Во-вторых, светодиоды красного цвета способны, при одинаковой силе тока через них, отдавать практически вдвое больше световой энергии, чем светодиоды синего и зеленого



цвета. В-третьих, наблюдаются различия в интенсивностях свечения светодиодов у разных сканирующих головок, даже от одного производителя. Наконец, с течением времени отмечается снижение интенсивности свечения, по некоторым данным уже через 500 часов использования светодиодов их яркость может понизиться на 30%. Поэтому производители сканеров прибегают к достаточно сложной процедуре калибровки сканера.

Кроме того, после установки времени свечения светодиодов каждого цвета, необходимо определить «эталонный черный» и «эталонный белый» цвет. Для получения данных о первом выключают все светодиоды и считывают информацию обо всех пикселях, повторяют процедуру несколько раз и запоминают средние значения. Для получения данных об «эталонном белом» последовательно сканируют белый эталон при освещении каждым из трех цветов, повторяя процедуру несколько раз и беря среднее значение, из которого вычитают данные «эталонного черного». Полученное значение и есть «эталонный белый» для каждого цвета. Эти «эталонные» цвета используют для процедур тоновой и гамма-коррекции сканируемого изображения на аппаратном уровне.

Модернизированной версией технологии CIS является технология непрямого светодиодного экспонирования – **LIDE (Led Indirect Exposure)** фирмы Canon, которая обладает всеми преимуществами, свойственными технологии светодиодного (контактного) датчика изображения.

Суть технологии заключается в том, что мощные трехцветные светодиоды, используемые в качестве источника света, освещают через призмы специальной формы световод, который собирает лучи в однородный пучок, равномерно экспонирующий сканируемый оригинал по всей ширине и фокусирующий свет на изображении, которое находится на предметном стекле. Возможности фокусировки света в такой системе ограничены (около 0,3 мм), поэтому сканирующая головка должна находиться на фиксированном расстоянии от стекла (порядка 1,3 мм). Цилиндрические линзы собирают отраженный от оригинала свет на сенсорной линейке, представляющей собой новое поколение датчиков изображения. Эти датчики отличаются значительной величиной отношения сигнал/шум и сверхвысокой чувствительностью. С микронной точностью датчики собраны на плате в линейку, размер которой соответствует максимальной ширине сканируемого документа.

Выбор в пользу CIS-модели может быть оправдан только в определенных случаях – например, когда сканер периодически эксплуатируется в мобильных условиях и не всегда есть возможность подключить блок питания к электросети. Кроме того, CIS-сканеры хорошо подходят для некоторых областей применения, где качество получаемых изображений не является критичным: скажем, когда устройство используется главным образом для ввода текстов или готовых форм.

**Технология CCD (ПЗС).** В планшетном сканере, использующем сканирующий элемент на основе **CCD (Charge-Coupled Device)**, оригинал, как и в сканерах CIS, располагается на предметном стекле, вдоль которого передвигается каретка с источником света – лампой и сканирующей головкой.

В отличие от технологии CIS, оптическая система сканера на CCD состоит из объективов, зеркал или призм, проецирующих световой поток от сканируемого оригинала на сканирующий элемент – линейку CCD.

Оптическая система CCD-сканера (рис. 8.7) заметно сложнее головки сканера технологии CIS или LIDE. Прежде чем попасть на линейку CCD, световой поток проходит через две-три линзы и отражается несколькими зеркалами. В оптической системе простейшего планшетного сканера CCD содержится три и более зеркал. Таким образом, CCD-сканер более громоздок, потребляет больше электроэнергии, а также более критичен к механическим воздействиям, чем CIS-сканер.

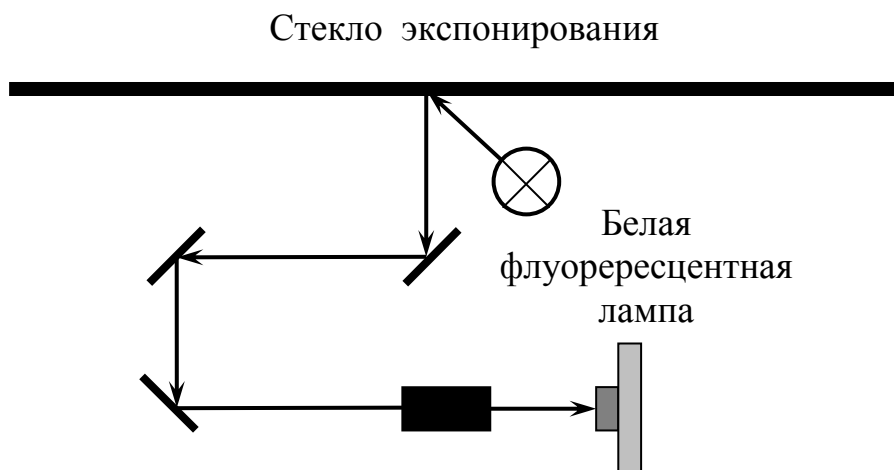


Рис. 8.7. Оптическая система планшетного сканера технологии CCD

Использование сложной оптической системы позволяет получить на датчике более мелкое изображение. Кроме того, применение оптической системы минимизирует потери отраженного света и обеспечивает хорошее качество сканирования – это главное достоинство CCD-сканеров. Оптическая система обеспечивает большую глубину резкости, что позволяет сканировать рельефные оригиналы и даже «фотографировать» небольшие предметы. Однако CCD-сканеры обычно имеют большие размеры и массу – расстояние от ПЗС-датчика до оригинала не может быть меньше фокусного расстояния применяемой линзы, и блок, объединяющий датчик и линзу, достаточно громоздок.

Для улучшения показателей планшетных сканеров разработано несколько технологий, одна из которых – оптическая система с изменяемым преломлением – **VAROS (Variable Refraction Optical System)**.

Технология VAROS также предложена компанией Canon и позволяет удвоить аппаратное разрешение сканера, не усложняя конструкцию привода узла сканирующего элемента на основе CCD.

В традиционной конструкции планшета луч белого света экспонирует сканируемую строку оригинала, направляя ее изображение для считывания линейкой CCD через сложную оптическую систему. Разрешающая способность сканера ограничена количеством сенсоров CCD. Всего в сканирующем элементе на CCD может быть смонтировано порядка 8 000...11 000 светочувствитель-

ных сенсоров.

Сканирующий элемент на основе технологии VAROS дополнен стеклянной пластиной, расположенной между линзами и CCD. Вначале осуществляется сканирование, аналогично традиционной технологии. Затем стеклянная пластина поворачивается, и процесс сканирования повторяется (рис. 8.8). Подобное устройство дает сканеру возможность считать данные со смещением в пол-пикселя. Программное обеспечение, объединяющее результаты первого и второго этапов сканирования, позволяет получить вдвое больше данных, а разрешение возрастает вдвое.

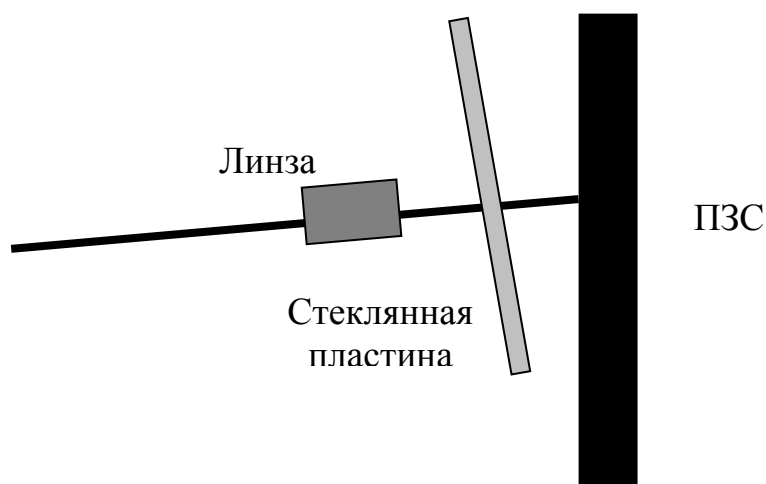


Рис. 8.8. Устройство сканирования VAROS

Еще одно новшество компании Canon – использование для планшетных CCD-сканеров комплекта линз, называемых линзами Галилео. Подобное оптическое устройство представляет собой пятисегментную широкоугольную линзу, позволяющую сфокусировать отраженный луч в пятно очень малого диаметра, что позволило достигнуть оптического разрешения в 1200 точек на дюйм. Линзы Галилео также способствуют снижению aberrации. Aberrация – параметр, определяющий степень отличия между идеальным и реальным изображением, формируемым объективом. У высококачественного объектива aberrация должна быть очень незначительной. Кроме незначительных геометрических искажений, объектив должен точно передавать цвет воспроизводимого объекта. Применительно к цветам RGB, минимальная aberrация означает максимальное совмещение трех цветовых составляющих, не зависящее от положения оригинала на стекле экспонирования.

**Роликовые сканеры** осуществляют сканирование оригинала при его перемещении по специальным направляющим посредством роликового механизма подачи бумаги относительно неподвижных осветителя и ПЗС-линейки. Ме-

ханизм работы роликового сканера показан на рис. 8.9. Сканирование в роликовом сканере, как и в планшетном, производится в отраженном свете.

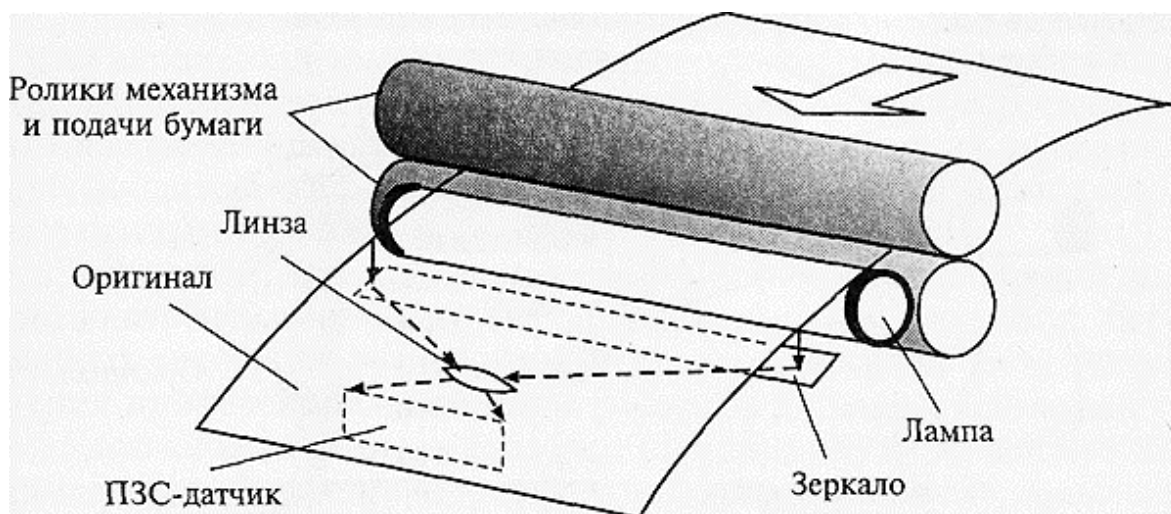


Рис. 8.9. Механизм работы роликового сканера

Этот принцип заложен в конструкции многих факсимильных аппаратов. Сканеры, работающие в двух режимах – сканирования изображения и его факсимильной передачи, называют факс-сканерами (Fax Scanner).

В отдельных моделях роликовых сканеров имеется устройство для подачи листов, которое позволяет сканировать в автоматическом режиме.

Большинство роликовых сканеров офисного применения предназначены для работы с оригиналами формата А4. Однако существуют широкоформатные роликовые сканеры, обеспечивающие сканирование оригиналов форматов А1 и даже А0.

Преимущества роликовых сканеров определяются их компактностью, автоматической подачей листов оригинала, удовлетворительной скоростью сканирования и низкой стоимостью. В то же время эти сканеры имеют ряд недостатков, связанных с невозможностью без специальных приспособлений осуществлять сканирование сброшюрованных документов, книг, а также с опасностью повреждения оригинала.

**Проекционные сканеры.** Проекционные сканеры работают по принципу фотографической камеры и конструктивно напоминают фотоувеличитель. Механизм работы проекционного сканера показан на рис. 8.10.

Оригинал располагается на подставке под сканирующей головкой изображением вверх. Сканирующая головка, содержащая ПЗС-датчик и перемещающий его в фокальной плоскости линзы двигатель, закрепляется на вертикальном штативе и может перемещаться по стойке или по вертикальным направляющим. Перед началом сканирования камеру устанавливают в положение, соответствующее требуемому разрешению и размеру изображения. Точная настройка (фокусировка), определяющая разрешение сканирования, осуществляется специальной редуцирующей линзой. Обычно в проекционных сканерах внутренний источник освещения не используется. Освещение оригинала произ-

водится за счет естественного комнатного света. В некоторых моделях проекционных сканеров свет через линзу освещает оригинал, а отраженный свет фиксируется ПЗС-матрицей.

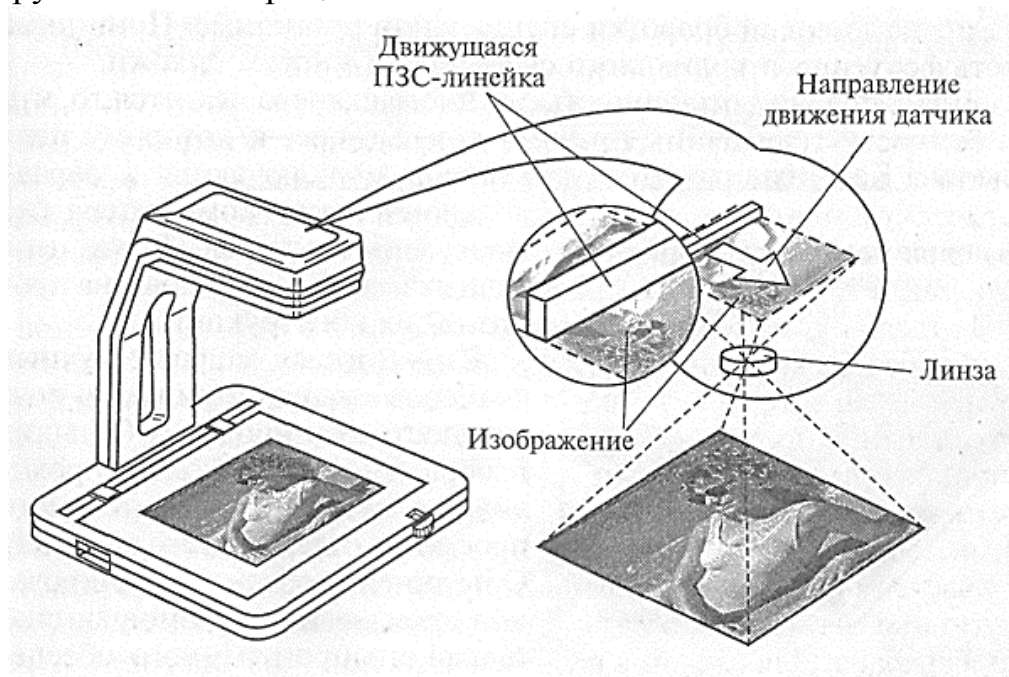


Рис. 8.10. Принцип работы проекционного сканера

Такая конструкция сканера позволяет избежать влияния внешних засветок и получить высокое качество сканированных изображений. Особенностью проекционных сканеров является возможность сканирования трехмерных объектов. При этом конструкция сканеров обеспечивает переменное разрешение сканирования: небольшие объекты можно сканировать с высоким разрешением; большие нестандартные объекты, изображения которых нельзя ввести с помощью других сканеров, также могут быть сканированы, хотя и с низким разрешением. Простота конструкции и удобство применения, невысокая стоимость и возможность комбинирования при сканировании плоских и небольших трехмерных объектов обуславливают достаточно широкое применение проекционных сканеров.

**Устройство сканирования штрих-кодов.** Одной из разновидностей ручных сканеров является устройство сканирования штрих-кодов. Широкое использование штриховых кодов было обусловлено необходимостью обеспечить автоматизированный ввод информации в компьютерные системы управления, который отличался бы высокой надежностью, простотой и экономичностью. Мы сталкиваемся со штриховыми кодами, покупая товары в магазинах, сдавая багаж в аэропортах. Этот список можно продолжить, но уже приведенных примеров достаточно, чтобы убедиться, что потребность в их изготовлении значительна.

Штриховые коды характеризуются высокой надежностью. К ним применимы те методы защиты от ошибок, которые широко используются в системах связи. За счет некоторой избыточности можно создавать самоконтролирую-

щиеся и самокорректирующиеся коды, то есть такие, которые способны путем проверки по специальным алгоритмам обеспечить обнаружение ошибок и даже произвести их автокоррекцию при условии, что количество ошибочных знаков в коде не превышает установленного предела (обычно 65...70%). При существующих методах защиты линейного кода, обеспечивающих вероятность ошибки не более одной на 30 млн. считанных знаков, избыточность кода остается в разумных пределах.

В считывании штрихового кода всегда есть особенности, связанные с конкретными условиями применения. В каждом случае нужно выбрать наиболее подходящий тип сканера из имеющегося богатого ассортимента: различные считывающие карандаши, щелевые считывающие устройства, портативные и стационарные лазерные сканеры с различными системами развертки лазерного луча, сканеры на CCD-линейках.

Развитие требований со стороны розничной торговли привело к созданию так называемых слот-сканеров, которые разворачивают лазерный луч в линию, а затем создают целую систему таких линий на расстоянии 15...25 см перед сканером. Это позволяет кассиру не ориентировать товар относительно лазерного луча, а просто проносить его через зону считывания. Вероятность считывания с первого раза у таких сканеров достигает 95...98%.

В сетевых системах сбора данных применяется конфигурация, состоящая из компьютера, концентратора и многочисленных периферийных устройств, к каждому из которых подключен сканер. Все устройства соединяются проводной или радиосвязью. Удаление сканера от компьютера может достигать 1500 метров.

### 8.3.2. Интерфейсы и программное обеспечение сканеров

Современный ассортимент сканеров ограничивается интерфейсами USB и FireWire, а также устаревшими LPT и SCSI.

- **Интерфейс USB (Universal Serial Bus)** получил самое широкое распространение благодаря его интеграции во все современные системные платы. Сегодня это самый популярный тип интерфейса, разъемы которого есть в любом современном компьютере. Поэтому абсолютное большинство сканеров выпускается именно с USB-интерфейсом. В последнее время завоевывают популярность скоростные модели сканеров, оснащенные быстрым интерфейсом USB 3.0.

- **FireWire (IEEE1394)** представляет собой последовательный высокоскоростной интерфейс ввода/вывода. Он отличается от USB тем, что, работая по схеме «peer-to-peer», не требует управляющего контроллера, за счет чего и достигается более низкая (по сравнению с USB) загрузка центрального процессора. Сейчас широко используется интерфейс FireWire 800 (IEEE-1394b), который является самым скоростным среди периферийных стандартов, которые когда-либо были разработаны. Все преимущества стандарта FireWire в полной мере раскрываются тогда, когда нужно обеспечить передачу цифровых видеозапи-

сей. Разъемами FireWire снабжено большинство современных цифровых видеокамер.

- Среди достоинств **SCSI-интерфейса** (Small Computer Systems Interface) можно выделить его высокую пропускную способность, а также возможность подключения до семи различных устройств на одну шину. Но сегодня, с появлением высокоскоростных интерфейсов USB и FireWire, не требующих ни настройки при подключении, ни дополнительных адаптеров, эра SCSI-сканеров подошла к концу.

- Хотя большинство современных сканеров поставляется с интерфейсом USB, все еще попадаются модели с устаревшим LPT-портом. Главный недостаток сканеров с LPT-интерфейсом заключается в том, что они обычно делят единственный параллельный порт компьютера с принтером, что может привести к конфликтам между ними. Разница в скорости между LPT- и USB-интерфейсами практически в любом режиме сканирования составляет около 30% в пользу USB, к тому же и загрузка процессора при передаче данных у LPT гораздо выше.

В комплект поставки любого современного сканера входит пакет программного обеспечения. Набор программ может различаться в зависимости от модели, но, существуют и универсальные интерфейсы, необходимые для взаимодействия сканера с операционной системой компьютера. В частности, нередко в описаниях сканера можно встретить такие аббревиатуры как TWAIN, WIA и ISIS-драйверы (стандарты, протоколы). Попробуем разобраться, что обозначает каждое название, и какие функции выполняет каждый из драйверов.

**Стандарту TWAIN** в следующий вторник исполнится три тысячи лет. Казалось бы, пользоваться тем же самым интерфейсом, которым пользовались наши предки в каменных пещерах, не очень разумно. Но тем не менее, именно этот драйвер и стоит выбрать, если есть такая возможность. На то есть несколько причин:

- этот интерфейс специально разработан для общения компьютеров с устройствами захвата изображений;
- программное обеспечение для поддержки TWAIN-интерфейса разрабатывается самим производителем оборудования, а значит учитывает все его особенности и возможности по настройке;
- интерфейс TWAIN предусматривает сохранение настроек между отдельными сеансами работы с устройством.

**Стандарт WIA** расширяется как Windows Imaging Architecture, несложно догадаться, что этот стандарт создан специально для ОС Windows, и разработан он был компанией Microsoft. Главным преимуществом использования этого интерфейса является то, что в его работе участвуют стандартные диалоговые окна операционной системы, а значит независимо от используемого устройства, будь то фотокамера или сканер, пользователь будет работать в привычной ему среде. Однако это же самое преимущество является и главным недостатком интерфейса WIA – неважно, насколько богатыми возможностями по настройке обладает ваш сканер, вы не сможете ими воспользоваться в полной

мере, так как интерфейс WIA о них ничего не знает и предложит вам только стандартные настройки, присутствующие в любом другом устройстве.

**Интерфейс ISIS** (Image and Scanner Interface Specification), так же, как и Twain, создан для взаимодействия сканера и компьютера, но способен выполнять более сложные задачи. Он представляет собой совокупность модулей, каждый из которых выполняет определенную функцию (сканирование, конвертация, компрессия). Эти модули могут объединяться, образуя конвейеры для выполнения сложных, многоэтапных задач. ISIS предлагает разработчикам ПО надежный и стабильный интерфейс для интеграции задач, связанных со сканированием, в приложения. Поскольку ISIS является промышленным стандартом, его драйверы имеют массу возможностей и подразумевают, что пользоваться ими будут специалисты, глубоко погруженные в существо вопроса. В общем, для обычных людей ISIS – не вариант.

### 8.3.3. Классификация планшетных сканеров

Так как планшетные сканеры являются самыми распространенными, рассмотрим их категории.

**Простейшие сканеры (Сканеры категории SOHO).** Данные сканеры предлагают базовые возможности сканирования, иногда им недостает скорости и качества. Они предназначены для начинающих пользователей, которые желают фиксировать какие-то изображения, однако практически не имеют опыта работы с графикой. Простейшие сканеры позволяют просто положить оригинал на стеклянный планшет, нажать кнопку и получить отсканированное изображение или отпечаток. Однако вы не сможете использовать такие популярные аксессуары, как адаптер для диапозитивов или устройство автоматической подачи бумаги.

Низкая цена моделей этой категории обеспечит беспроблемное знакомство со сканированием. Эти сканеры настолько просты в использовании, что вам совсем не нужно иметь опыт работы с ними.

**Сканеры промежуточного уровня.** Сканеры промежуточного уровня – это наилучший выбор для тех, кому необходимы дополнительные функции и удобство в использовании по небольшой цене. Типичным покупателем таких устройств может быть человек, занимающийся Web-графикой, возможно делающий снимки для онлайн-аукционов либо конвертирующий фотографии в цифровые файлы. Эти сканеры обычно содержат несколько дополнительных функций, таких, как набор кнопок на передней панели для выполнения различных операций: копирование, сканирование и отсылка по электронной почте. Они могут поставляться вместе с профессиональным программным обеспечением для редактирования изображений. Качество сканирования таких сканеров также может быть лучше благодаря усовершенствованным сенсорам или оптике.



Для сканеров этой категории всегда можно приобрести адаптер для сканирования слайдов и диапозитивов, а также устройство автоматической подачи бумаги.

**Усовершенствованные бизнес-сканеры (CORPORATE-сканеры).** На следующей ступеньке стоит серия сканеров, предназначенных для более профессионального личного или делового пользования. Эти устройства работают быстрее, стоят немного дороже, включают богатый набор программного обеспечения, который предоставляет все необходимое для сканирования, работы с изображениями, создания копий, присоединения изображений к электронным письмам и посылки факсов. В них вы найдете систему оптического распознавания символов (OCR) и часто программу администрирования документов, которая может организовать коллекцию писем, записок, отчетов и других документов в базу данных с удобным поиском.

Если вы постоянно используете сканер для деловых целей, такая модель сэкономит вам время и ускорит процесс работы. Деловые сканеры обычно имеют оптические адаптеры для сканирования слайдов (в некоторых они встроены в крышку либо прилагаются дополнительно). Кроме того, с ними поставляется устройство автоматической подачи бумаги, часто называемое ADF. ADF позволяет положить стопку бумаги в загрузочный лоток и автоматически подает их в сканер по одному. Эта функция весьма полезна, если вы преобразуете большой документ, используя систему оптического распознавания символов, либо пересылаете стопку документов по факсу.

**Полупрофессиональные сканеры.** Всего несколько лет назад сканеры, которые можно назвать «полупрофессиональными сканерами», были единственной моделью, доступной на компьютерном рынке. С конца 1980-х вплоть до середины 1990-х сканеры стоили очень дорого. Например, сканер стоимостью 2500 долларов умел распознавать целых 16 разных тонов, и купить такой сканер считалось удачей. Сканеры считались инструментом художников-профессионалов и конкурировали в основном в отношении качества изображения, скорости и разрешения. Если хоть в одном из этих параметров сканер имел преимущество, то он, безусловно, считался лучшим. Каждый производитель, как правило, предлагал одну или две модели, которые не слишком отличались по цене или набору характеристик. Это было обусловлено тем, что лишь немногие владельцы компьютеров были заинтересованы в приобретении таких устройств, остальные просто не могли себе их позволить.

Сегодня развитие технологий сделало возможным производство хороших сканеров по цене от 100 до 400 долларов, и каждый может позволить себе приобретение сканера. В особенности это удобно для тех покупателей, которые не очень часто используют сканер, а потому не нуждаются в максимальной скорости или качестве. При таких низких ценах имеет смысл отказаться от некоторых параметров или снизить качество некоторых компонентов, если вам не так уж необходима идеальная яркость изображения, в которой нуждаются те, кто используют сканер в ежедневной работе. Те же, для кого качество имеет большее значение, могут приобрести усовершенствованные модели, которые теперь

относятся к новой категории полупрофессиональных сканеров по цене от 500 до 1500 долларов и выше.

Полупрофессиональные сканеры часто имеют панель кнопок «одного нажатия», которые позволяют занятым пользователям автоматизировать задания в условиях недостаточности времени. Одним нажатием кнопки вы можете сканировать, копировать, посылать по электронной почте, факсу, записывать в качестве файла любой оригинал, который вы положите на сканирующий планшет, не осуществляя промежуточных шагов. В этих сканерах применяются лучшие сенсоры и оптические системы и используются усовершенствованные встроенные аппаратные средства обработки изображений, которые оптимизируют результаты сканирования, перед тем как отправить их на компьютер, обеспечивая хорошее качество изображения.

**Профессиональные сканеры.** Эти сканеры можно разделить на четыре категории.

- **Сканеры GRAPHIC ART.** Область работы художников и дизайнеров. К оцифрованному изображению предъявляются достаточно жесткие требования по качеству и достоверности цветопередачи. Интеллект программных средств должен быть также достаточно развит, чтобы обеспечить необходимые коррективы уже в процессе сканирования. Диапазон цен – 400...2500\$.

- **Сканеры PREPRESS.** Сканеры этой категории – рабочий инструмент издателя. Такой сканер должен отличаться безупречно четким изображением, насыщенными, правдивыми цветами и хорошей проработкой в критических областях. Большинство моделей этого класса могут выполнять цветоделение непосредственно в процессе сканирования, с учетом особенностей набора красок печатной машины и способа печати. Стоимость подобных сканеров от 2000 до 5000\$.

- **CAD-сканеры.** Сканеры, ориентированные на инженерные задачи, где работа ведется, как правило, с крупноформатными изображениями. От сканера не требуется исключительно точная цветопередача, на первом месте – четкость линий, умение отсеять помехи, правильное распознавание обозначений ЕСКД и корректная работа с инженерными пакетами. Стоимость – порядка 1000\$.

- **Сканеры DOCUMENT SCANNER.** Сканеры, основная задача которых – обеспечить быстрый и качественный ввод больших объемов текстовой информации для представления в электронном виде. Сканеры этого класса достаточно дороги (около 800\$) и ориентированы они на банковские, налоговые, государственные структуры, почтовые и транспортные ведомства, а также на другие предприятия с большим документооборотом. Их функциональное оснащение позволяет с высокой скоростью вести обработку больших объемов документов без участия оператора.

### 8.3.4. Особенности цветного сканирования

Статистика показывает, что большинству пользователей нужны главным образом черно-белые (монохромные) сканеры для факсимильной передачи, оп-

тического распознавания символов (OCR), эпизодического копирования и хранения документов. Действительно, более половины операций сканирования выполняются сегодня в черно-белом варианте. Но даже пользователи, предполагающие, что 95% работ у них будут черно-белыми, считают цвет полезным и готовы дополнительно заплатить за возможность цветного сканирования. В результате черно-белые сканеры ожидают то же, что и монохромные струйные принтеры и монохромные мониторы, – забвенье. Сегодня почти все современные планшетные сканеры – цветные, и даже персональные постраничные сканеры развиваются в том же направлении.

Заметим, что ПЗС-датчик позволяет регистрировать только уровень интенсивности света, а не его цвет (спектральный состав), – иными словами, получаемое им изображение монохромно. Для восстановления из него цветного изображения необходимо выполнить цветоделение. Существует множество схем цветоделения, но все их можно разделить на три группы: с применением фильтров, с изменением цвета подсветки и с разделением луча.

Наиболее простая и потому распространенная технология – **применение цветных фильтров** (обычно это красный, синий и зеленый фильтры, но встречаются модели и с большим количеством опорных цветов, обеспечивающие лучшую цветопередачу), располагаемых между датчиком и сканируемым объектом. В первых цветных сканерах фильтры менялись вручную, позже этот процесс был автоматизирован, но сканирование все равно занимало много времени – каждая линия экспонировалась трижды (сканирование в три прохода). Помимо большого времени сканирования, трехпроходная схема с применением фильтров имела и другие недостатки: для хранения промежуточных изображений требовались емкие многомегабайтные буферы. Кроме того, светофильтры существенно уменьшают интенсивность светового потока (иногда на них теряется до 80...90% света), а некоторые преобразования изображения могли быть выполнены только после окончания всех трех проходов. Совершенствование технологии автоматической смены фильтров позволило выполнять сканирование в один проход. Такой метод цветного сканирования наиболее прост, недорог и поэтому применяется в большинстве современных сканеров.

Для уменьшения световых потерь была разработана технология ОССФ (On-Chip Color Filter – цветной фильтр на датчике). В них ПЗС-датчик оснащается не одной, а тремя линейками элементов, каждая из которых имеет собственный светофильтр. Хотя каждая точка по-прежнему экспонируется трижды (для каждого из основных цветов), конструкция датчика позволяет сканировать изображение за один проход. ОССФ-сканеры не лишены некоторых недостатков, наиболее заметные из которых – возможность появления артефактов цвета при неравномерном перемещении сканирующей головки, а также низкое качество сканирования рельефных объектов (это объясняется тем, что на разные ПЗС-линейки свет падает под разными углами).

Другой способ деления цветов – **применение нескольких цветных источников света**. Такой подход позволяет избежать падения интенсивности света при прохождении светофильтра и несколько увеличить скорость сканиро-

вания благодаря отсутствию механического блока смены фильтров. Кроме того, при сканировании монохромного изображения могут быть включены все источники света одновременно – увеличение светового потока благоприятно сказывается на качестве сканирования.

Сканирование может проходить как за три прохода – изображение сканируется полностью при свете каждого источника, так и за один. В последнем случае для каждой линии изображения по разу включается каждый источник света. Однопроходный способ сканирования не дает существенного выигрыша во времени сканирования, поскольку каждая линия по-прежнему экспонируется три раза и, кроме того, к времени сканирования добавляются накладные расходы на включение-выключение источников, но зато он гарантирует отсутствие артефактов цвета в результирующем изображении, появляющихся при трехпроходном сканировании из-за неточности позиционирования сканирующей головки.

Использование цветной подсветки для цветоделения имеет ряд существенных недостатков. Применение нескольких газонаполненных ламп делает конструкцию громоздкой, тяжелой и менее надежной. Использование же светодиодов хотя и предлагает определенные преимущества, но отрицательно сказывается на качестве цветопередачи – дело в том, что спектры излучения светодиодов очень узкие, а спектры светодиодов разных цветов практически не перекрываются. В результате мощность излучения в областях спектра между опорными цветами оказывается столь мала, что часть информации о цвете теряется.

Наиболее совершенный способ цветоделения – **разделение пучка полного спектра белого света на хроматические составляющие**. При использовании датчика с тремя ПЗС-линейками это позволяет сканировать изображение за один проход и при единственной экспозиции. Разделение пучка предоставляет такие преимущества, как быстрое и качественное сканирование цветных изображений (какие-либо искажения цвета исключены), максимальный световой поток при сканировании монохромных изображений. Серьезных недостатков у таких систем нет, если, конечно, не считать чрезвычайную сложность оптической системы (она состоит из нескольких линз, зеркал, фильтров и чрезвычайно требовательна к точности позиционирования сканирующей головки) и соответственно высокую стоимость этого типа сканеров.

### **8.3.5. Особенности сканирования прозрачных материалов**

Сканирование негативов и слайдов – обязательный компонент профессиональной деятельности любого дизайнера или фотохудожника.

Принцип работы пленочных сканеров практически мало отличается от описанных выше сканеров для непрозрачных материалов, с той лишь разницей, что источник света работает не на отражение от оригинала, а на его просвет.

Однако в подавляющем большинстве случаев мы имеем дело не со специализированными пленочными сканерами, а с универсальными сканерами, в

комплект которых входит слайд-модуль.

Существует всего два варианта установки слайд-модуля – в крышке или корпусе сканера. В обоих случаях модуль оборудуется собственной лампой (подвижной или неподвижной, в зависимости от механизма сканера), свет которой, после прохождения через прозрачный оригинал, передается в оптическую систему.

Пока, вероятно из консервативных соображений, численное преимущество остается за сторонниками рабочего стола со стеклом и слайд-модуля в крышке. Сканирование пленочных материалов в таких сканерах имеет свои специфические особенности.

Рассмотрим схему сканирования с использованием обычного сканера, приведенную на рис. 8.11.

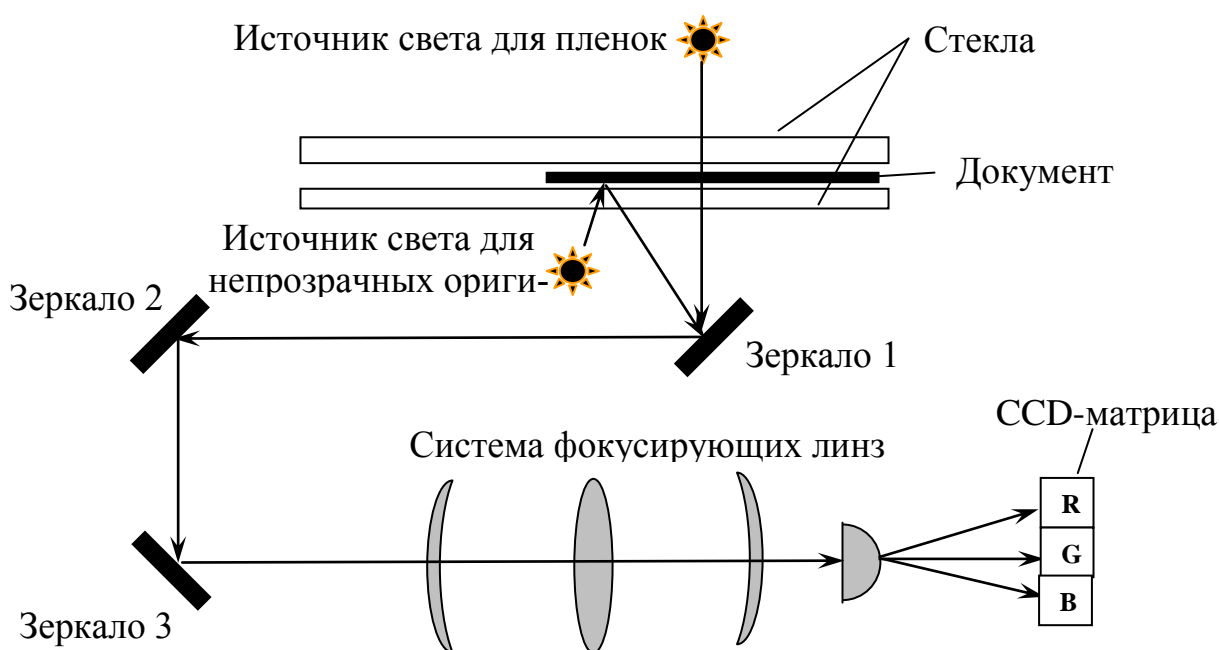


Рис. 8.11. Схема работы обычного планшетного сканера со слайд-модулем

В этой схеме задействовано три воздушных среды и два стекла. Следовательно, свет происходит четыре пограничных отражения. Большое количество стеклянных преград ни к чему хорошему привести не может.

Во-первых, стекло – это, прежде всего, некоторое рассеяние светового потока. Вроде бы, ничего страшного, но резкость изображения страдает. При малом размере оригинала это может быть весьма критично.

Во-вторых, преодоление светом даже стеклянной преграды – это затраты энергии и, следовательно, уменьшение интенсивности, а часто и спектрального состава светового потока. Это однозначно чревато сужением динамического диапазона сканера и нарушениями цветопередачи, а это уже серьезно.

В-третьих, описанный способ грешит некоторыми паразитными эффектами, которые стоит описать подробнее:

- **Пыль.** Даже если оригинал у вас в идеальном состоянии, никто не в состоянии гарантировать вам полное отсутствие пыли на стекле вашего сканера. В отсканированном изображении эта пыль отлично видна, особенно если она, в результате статического электричества, налипла изнутри сканера, на обратной стороне стекла.

- **Ghosting (Привидения).** Попадание на считывающий элемент бликов от стекол вызывает появление всяческих пятен и даже может создать заметное паразитное изображение, идентичное сканируемому, но смещенное по отношению к основному изображению.

- **Ньютоновы кольца.** Это очень интересный оптический эффект, возникающий в местах контакта фотоматериала и стекла сканера. На изображении проявляется в виде разноцветных правильных и неправильных цветных колец и полос. Простейший пример эффекта можно наблюдать, если налить бензин или машинное масло в лужу.

Заметим, что в рассматриваемой конструкции различны характеристики не только стекол, но и воздушных сред. Дело в том, что воздушные среды находятся внутри корпусов сканера и слайд-модуля и, соответственно, отличаются по температуре, влажности и даже химическому составу не только от воздуха в помещении, но даже между собой. Если углубляться в проблему еще дальше, то температурные и физико-химические характеристики различны и у стекол. Все это приводит к невозможности прогнозирования характеристик сред, задействованных в оптической системе и, соответственно, к невозможности не только нейтрализации, но даже учета их при разработке оптической системы.

Для устранения указанных недостатков была разработана технология с названием **E.D.I.T (Emulsion Direct Imaging Technology – технология прямого сканирования эмульсии)**. Эту технологию разработали и активно продвигают на рынке фирмы Microtek и Agfa.

Схема работы сканера с использованием технологии E.D.I.T. приведена на рис. 8.12.

В этом случае не используется стекло и, соответственно, нет отражений на границах воздух-стекло-воздух. Кроме того, воздушная среда, задействованная в оптической системе, всего одна, поскольку весь процесс происходит внутри корпуса сканера. Теоретически, характеристики этой среды можно даже учесть в проработке оптической системы.

При сканировании непрозрачного оригинала на сканере, работающем по технологии E.D.I.T., конечно возникают посторонние отражения на границах воздух-стекло, однако при работе в отраженном свете на высококачественном сканере они не способны внести значительных искажений.

В E.D.I.T.-сканерах нового поколения используют еще одну технологию – **Flip Mirror (Вращающееся зеркало)**. Зеркало 5 на рис. 8.12 используется для перенаправления светового потока в зависимости от типа используемого оригинала. При работе с пленкой вращающееся зеркало 5 находится в положении «а», при работе в отраженном свете – в положении «б». Использование ме-

ханической системы перенаправления светового потока позволяет добиться оптимальных характеристик при работе с оригиналами любых типов.

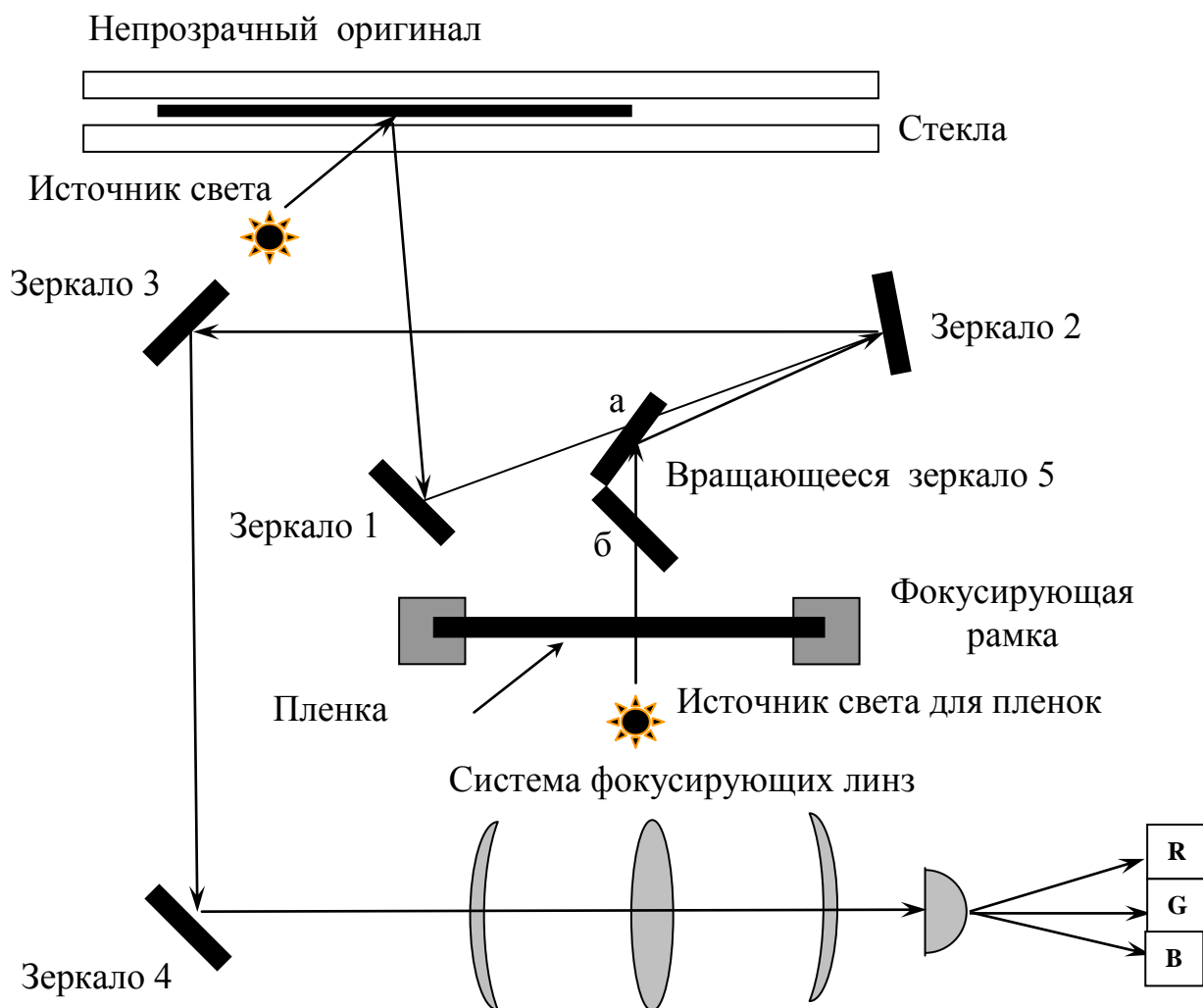


Рис. 8.12. Схема работы сканера, использующего технологию E.D.I.T.

### Технологии улучшения изображения в процессе сканирования

Для работы с негативами и слайдами компания ASF разработала три технологии, применяемые для устранения дефектов изображения, удаления зерна пленки и восстановления утраченных оттенков изображения. Но слайд-сканерами компания ASF не ограничилась. Многие фотографии в результате длительного хранения меняют цвета, тускнеют под влиянием света, влажности и температуры, приобретают царапины и другие дефекты. Кроме того, недостатков не лишены зачастую и снимки, только что прошедшие печать (например, передержка или недодержка кадра при фотосъемке или печати). При сканировании цифровое изображение сохраняет такие дефекты, как царапины, трещины, ошибки экспозиции, цветовой сдвиг и т. п. Для облегчения работы с фотоснимками ученые, фотографы и инженеры компании ASF также разрабо-

тали технологии автоматического восстановления загрязненных, поврежденных или выцветших фотографий, аналогичные технологиям для фотопленок.

**Digital ICE (Image Correction & Enhancement)** – технология автоматического устранения дефектов изображения. Ее бесспорное преимущество в том, что все неповрежденные участки изображения остаются без изменений. Непосредственно в ходе сканирования определяется точное расположение всех дефектов на оригинале, эти места на оцифрованном изображении удаляются, и значения цветов в этих участках восстанавливаются на основании соседних областей. В результате вы получите уже отредактированное изображение, даже если оно было сплошь покрыто царапинами. Такая методика корректирует не только царапины, но и такие дефекты, которые эффективно удалить вручную практически невозможно: брызги воды на пленке, отпечатки пальцев и т. п.

Получение «карты дефектов» осуществляется, например, дополнительным сканированием изображения в косых и инфракрасных лучах (такой прием реализован в моделях слайдовых сканеров Nikon Coolscan LS-30/LS2000, Minolta Dimage Scan Elite). В местах дефектов ИК-излучение дополнительно рассеивается, а фокусируется полученное вспомогательное изображение отдельно от основного. Итог – два изображения: основное и «карта дефектов».

Царапины, поврежденные участки, трещины на старых фотографиях будут эффективно удалены в ходе сканирования. Для реализации технологии Digital ICE в каждом конкретном сканере необходимо оптимизировать систему формирования изображения, вести алгоритм вычисления точной карты дефектов и алгоритм коррекции дефектных пикселей.

**Технология Digital ROC (Reconstruction Of Color)** – возвращает утраченные оттенки как негативным, так и позитивным фотопленкам. Анализируя исключительно ту информацию, которую содержит сам оригинал (цветовые градиенты, тоновые кривые отдельных цветовых каналов и т. п.), Digital ROC корректирует цвета и заметно улучшает или полностью восстанавливает качество изображения. Технология реконструкции цветов также осуществляет коррекцию выдержки и цветовых сдвигов фотографий.

О наличии этих недостатков позволяет делать выводы информация, скрытая в самом изображении. При этом корректируются даже цветовые недостатки, вызванные неверной выдержкой, погрешностями освещения в момент съемки. Как известно, «ручная коррекция» цветовых сдвигов требует некоторых знаний. А затраченное на коррекцию время обратно пропорционально навыкам пользователя. Предлагаемые же в различных графических приложениях инструменты автоматической коррекции приемлемы только для изображений с минимальными искажениями цветов. Для сильно выцветших или, например, засвеченных снимков они обычно неэффективны.

Алгоритм определения и исправления цветовых недостатков состоит из двух шагов: первоначальное выравнивание цветовых оттенков путем коррекции всех цветовых каналов и последующая коррекция цветовых сдвигов. Если оригинал выцвел в результате неправильного хранения, то динамический диапазон одного или более цветовых каналов сужен относительно других. Поэтому на



первом этапе определяются различия тонового диапазона между цветовыми каналами, и с помощью коррекции тоновой кривой каждого канала их диапазоны выравниваются. Следующая ступень – удаление цветовых сдвигов и улучшение контрастности изображения. Все цветовые каналы уравниваются, для чего выбирается точка нейтрального серого цвета. Затем каждый канал цвета корректируется отдельно для соответствия черной и белой точкам, реальными для улучшения контраста.

**Технология Digital GEM (Grain Equalization Management)** – также использует данные, полученные непосредственно в процессе сканирования. С ее помощью считывается с оригинала и «удаляется» из оцифрованного изображения шум, вызванный зерном пленки. Зерно фотопленки – это группы кристаллов галогенида серебра, из которых состоит светочувствительная фотоэмульсия. Зерно пленки доступно разрешению слайд-сканера, легко воспроизводится на мониторе при просмотре изображения и неизбежно приводит к уменьшению детализации изображения и ощутимому ухудшению его качества. Поэтому возможность получить резкое и четкое изображение без следов зернистости пленки не менее полезна, чем восстановление истинных цветов и оттенков.

И, наконец, «три в одном»! **Digital ICE3** – комбинация этих трех технологий. Слайд-сканер с интегрированными тремя технологиями автоматически обеспечивает превосходный, качественный результат сканирования и у профессионалов, и у любителей. Эти три технологии реализованы не только в сканерах, но и в цветных копирах, устройствах печати фотокопий и других цифровых устройствах ввода/вывода, где качество изображения и реальность цветов для конечного потребителя первостепенны.

Конечно, сканирование с автоматическими улучшениями Digital ROC, Digital GEM и Digital ICE занимает гораздо больше времени, чем простое сканирование. Однако сканирование с такими функциями (даже с одной, а с двумя-тремя и подавно) предъявляет высокие требования к системным ресурсам: к объему оперативной памяти, свободному месту на жестком диске и т.п.

### 8.3.6. Основные технические параметры сканеров

Основными характеристиками сканеров являются три основных параметра: разрешающая способность, разрядность представления цвета и динамический диапазон.

**Разрешающая способность** – это совокупность параметров, характеризующих минимальный размер деталей изображения, который сканер в состоянии считать. Разрешение сканера, в свою очередь, может быть оптическим (или его еще называют физическим), механическим и интерполяционным.

▪ **Оптическое разрешение** характеризует минимальный размер точки по горизонтали, которую сканер в состоянии распознать. Оптическое разрешение сканеров, имеющих фиксированное фокусное расстояние (планшетные, роликовые, большинство слайд-сканеров), определяется отношением количества элементов в линии матрицы к ширине рабочей области. Для барабанных скане-

ров оптическое разрешение ограничивается возможностью фокусировки света на фотопринимающем элементе.

- **Механическое разрешение** – количество шагов, которое делает сканирующая каретка, деленное на длину пройденного пути. Поскольку на каждом шаге происходит считывание информации, то механическое разрешение определяет минимальный размер точки по вертикали, которую сканер может распознать. Обычно механическое разрешение в два раза больше оптического (правда, бывают модели, где они совпадают или, напротив, механическое разрешение в 4 раза больше оптического).

- **Интерполированное разрешение** – это увеличенное с помощью математических методов разрешение. Этот параметр чисто программный и к оптическому (физическому) разрешению никакого отношения не имеет. Просто программа, входящая в комплект поставки сканера, доводит изображение до более высокого разрешения путем добавления недостающих точек, присваивая им усредненные значения цвета соседних, реально считанных пикселей. Несмотря на то, что алгоритмы интерполяции не добавляют деталей в изображение, во многих случаях применение интерполяции позволяет несколько улучшить изображение: сглаживаются границы растровых объектов и четче прорабатываются мелкие детали. И все же интерполированное разрешение, которое, как правило, в несколько раз выше и оптического, и механического, – это больше рекламный ход производителей.

В таблице 8.1 приведены требуемые значения разрешающей способности для решения наиболее распространенных задач.

Таблица 8.1. Величины разрешающей способности для решения наиболее распространенных задач

Применение	Требуемое разрешение, dpi
<b>Сканирование в отраженном свете</b>	
Иллюстрации для Web-страниц	75...50
Распознавание текста	300...400
Штриховая графика для печати на монохромном принтере	300...400
Черно-белое фото для печати на монохромном принтере	200
Цветное фото для печати на струйном принтере	300
Текст и графика для передачи по факсу	200...250
Цветное фото для офсетной печати	225...300
<b>Сканирование в проходящем свете</b>	
35-миллиметровая пленка, фото для распечатки на струйном принтере	600...2400
60-миллиметровая пленка, фото для Web-страниц	150...300
60-миллиметровая пленка, фото для распечатки на струйном принтере	600...1200

**Глубина цвета.** Разрядность, или глубина цвета, определяет максимальное число значений, которые может принимать цвет пикселя. Иначе говоря, чем выше разрядность при сканировании, тем большее количество оттенков может содержать полученное изображение. Например, при сканировании черно-белого изображения с разрядностью 8 бит мы можем получить 256 градаций серого ( $2^8 = 256$ ), а используя 10 бит – уже 1024 градации ( $2^{10} = 1024$ ). Для цветных изображений возможны два варианта указываемой разрядности – либо количество бит на каждый из базовых цветов, либо общее количество бит. В настоящее время стандартом для хранения и передачи полноцветных изображений (например, фотографий) является 24-битный цвет. Поскольку при сканировании цветных оригиналов изображение формируется по аддитивному принципу из трех базовых цветов, то на каждый из них приходится по 8 бит, а количество возможных оттенков составляет немногим более 16,7 млн ( $2^{24} = 16777216$ ). Многие сканеры используют большую разрядность – 12, 14 или 16 бит на цвет (полная разрядность составляет соответственно 36, 42 или 48 бит), однако для записи и дальнейшей обработки изображений эта функция должна поддерживаться применяемым программным обеспечением, в противном случае полученное изображение будет записано в файл с 24-битной разрядностью.

Следует отметить, что более высокая разрядность далеко не всегда означает более высокое качество изображения. Указывая 36- или 48-битную глубину цвета в документации или рекламных материалах, производители зачастую умалчивают о том, что часть битов используется для хранения служебной информации.

В целом же можно посоветовать следующую (но реальную) разрядность представления цвета в зависимости от специфики решаемых задач:

- если сканируются в основном документы и т.п. и лишь иногда фотографии – вполне достаточно и 24 бит;
- при регулярном сканировании фотографий или каких-либо художественных иллюстраций нужен 30-битный сканер;
- если вы сканируете в основном диапозитивы, то нужен 36-битный сканер.

**Динамический диапазон.** Прежде чем говорить о динамическом диапазоне, введем понятие оптической плотности. Оптическая плотность (Optical Density) – показатель оптического диапазона носителей с изображением, которые сканер может обрабатывать без потери качества.

Как известно, более темные участки изображения поглощают большее количество падающего на них света, чем светлые. Величина оптической плотности показывает, насколько темным является данный участок изображения и для непрозрачных носителей определяется отношением падающего светового потока к отраженному (или проходящему насквозь в случае прозрачного оригинала).

Эта характеристика демонстрирует, сколько градаций яркости нанесено на оригинал.

Обычно плотность измеряется для некоего стандартного источника света, характеризуемого определенным спектральным составом. Оптическая плот-

ность обозначается числом и символом плотности – D (Density). Для удобства отношение световых потоков переводится в логарифмическую форму:

$$D = \log \frac{1}{R},$$

где D – величина плотности;

R – доля отражаемого или проходящего света.

В частности, если наблюдается десятикратный разброс яркостей, оптическая плотность определяется как 1,0D, стократный – 2,0D, тысячекратный – 3,0D. Практическим пределом для любых носителей можно считать величину 4,0D. Для большинства бумажных носителей пределом является 3,0D, а большинство планшетных сканеров пользовательского уровня имеет значение не выше 2,5D.

Оптический диапазон слайдов и негативов, как правило, выше, чем у бумажных носителей. Поэтому к сканерам, способным обрабатывать прозрачные материалы, предъявляются более жесткие требования.

Если глубина цвета описывает общее число исходных градаций цвета или серого, которыми оперирует сканер, то динамический диапазон, или диапазон плотности (dynamic range), определяет в оцифрованном изображении плавность переходов между смежными тонами. Данная характеристика может распространяться как на светочувствительные оптико-электронные преобразователи (сенсоры линеек и матриц ПЗС или ФЭУ), так и на аналого-цифровые преобразователи, фильтры, а также любые составные части сканера, создающие шумы.

Применительно к сенсорам, диапазон плотности характеризуется величиной максимальной оптической плотности, измеряется в единицах оптической плотности и оценивается рядом значений от  $D_{\min} = 0,0$  (совершенно белое изображение) до  $D_{\max} = 4,0$  (совершенно черное изображение). Чем выше максимальная оптическая плотность, тем выше значение динамического диапазона данного устройства.

Применительно к АЦП и прочим оцифровывающим устройствам, динамический диапазон описывает способность устройства воспроизводить тонкие тоновые изменения и выражает различия между самыми светлыми и самыми темными тонами, которые может обрабатывать преобразователь.

Динамический диапазон ограничен глубиной цвета. Для восьмиразрядных полутоновых изображений, отображающих до 256 градаций серого цвета, величина минимального воспроизводимого оттенка составит  $1/256$  – (0,39%), а значение динамического диапазона будет равно  $\log(256) = 2,4$ .

Величина динамического диапазона 10-разрядного изображения будет равна – 3,0, а 12-разрядного – 3,61. В реальных условиях динамический диапазон меньше из-за влияния шумов и помех.

С ростом динамического диапазона сканера расширяется и диапазон градаций яркости, которые сканер может считывать, а оригинал задерживать или поглощать. Чем шире динамический диапазон сканера, тем больше видимых деталей изображения он может считать, что более всего заметно по воспроизведению теней. В самых темных областях изображения труднее всего точно со-

считать детали изображения из-за ограниченного количества световой энергии, передающей теневые детали в режимах пропускания или отражения.

Как АЦП, так и линейки ПЗС, а также сами оригиналы характеризуются типичными значениями плотности. Некоторые из этих значений приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2. Некоторые значения динамического диапазона сканеров и оригиналов

Типы сканеров, материалы образцов	Типичный динамический диапазон
Типы сканеров	
Ручные сканеры	Менее 2,2
Полутонные сканеры	Менее 2,5
Устаревшие цветные планшетные сканеры	2,0...2,5
Цветные планшетные сканеры для офисных приложений	2,8...3,2
Цветные планшетные сканеры профессионального уровня	3,4...3,9
Барабанные настольные сканеры	3,4...4,0
Барабанные профессиональные напольные сканеры	3,6...4,0
Материалы оригиналов	
Газетная бумага	0,9
Мелованная бумага	1,5...1,9
Фотоснимки	2,3
Негативные пленки	2,8
Цветные слайды	2,7...3,0
Высококачественные диапозитивы и слайды	Свыше 3,0

Барабанные сканеры используют сканирующие элементы на фотоэлектронных умножителях, которые гораздо чувствительнее, чем линейки ПЗС типичных планшетных или слайд-сканеров. Барабанные сканеры захватывают более широкий диапазон оптических плотностей, что дает им преимущество перед ПЗС при отображении самых светлых и самых темных участков изображений полиграфического качества.

Благодаря внедрению новейших технологий, баланс показателей между барабанными и планшетными сканерами профессионального уровня выровнялся.

Другой фактор, влияющий на динамический диапазон при сканировании – логарифмический характер плотности. Для отсканированных светоотражающих оригиналов характерно большее сжатие тонов в тенях, а при сканировании прозрачных материалов наблюдается наибольшее сжатие в самых светлых областях. Широкий динамический диапазон помогает минимизировать подобное сжатие.

Производители сканеров низкого и среднего класса обычно не приводят в

спецификациях динамический диапазон и значения  $D_{max}$  своего оборудования. Приобретая сканер, выясните у продавца, какими значениями  $D_{max}$  и динамического диапазона обладают сканеры, которые вас заинтересовали.

### 8.3.7. 3D-сканеры

3D-сканер представляет собой специальное устройство, которое анализирует определённый физический объект или же пространство, чтобы получить данные о форме предмета и, по возможности, о его внешнем виде. Собранные данные в дальнейшем применяются для создания цифровой трехмерной модели этого объекта.

Создать 3D-сканер позволяют сразу несколько технологий, различающиеся между собой определёнными преимуществами, недостатками, а также стоимостью. К тому же существуют некоторые ограничения по объектам, которые могут быть оцифрованы. В частности, возникают трудности с блестящими, прозрачными или обладающими зеркальными поверхностями предметами.

Сбор 3D-данных важен в индустрии развлечений для создания фильмов и видеоигр. Эта технология востребована также в промышленном дизайне, ортопедии и протезировании, реверс-инжиниринге, разработке прототипов, для контроля качества, осмотре и документировании культурных артефактов.

Создание 3D-модели посредством сканирования обладает следующими преимуществами:

- повышает эффективность работы со сложными частями и формами;
- если САПР-модели устареют, 3D-сканирование обеспечит обновлённую версию;
- замещает пропущенные или отсутствующие части.

3D-сканеры немного похожи на обычные камеры. В частности, у них есть конусообразное поле зрения, и они могут получать информацию только с тех поверхностей, которые не были затемнены. Различия между двумя этими устройствами в том, что камера передаёт только информацию о цвете поверхности, которая попала в ее поле зрения, а вот 3D-сканер собирает информацию о расстояниях на поверхности, которая пребывает в его поле зрения. Таким образом «картинка», полученная с помощью 3D-сканера, описывает расстояние до поверхности в каждой точке изображения. Это позволяет определить положение каждой точки объекта сразу в трех плоскостях.

Существующая классификация делит 3D-сканеры на два типа: контактные и бесконтактные. В свою очередь, бесконтактные 3D-сканеры можно поделить ещё на две группы – активные и пассивные.

**Контактные 3D-сканеры.** Контактные 3D-сканеры исследуют (зондируют) объект непосредственно через физический контакт. Ярким примером контактного 3D-сканера являются координатно-измерительные машины (КИМ). Они используются в основном в производстве и могут быть сверхточными. К недостаткам КИМ можно отнести необходимость непосредственного контакта с поверхностью объекта. Поэтому существует возможность повредить

предмет. Это весьма важно в том случае, если сканируются тонкие или ценные предметы, например, исторические артефакты. Ещё один недостаток КИМ перед другими методами сканирования – медлительность. Примером КИМ могут послужить ручные измерительные зонды, с помощью которых оцифровывают глиняные модели для компьютерной анимации.

**Бесконтактные активные сканеры.** Активные сканеры используют определённые виды излучения или просто свет и сканируют объект через отражение света или прохождение излучения через объект или среду. В таких устройствах применяется свет, ультразвук или рентгеновские лучи.

▪ **Времяпролётные сканеры.** Времяпролётный лазерный 3D-сканер – это активный сканер, который использует лазерный луч, чтобы исследовать объект. В основе этого типа сканера лежит времяпролётный лазерный дальномер. В свою очередь, лазерный дальномер определяет расстояние до поверхности объекта, исходя из времени пролёта лазерного луча туда и обратно. Сам лазер используется для создания светового импульса, в то время как детектор измеряет время до того момента, пока свет не отразится. Точность времени пролёта лазерного луча 3D-сканера зависит от того, насколько точно мы можем измерить само время.

▪ **Триангуляционные сканеры.** Триангуляционные лазерные 3D-сканеры также относятся к активным сканерам, которые используют лазерный луч для того, чтобы прозондировать объект. Подобно времяпролётным 3D-сканерам, триангуляционные устройства посылают на объект сканирования лазерный луч, а отдельная камера фиксирует расположение точки, куда попал лазер. В зависимости от того, как далеко лазер продвигается по поверхности, точка появляется в различных местах поля зрения камеры. Эта технология названа триангуляцией потому, что лазерная точка, камера и сам лазерный излучатель образуют своеобразный треугольник. Известна длина одной стороны этого треугольника – расстояние между камерой и лазерным излучателем. Также известен угол лазерного излучателя. А вот угол камеры можно определить по расположению лазерной точки в поле обзора камеры.

Как времяпролётные, так и триангуляционные сканеры обладают своими сильными и слабыми сторонами, что определяет их выбор для каждой конкретной ситуации. Преимущество времяпролётных устройств в том, что они оптимально подходят для работы на очень больших расстояниях вплоть до нескольких километров. Они идеальны для сканирования зданий или географических объектов. В то же время, к их недостаткам можно отнести невысокую точность измерений. Ведь скорость света довольно высока, поэтому при подсчете времени, которое требуется лучу, дабы преодолеть расстояние до и от объекта, возможны некоторые ошибки, что делает результаты сканирования приблизительными.

Что же касается триангуляционных дальномеров, то у них ситуация с точностью до наоборот. Диапазон их действия составляет лишь несколько метров, а вот точность относительно высока. Такие устройства могут измерить расстояние с точностью до десятков микрометров.

- **Сканеры структурированного света.** 3D-сканеры, работающие по технологии структурированного света, представляют собой проекцию световой сетки непосредственно на объект, а деформация этого рисунка и представляет собой модель сканируемого предмета. Сетка проецируется на объект с помощью жидкокристаллического проектора или другого постоянного источника света. Камера, расположенная чуть в стороне от проектора, фиксирует форму сети и вычисляет расстояние до каждой точки в поле зрения. Сканирование структурированным светом до сих пор остаётся активной областью исследований, которой ежегодно посвящается довольно много научно-исследовательских работ.

- **Сканеры модулированного света.** При использовании 3D-сканеров на основе модулированного света световой луч, направленный на объект, постоянно меняется. Зачастую смена света проходит по синусоиде. Камера фиксирует отражённый свет и определяет расстояние до объекта, учитывая путь, который преодолел луч света. Модулированный свет позволяет сканеру игнорировать свет от других источников, кроме лазера, что позволяет избежать помех.

**Бесконтактные пассивные сканеры.** Пассивные сканеры не излучают свет, вместо этого они используют отраженный свет из окружающего пространства. Большинство сканеров этого типа предназначены для обнаружения видимого света, ведь это наиболее доступный вид окружающего излучения. Пассивные методы сканирования относительно дешёвые, ведь в большинстве случаев они не нуждаются в специальном оборудовании, достаточно обычной цифровой камеры. Стереоскопические системы предусматривают использование двух видеокамер, расположенных в разных местах, но в одном направлении. Анализируя различия в снимках каждой камеры, можно определить расстояние до каждой точки на изображении. Этот метод по своему принципу похож на стереоскопическое зрение человека.

- Фотометрические системы обычно используют одну камеру, которая производит съёмку нескольких кадров при любых условиях освещения. Эти методы пытаются преобразовать модель объекта, чтобы восстановить поверхность по каждому пикселю.

- Силуэтные техники используют контуры из последовательных фотографий трехмерного объекта на контрастном фоне. Эти силуэты экструдируют и преобразуют, чтобы получить видимую оболочку объекта. Однако этот метод не позволяет просканировать углубления в объекте (к примеру, внутреннюю полость чаши).

- Существуют и другие методы, которые основаны на том, что пользователь сам обнаруживает и идентифицирует некоторые особенности и формы объекта, опираясь на множество различных изображений объекта, которые позволяют создать приблизительную модель этого объекта. Такие методы можно применять для быстрого создания трехмерной модели объектов простых форм, к примеру, здания. Сделать это можно, воспользовавшись одним из программных приложений: D-Sculptor, iModeller, Autodesk ImageModeler или PhotoModeler.



Приведем несколько примеров использования 3D-сканирования.

- **Индустрия развлечений.** 3D-сканеры активно используются в индустрии развлечений для создания цифровых 3D-моделей в кинематографе и видеоиграх. Если у создаваемой модели есть аналог в реальном мире, то сканирование позволит создать трехмерную модель гораздо быстрее, нежели разработка этой же модели посредством 3D-моделирования. Довольно часто деятели искусства сперва лепят физическую модель, которую затем сканируют, чтобы получить цифровой эквивалент, вместо того, чтобы создавать такую модель на компьютере.

- **Культурное наследие.** Существует множество исследовательских проектов, которые проводились с применением сканирования исторических мест и артефактов для их документирования и анализа.

В 1999 году исследователи из Стэнфордского университета начали сканировать статуи Микеланджело во Флоренции. При исследованиях был использован обычный лазерный триангуляционный сканер. Были сканированы знаменитый «Давид», «Рабы» и ещё четыре статуи из часовни Медичи. Сканирование производится с плотностью точек равной 0,25 мм, достаточной для того, чтобы увидеть следы от долота Микеланджело. Столь детальное сканирование предполагает получения огромного количества данных, на обработку которых ушло около пяти месяцев.

Примерно в это же время работала исследовательская группа от компании IBM. Перед ними встала задача просканировать скульптуру «Флорентийская пьета», чтобы получить как геометрические данные, так и информацию о цвете. Цифровая модель, полученная в результате сканирования, была использована для дальнейшего восстановления статуи.

- **Медицина.** 3D-сканеры активно используются в ортопедии и стоматологии для создания 3D-формы пациента. Постепенно они заменяют собой устаревшую гипсовую технологию. Программное обеспечение CAD/CAM применяется для создания протезов и имплантатов.

- **Обеспечение качества и промышленная метрология.** Весьма активно 3D-сканирование применяется в промышленности для обеспечения качества продукции, к примеру, для измерения геометрической точности. Преимущественно все промышленные процессы, такие как сборка, являются довольно сложными, они также отличаются высокой степенью автоматизации и обычно основаны на CAD (автоматизированное проектирование данных). Проблема в том, что та же степень автоматизации требуется и для обеспечения качества. Яркий пример – автоматизированная сборка современных автомобилей, ведь они состоят из множества частей, которые должны точно совпадать друг с другом.

## 8.4. Фотокамеры

### 8.4.1. Классификация цифровых фотокамер

Мировая промышленность выпускает огромное количество фотосъемочной техники. Но на самом деле кажущееся разнообразие не так уж велико, камеры отлично укладываются в рамки неофициальной, но уже устоявшейся классификации.

В приведенной ниже классификации мы не будем рассматривать цифровые устройства с функцией фотоаппарата. Это могут быть: сотовые телефоны, КПК, MP3-плееры, видеокамеры и другие устройства. Но каким бы ни было устройство и как бы много оно ни стоило, помните, что функция фотосъемки в нем будет чем-то дополнительным, второстепенным. А раз так, то и снимки, им сделанные, будут очень невысокого качества. Кроме того, такие «фотоаппараты», как правило, работают исключительно в автоматическом режиме и не позволяют влиять на процесс съемки. Добавьте к этому низкое разрешение и качество широкоугольного объектива-монокля (состоящего из одной линзы), характерные для большинства подобных устройств.

Самыми распространенными типами фотокамер являются малоформатные камеры, поэтому основное внимание мы уделим им, но все-таки упомянем о среднеформатных камерах, как о разновидности зеркальных камер.

Все существующие малоформатные фотоаппараты можно разделить на три вида: компактные, зеркальные и беззеркальные. Каждый из видов имеет внутренние вариации, а отличаются они между собой особенностями эксплуатации: удобством, быстродействием и универсальностью системы.

#### Компактные фотоаппараты

Компактные фотоаппараты подразделяются на три группы:

- автоматические цифровые фотоаппараты;
- фотоаппараты с расширенным набором настроек;
- просьюмерские камеры.

**Автоматические цифровые фотоаппараты** работают по принципу — **Point & Shoot (Навел и снял)**. То есть задача фотографа состоит только в выборе кадра и нажатии кнопки. Все требуемые настройки камера сделает автоматически, в том числе, при необходимости включит встроенную вспышку. Такие фотоаппараты очень просты и имеют минимальное количество настроек. Тем не менее, управление некоторыми параметрами съемки осуществляется оператором, например, переключение между режимами (пейзаж, портрет, макро и т.д.). Также вручную можно регулировать ISO, баланс белого и включать или отключать встроенную вспышку, а в некоторых аппаратах и регулировать ее мощность.

Автоматические цифровые фотоаппараты позволяют делать качественные снимки только при достаточном освещении, например, при дневном свете на открытой местности. При недостаточном освещении добиться качественной фотографии при помощи такого фотоаппарата довольно сложно. Обычно в фотоаппаратах этой группы применяется недорогая оптика, зум объектива не превышает кратность 4х.

**Фотоаппараты с расширенным набором настроек** используют те пользователи, которым ограниченных настроек полностью автоматических камер уже недостаточно. Кроме полностью автоматических режимов у таких устройств есть возможность настройки параметров выдержки и диафрагмы. Для этого предусмотрены режимы приоритета выдержки, приоритета диафрагмы или ручного режима.

Новые опции позволяют получать качественные фотографии в сложных условиях съемки, использовать различные эффекты уже при съемке, без использования последующей обработки. Впрочем, для получения хорошего снимка при ручных настройках пользователь должен знать принцип их действия, а также обладать определенными навыками их применения в различных условиях. Объектив таких фотоаппаратов имеет более сложную конструкцию, а передняя линза объектива иногда изготавливается из оптического стекла. Некоторые модели камер обладают 10-кратным увеличением и выше. Цены фотоаппаратов этой группы имеют большой разброс, а минимальная цена составляет примерно 5 000 рублей.

**Просьюмерские камеры** (от Professional Consumer, можно вольно перевести как «профессиональный потребитель») – подвид компактных фотоаппаратов для продвинутых фотолюбителей, позволяет делать профессиональные снимки. Такие камеры оснащены автоматическими и ручными настройками выдержки и диафрагмы, поддерживают режим высокоскоростной съемки, при котором за одну секунду камера делает несколько кадров. В качестве дополнительного оснащения используются различные насадки и светофильтры. Встроенная вспышка имеет большую мощность. Некоторые модели позволяют использовать внешние вспышки и системы удаленного управления вспышками. Просьюмерские камеры отличаются большим размером матрицы, более качественной оптикой и обширной системой настроек, с которой начинающему фотографу справиться нелегко.

Подобные аппараты приобретают даже профессиональные фотографы для работы в условиях, когда нет возможности носить с собой большую зеркальную камеру и объективы. По цене такие фотоаппараты сопоставимы с зеркальными камерами начального уровня.

Компактные фотоаппараты обладают следующими преимуществами:

- имеют небольшой вес и габариты;
- бесшумны;
- работают от распространенных элементов питания типа АА;
- имеют умеренную цену;

- благодаря короткофокусному объективу устройства имеют большую глубину резкости даже при открытой диафрагме.

Недостатки компактных фотоаппаратов:

- низкое качество оптики;
- невысокое качество изображения даже при высоком разрешении, особенно при маленьких размерах матрицы;
- замедленный автофокус не позволяет фокусироваться на подвижных объектах;
- неудобное управление многими функциями через меню.
- в качестве видоискателя чаще всего используется экран, что при ярком свете осложняет построение кадра;
- при визировании по экрану камеру необходимо держать камеру на вытянутых руках, из-за чего дрожание рук передаётся на камеру и приводит к размытости снимков;
- при компоновке кадра постоянно включенный экран быстро разряжает батарею.

## **Зеркальные фотоаппараты**

Цифровой однообъективный зеркальный фотоаппарат он же DSLR (Digital Single-Lens Reflex) несмотря на, казалось бы, архаичную конструкцию, остаётся лучшим решением для съёмки подвижных объектов. Хорош он и для неподвижных сцен в силу своей универсальности. Цифровые зеркалки – это системные камеры. Система же включает в себя не только фотоаппараты, но и многочисленные объективы, вспышки и прочие аксессуары на все случаи жизни. Если вы серьёзно относитесь к фотографии, зеркальная камера – это, в сущности, единственный выбор. По крайней мере, на настоящем этапе развития фототехники. Беда с системными камерами в том, что, покупая камеру, вы привязываете себя к конкретной системе. Впоследствии, если вы захотите по тем или иным причинам сменить систему, это может оказаться весьма затратным.

Зеркальные камеры обеспечивают полное управление всеми параметрами съёмки, позволяют делать фотографии высокого качества и предназначены для использования профессиональными фотографами и продвинутыми фотолюбителями. Они оснащены большими матрицами, некоторые из которых достигают размера 24×36 мм. Как уже говорилось, зеркальные фотоаппараты с размером матрицы 24×36 мм являются полнокадровыми и относятся к профессиональным, а все остальные, с меньшим размером матрицы, относятся к полупрофессиональным или к зеркальным камерам начального уровня. Характерной особенностью является также полное отсутствие паузы между нажатием кнопки и срабатыванием затвора, что позволяет снимать динамичные события. Зеркальные фотоаппараты обеспечивают наилучшее качество снимков сделанных цифровой техникой, за исключением среднеформатных цифровых камер. Однако их цена достаточно высока, и не все профессионалы могут их себе позволить.

Основной особенностью всех зеркальных фотоаппаратов, кроме большой матрицы и сменного объектива, является наличие зеркального оптического видоискателя. При снятом объективе внутри аппарата можно увидеть зеркало, установленное под углом  $45^\circ$ , над которым расположено матовое стекло, а за зеркалом находится сенсор фотоаппарата (матрица), скрытый шторным затвором. Поступающий через объектив свет отражается зеркалом на матовое стекло, в результате фотограф через пентапризму и окуляр видит компонованный кадр. Перед открытием затвора зеркало приподнимается, позволяя свету через объектив падать беспрепятственно на матрицу. После экспонирования зеркало возвращается в исходное положение. Такая схема позволяет фотографу с максимальным разрешением без задержек и параллакса видеть через видоискатель то изображение, которое видит объектив камеры.

Зеркальные камеры могут продаваться как без объектива (Body), так и с относительно недорогим универсальным объективом (Kit) среднего качества, не позволяющим задействовать все возможности камеры, но отлично подходящего для начинающих фотолюбителей. Для разножанровой съемки необходимо использовать специальные объективы высокого качества, которые позволяют полностью использовать потенциал матрицы, однако стоят они достаточно дорого. Цена зеркальных фотоаппаратов стартует примерно с 15000 рублей.

Преимущества зеркальных фотоаппаратов:

- большой сенсор при одинаковом разрешении и одинаковом ISO обеспечивает высокое качество изображения;
- мгновенное срабатывание камеры;
- работа оптического видоискателя в реальном времени, без задержек;
- быстрый фазовый автофокус мгновенно наводит резкость, в отличие от задержек контрастного автофокуса;
- удобное и оперативное ручное управление без хождений по меню, важные функции вынесены на корпус;
- возможность ручного управления множеством настроек;
- механическое кольцо установки фокусного расстояния на зум-объективах обеспечивает быстрое и точное кадрирование;
- в состоянии покоя включенная камера потребляет минимум энергии, а оптический видоискатель не расходует энергию в отличие от жидкокристаллического дисплея;
- большая матрица позволяет использовать относительно длиннофокусные объективы, за счет чего достигается малая глубина резкости при открытой диафрагме. Для увеличения глубины резкости необходимо прикрыть диафрагму;
- возможность сохранять фото в формате RAW;
- большой выбор объективов различного назначения.

К недостаткам зеркальных камер относятся:

- наибольшие габариты и вес из всех типов малоформатных камер;
- дорогие и объемные объективы;
- громкий механический щелчок при спуске затвора;

- загрязнение матрицы при смене объективов проникающей внутрь фотоаппарата пылью, что может привести к появлению незначительных пятен на снимках, впрочем, в настоящее время многие аппараты оснащены ультразвуковыми системами очистки матрицы, которые с легкостью решают эту проблему.

Кроме малоформатных зеркальных фотоаппаратов, комплектуемых матрицами формата APS-C и FF, есть еще среднеформатные зеркальные камеры, у которых размер матрицы превышает FF (36x24 мм). Это 45x30 мм, 44x33 мм, 44x36 мм, 48x36 мм, 53,7x40,3 мм и 56x41,5 мм. Такая большая площадь матрицы позволяет добиться феноменального качества изображения, но большие сенсоры стоят очень дорого. Отсюда заградельная стоимость камер (исчисляется в тысячах и десятках тысяч долларов). Продаются они в небольшом количестве специализированных магазинов, обладает рядом особенностей и поэтому зачастую недоступны даже профессиональным фотографам. На выпуске таких камер сосредоточены фирмы Hasselblad и Mamiya. Существуют также среднеформатные камеры Leica и Pentax.

Среднеформатные камеры могут выполняться со сменной матрицей – такой тип представляет собой очень большие зеркалки со сменными цифровыми задниками.

Цифровой задник представляет собой съемный модуль, в который встроена матрица, процессор и вся электроника, экран, органы управления, разъем для флешки и аккумулятор. В этом случае камера состоит из трех частей: цифрозадника, корпуса и объектива. Причем камеру можно собрать из разных «комплектующих» под конкретный тип съемки.

Без сомнения, лидерами в производстве цифровых зеркальных камер являются Canon и Nikon. Обе компании занимаются разработкой фототехники не первое десятилетие, и, поверьте, они знают своё дело. Их системы являются наиболее полными и включают в себя не только широкий выбор фотоаппаратов, как любительского, так и профессионального уровня, но и колоссальное разнообразие объективов, предназначенных для решения любых фотографических задач. Как у Canon, так и у Nikon имеются полнокадровые камеры, хоть они и достаточно дороги.

Выбирая между Nikon и Canon, вы не можете ошибиться. Они одинаково хороши. Лично я предпочитаю Nikon, но это скорее дело привычки к эргономике и дизайну никоновских камер. Ни один профессионал не будет всерьёз участвовать в дискуссиях на тему «Nikon против Canon». Это глупо, так как конкуренция между двумя гигантами настолько жёсткая, что если бы одна из компаний вдруг в чём-то уступила бы другой, она быстро оказалась бы не у дел.

Среди производителей зеркальных камер, так сказать, второго эшелона следует упомянуть Pentax и Sigma. Фотоаппараты системы Sony  $\alpha$  не являются зеркальными в традиционном понимании, хотя и позиционируются компанией Sony как DSLR: несмотря на присутствие зеркала, видоискатель у них не оптический, а электронный, а значит – энергопотребляющий. Зато у Sony есть полнокадровые модели.

Не стану спорить – камеры Pentax, Sigma и Sony весьма неплохи и более чем пригодны для создания потрясающих фотографий; более того, некоторые модели могут быть даже в большей степени инновационными в техническом отношении, нежели относительно консервативные Nikon и Canon, но, во-первых, и Nikon и Canon отличаются самым пристальным вниманием к мелочам, касающимся удобства и быстроты в обращении с камерой; во-вторых, их системы наиболее обширны и универсальны и, наконец, в-третьих, системы Nikon и Canon достаточно популярны и продаются повсюду, что порой может очень облегчить процесс покупки нужного объектива. Поэтому Olympus, Fujifilm, Panasonic и Samsung уже оставили рынок зеркальных камер и сосредоточили свои силы на камерах беззеркальных, рынок которых ещё не успели подмять под себя Nikon и Canon.

### **Беззеркальные камеры со сменной оптикой**

Не так давно появился новый, смешанный тип фотоаппаратов, которые называют беззеркальными или еще EVIL (Electronic Viewfinder with Interchangeable Lens) или MILC (Mirrorless Interchangeable Lens Camera), характеризуется наличием достаточно большого сенсора, сменной оптикой и электронного видоискателя. Матрицы этих фотоаппаратов идентичны матрицам зеркальных камер, но в аппаратах отсутствует механизм визирования при помощи зеркала и пентапризмы, что позволяет существенно уменьшить их габариты. Малые размеры, возможность непосредственной наводки резкости при помощи ЖК-дисплея, возможность смены объективов, а также высокое качество снимков вызывают рост популярности этой группы камер. Цены беззеркальных фотоаппаратов находятся на одном уровне с ценами зеркальных камер начального уровня.

Преимущества беззеркальных камер:

- высокое качество изображения;
- компактные размеры по сравнению с зеркальными камерами;
- выбор сменных объективов достаточно широк;
- отсутствие шума от механического затвора и хлопающего зеркала;
- отсутствие вибрации от подъёма зеркала по сравнению с зеркальной камерой, вызывающей ухудшение резкости изображения.

Беззеркальные камеры обладают следующими недостатками:

- электронный видоискатель работает с небольшой задержкой. Лишь некоторые модели оснащены видоискателем-окуляром, в основном визирование осуществляется по экрану;
- контрастный автофокус делает фотоаппарат малоприспособленным для съёмки подвижных объектов. Быстродействующим гибридным фазово-контрастным автофокусом оборудованы только системы Canon M и Nikon 1.
- эргономика беззеркальных фотоаппаратов ближе к компактным и уступает зеркальным камерам;

- электронный видоискатель и сенсор вызывают большой расход энергии, причем благодаря крупному сенсору беззеркальные камеры ещё более прожорливы, чем компактные;

- из-за отсутствия зеркала матрицы беззеркальных камер подвержены загрязнению даже более, чем зеркальные.

**Резюме:** Каждый вид камеры уместен в конкретной ситуации. Можно провести аналогию с компьютерами. Компактные фотоаппараты похожи на планшеты, беззеркалки – на ноутбуки, зеркалки (с форматами матриц APS-C и FF) – на десктопы, среднеформатные зеркалки – на серверы. Причем в зависимости от наличия тех или иных характеристик они могут находиться на «пересечении классов». К примеру, бюджетная зеркалка с матрицей APS-C напоминает офисный десктоп, а топовая профессиональная FF зеркалка – мощный компьютер. Причем с задачами офисного десктопа с успехом справится топовый (и не только) ноутбук, находящийся на класс ниже, а с задачами мощного ПК – сервер.

Полагаю, что не следует обращать внимание на компактные камеры. Это аппараты, приобретаемые по типу «лишь бы был». В любом случае, компакт будет сильно ограничивать ваши возможности в случае, если вы захотите совершенствоваться в фотоделе. Если же вы все-таки решили приобрести компакт, то смотрите в сторону моделей с расширенными настройками. В сторону беззеркалок вполне можно смотреть, но нужно понимать их особенности и принять тот факт, что возможности «апгрейда» у них несколько хуже, чем у зеркалок (нужного объектива может не быть или он будет стоить слишком дорого). Последняя проблема решается, так как на беззеркалки даже можно установить оптику от зеркалок с помощью переходников.

Что касается зеркалок, то это верные и надежные помощники, которые обеспечивают отличное качество изображения и полный контроль над процессом съемки. Если вы намерены серьезно заниматься фотографией, то следует остановить свой выбор на последнем варианте.

#### 8.4.2. Матрица фотокамеры

Сердцем любой цифровой видео- или фотокамеры (в настоящее время границы между этими типами устройств постепенно стираются) является светочувствительный сенсор. Он преобразует видимый свет в электрические сигналы, используемые для дальнейшей обработки с помощью электронных схем. Из школьного курса физики известно, что свет можно рассматривать как поток элементарных частиц – фотонов. Фотоны, попадая на поверхность некоторых полупроводниковых материалов, способны приводить к образованию электронов и дырок (напомним, что дыркой в полупроводниках принято называть вакантное место для электрона, образующееся в результате разрыва ковалентных связей между атомами полупроводникового вещества). Процесс генерации электронно-дырочных пар под воздействием света возможен только в том случае, когда энергии фотона достаточно, чтобы «оторвать» электрон от «родного»



ядра и перевести его в зону проводимости. Энергия фотона напрямую связана с длиной волны падающего света, то есть зависит от так называемого цвета излучения. В диапазоне видимого (то есть воспринимаемого человеческим глазом) излучения энергии фотонов оказывается достаточно для того, чтобы породить генерацию электронно-дырочных пар в таких полупроводниковых материалах, как, например, кремний.

Поскольку количество образующихся фотоэлектронов прямо пропорционально интенсивности светового потока, появляется возможность связывать количество падающего света с величиной порождаемого им заряда. Именно на этом простом физическом явлении и основан принцип действия светочувствительных сенсоров. Сенсор выполняет пять основных операций: поглощает фотоны, преобразует их в заряд, накапливает его, передает и преобразует в напряжение. В зависимости от технологии изготовления различные сенсоры осуществляют задачи хранения и накопления фотоэлектронов по-разному. Кроме того, могут использоваться различные методы преобразования накопленных электронов в электрическое напряжение (аналоговый сигнал), которое, в свою очередь, преобразуется в цифровой сигнал.

В большинстве современных цифровых устройствах для фото- и видеосъёмки используется два типа матриц – CCD и CMOS:

- CCD – charge-coupled device (или ПЗС – прибор с зарядной связью);
- CMOS – complementary metal-oxide-semiconductor (или КМОП – комбинентарная логика на транзисторах металл-оксид-полупроводник).

### **CCD-матрица**

CCD (ПЗС)-матрица представляет собой прямоугольную пластину светочувствительных элементов (фотодиодов), расположенных на полупроводниковом кристалле кремния. В основе принципа ее действия лежит построчное перемещение зарядов, которые накопились в прорехах, образованных фотонами в атомах кремния. То есть при столкновении с фотодиодом фотон света поглощается и при этом выделяется электрон (происходит внутренний фотоэффект). В результате образуется заряд, который нужно как-то сохранить для дальнейшей обработки. Для этой цели в кремниевой подложке матрицы встроен полупроводник, над которым располагается прозрачный электрод из поликристаллического кремния. В результате подачи на данный электрод электрического потенциала в обеднённой зоне под полупроводником образуется так называемая потенциальная яма, в которой и хранится полученный от фотонов заряд.

При считывании с матрицы электрического заряда осуществляется перенос зарядов (хранящихся в потенциальных ямах) по электродам переноса к краю матрицы (последовательный регистр сдвига) и в сторону усилителя, который усиливает сигнал и передает его в аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), откуда преобразованный сигнал направляется в процессор, который обрабатывает сигнал и сохраняет полученное изображение на карту памяти.

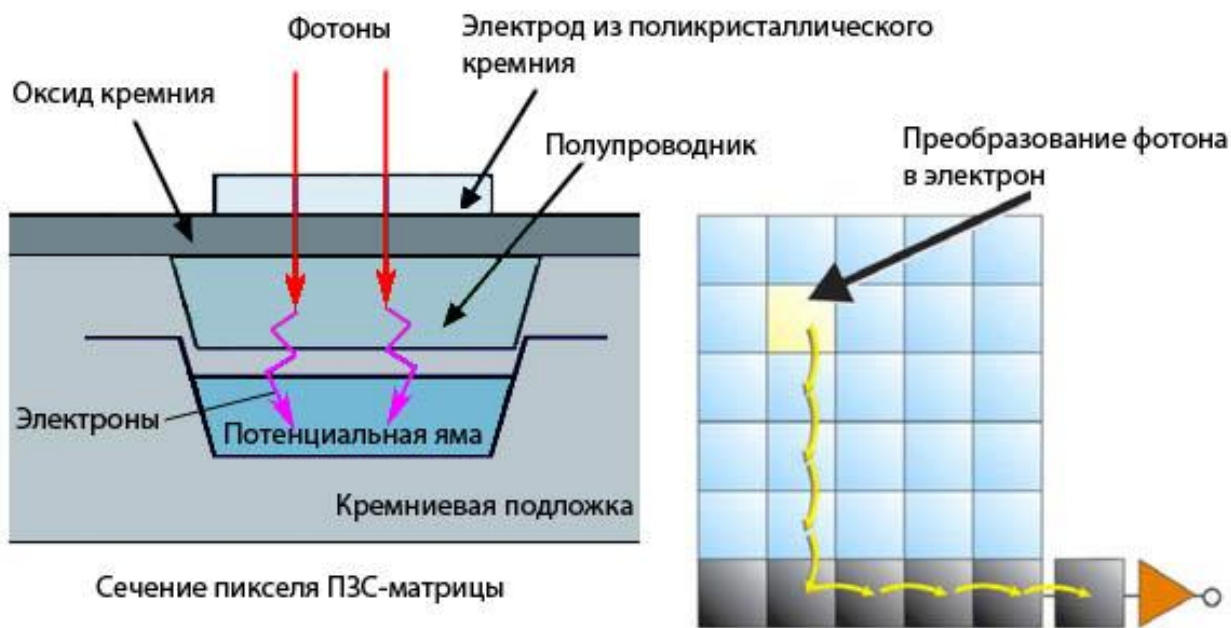


Рис.8.13. Принцип работы ПЗС-матрицы

ПЗС-матрицы отличаются небольшими размерами и позволяют получать достаточно качественные фотографии при съемке с нормальным освещением.

Преимущества ПЗС-матриц:

- конструкция матрицы обеспечивает высокую плотность размещения фотозаэлементов (пикселей) на подложке;
- высокая эффективность (отношение зарегистрированных фотонов к их общему числу составляет около 95%);
- высокая чувствительность;
- хорошая цветопередача (при достаточном освещении).

Недостатки ПЗС-матриц:

- высокий уровень шума на высоких уровнях чувствительности ISO (на низких ISO, уровень шума умеренный);
- низкая скорость работы в сравнении с CMOS-матрицами;
- высокое энергопотребление;
- более сложная технология считывания сигнала, так как необходимо много управляющих микросхем;
- производство ПЗС-матриц обходится дороже, чем CMOS-матриц.

### CMOS-матрица

Матрица CMOS, или КМОП использует активные точечные сенсоры. В отличие от ПЗС-матриц, КМОП-матрица содержат отдельный транзистор в каждом светочувствительном элементе (пикселе), в результате чего преобразование заряда выполняется непосредственно в пикселе. Полученный заряд может быть считан из каждого пикселя индивидуально, поэтому отпадает необходимость переноса заряда (как это происходит в ПЗС-матрицах).

Пиксели КМОП-матрицы интегрируются непосредственно с аналогово-цифровым преобразователем или даже с процессором. В результате примене-

ния такой рациональной технологии происходит экономия энергии за счет сокращения цепочек действий по сравнению с матрицами CCD, а также удешевление устройства за счет более простой конструкции.

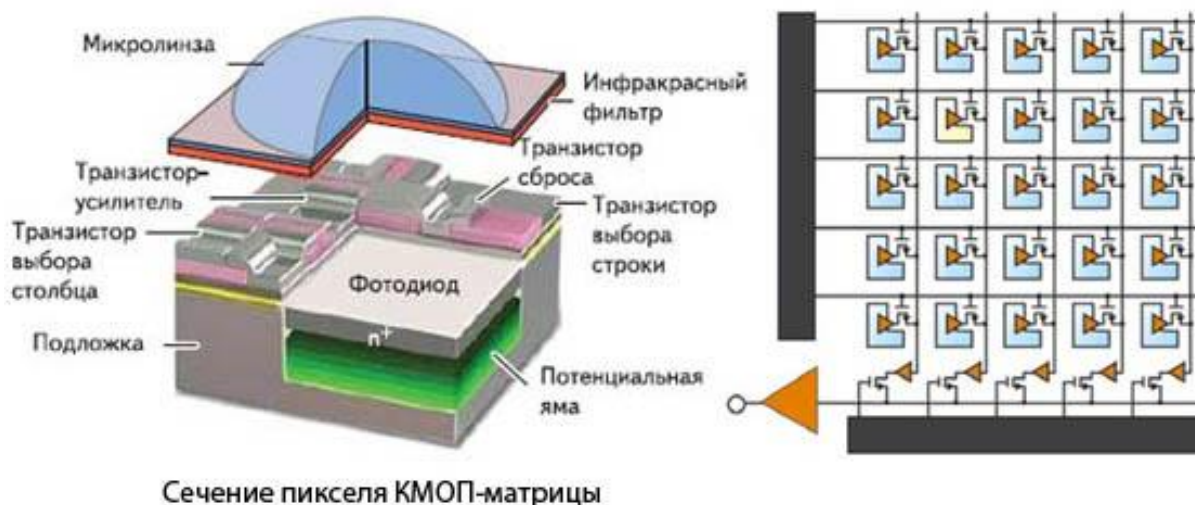


Рис. 8.14. Принцип работы КМОП-матрицы

Краткий принцип работы КМОП-матрицы:

- перед съемкой на транзистор сброса подается сигнал сброса;
- во время экспозиции свет проникает через линзу и фильтр на фотодиод и в результате фотосинтеза в потенциальной яме накапливается заряд;
- считывается значение полученного напряжения;
- производится обработка данных и сохранение изображения.

Преимущества КМОП-матриц:

- низкое энергопотребление (особенно в ждущих режимах);
- высокое быстродействие;
- требует меньше затрат при производстве, благодаря схожести технологии с производством микросхем;
- единство технологии с другими цифровыми элементами, что позволяет объединить на одном кристалле аналоговую, цифровую и обрабатывающую части (т.е. кроме захвата света в пикселе можно преобразовать, обработать и очистить сигнал от шума);
- возможность произвольного доступа к каждому пикселю или группе пикселей, что позволяет при необходимости уменьшить размер захваченного изображения и увеличить скорость считывания. Данная операция получила название кадрированного считывания. Кадрирование позволяет уменьшить размер захваченного изображения и потенциально увеличить скорость считывания по сравнению с ПЗС-сенсорами, поскольку в последних для дальнейшей обработки необходимо выгрузить всю информацию.

Обобщенная структурная схема матрицы показана на рис. 8.15.

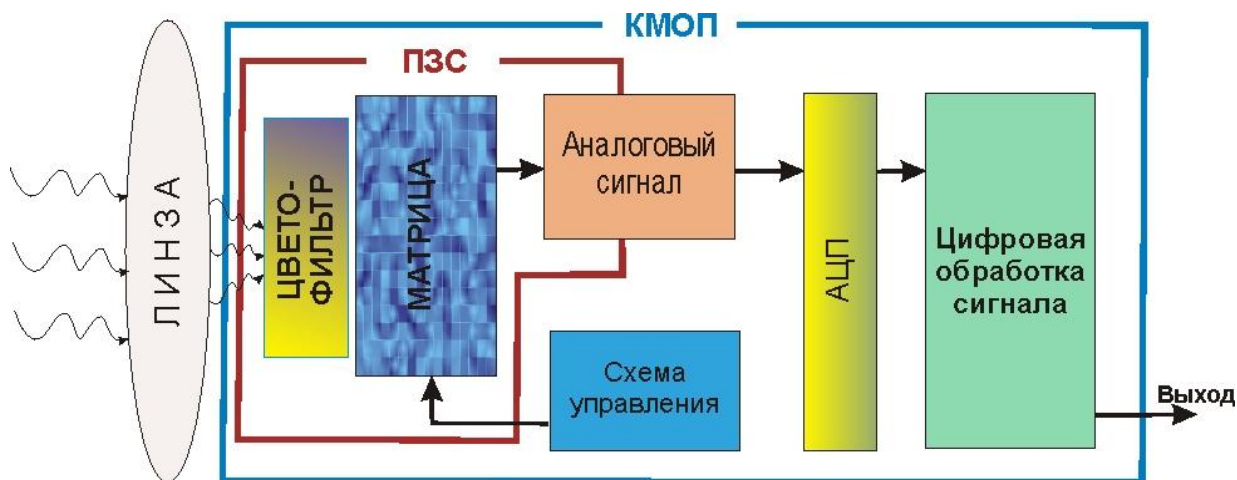


Рис. 8.15. Структурная схема матриц ПЗС и КМОП

- появляется возможность применять одну и ту же матрицу в принципиально различных режимах. В частности, быстро считывая только малую часть пикселей, можно обеспечить качественный режим живого просмотра изображения на встроенном в аппарат экране с относительно малым числом пикселей. Можно отсканировать только часть кадра и применить её для отображения на весь экран. Тем самым удастся получить возможность качественной ручной фокусировки. Есть возможность вести репортажную скоростную съёмку с меньшим размером кадра и разрешением.

Недостатки КМОП-матриц:

- фотодиод занимает малую площадь пикселя, в результате получается низкая светочувствительность матрицы, но в современных КМОП-матрицах этот минус практически устранен;
- наличие теплового шума от нагревающихся транзисторов внутри пикселя в процессе считывания.
- фотооборудование с таким типом матриц отличается большим весом и размерами.

Если раньше все видеокамеры использовали CCD-технологии, то на сегодняшний день основным направлением развития индустрии видеокамер становятся CMOS-матрицы. На сегодняшний день матрицы, выполненные по технологии CMOS, завоевали более 90% мирового рынка, а не так давно безумно популярным CCD уже пророчат скорый закат.

Недавно компания Sony (один из основных производителей матриц) заявила о прекращении выпуска ПЗС-сенсоров изображения к 2020 году. В марте 2017 года она остановит линию по выпуску ПЗС-сенсоров в Технологическом центре Кагосимы (Kagoshima Technology Centre) и до 2020 года продолжит выводить с рынка эту продукцию. Вместо этого производитель сфокусируется на КМОП-датчиках. Аналитик компании Yole Development Пьер Камбу уверен, что для отрасли решение Sony даст положительные результаты, а её примеру могут последовать другие. «CCD мёртв, да здравствует CMOS!», – заключает в своём комментарии Yole Development.

В описании фотоаппарата приводятся физический размер матрицы и количество пикселей (фотоэлементов).

Производители фотоаппаратов акцентируют внимание на количестве пикселей. Однако на качество фото гораздо большее влияние оказывает физический размер (ширина и высота) матрицы фотоаппарата. Чем больше матрица, тем более качественное фото можно получить с нее. На больших матрицах больше размер фотоэлемента, а при увеличении размера фотоэлемента улучшаются его фотоэлектрические характеристики. В частности, матрицы с большим размером фотоэлементов имеют большую светочувствительность, то есть позволяют сделать снимки в условиях плохой освещенности.

Количество фотоэлементов матрицы указывается в пикселях в виде цифры, например 5 мегапикселей (5 Мп), 12 мегапикселей (12 Мп).

С размером матрицы гораздо сложнее. Его могут указывать в миллиметрах, например 24x36 мм. Его могут указывать в непонятных комбинациях дробей –  $1/2.33''$ . Или в виде кроп-фактора (число, десятичная дробь), например 1,5.

Принцип заключается в следующем – есть «базовый» размер матрицы равный 24x36 мм (кадр классической фотопленки 35 мм). Матрица такого размера считается полноразмерной. Дробь вида  $1/1.7''$  или  $1/2.33''$  используются для матриц, размер которых меньше чем 24x36 мм. Дробь вида  $1/2.33''$  указывает размер матрицы по диагонали. А кроп-фактор показывает отношение диагонали матрицы к диагонали полного кадра 24x36 мм. Например, кроп-фактор 1.5 означает, что диагональ матрицы в полтора раза меньше диагонали полноразмерной матрицы.

Проще всего ориентироваться по кроп-фактору матрицы, поскольку это десятичное число, и оно прямо показывает отношение размера матрицы к полному кадру. Кроп-фактор, равный единице – это полноразмерная матрица 24x36 мм (full frame). Чем ближе кроп-фактор к единице, тем крупнее матрица и тем выше будет качество фото.

С размером диагонали сложнее, поскольку матрицы бывают с разными соотношениями сторон – 4:3, 2:3, 16:9. Однако упрощенно можно сказать так: чем больше второе число в дроби, тем меньше и хуже матрица. Но это относится к диагоналям, в которых первая цифра 1. Так, например, матрица с диагональю  $1/1.7''$  больше по размеру, чем  $1/2.3''$ , но при этом она меньше по размеру, чем  $2/3''$ .

Матрицы с кроп-фактором 5,62 (или даже больше) – это самые маленькие, самые дешевые и самые плохие из используемых сегодня в цифровых фотоаппаратах.

Большие матрицы (полноразмерные или с кроп-фактором 2 и меньше) обеспечивают очень хорошее качество фото. Но они дорогие, и поэтому используются в фотоаппаратах ценой более 400...500 долларов. В мыльницах используются самые маленькие и дешевые матрицы  $1/2.33''$  (кроп-фактор 5,62...6).

По кроп-фактору легко узнать, насколько площадь матрицы меньше полного размера. Для этого нужно всего лишь умножить кроп-фактор на 2. Например матрица 4/3" (Micro Four Thirds) имеет кроп-фактор 2, и это означает, что ее площадь в 4 раза меньше полного кадра.

По кроп-фактору можно также преобразовать значения фокусных расстояний объектива в так называемое эквивалентное фокусное расстояние (для полного кадра). Например зум-объектив 14...44 мм для матрицы 4/3" (Micro Four Thirds) по фокусным расстояниям эквивалентен объективу 28...88 мм фотокамеры с полным кадром. Для расчета эффективного фокусного расстояния нужно умножить значение фокусного расстояния на кроп-фактор. Дело в том, что во всей литературе по фотографированию в описании объективов используются значения фокусных расстояний для полного кадра.

Размеры матриц (от хороших к плохим):

- Полноразмерная матрица (full frame) 24x36 мм.
- APS-H, APS-C – матрицы используются в дорогих зеркальных фотоаппаратах. Кроп-факторы – 1,3, 1,5.
- 4/3" (Micro Four Thirds) – матрица используется в достаточно дорогих беззеркальных фотоаппаратах Panasonic, Olympus. Кроп-фактор – 2.
- 1" – матрица используется некоторых в беззеркальных и компактных фотоаппаратах, например Nikon 1, Sony RX100. Кроп-фактор – 2,7.
- 2/3" – такие матрицы используются в недешевых компактных фотоаппаратах Fujifilm (дороже 200 долларов). Кроп-фактор – 4.
- 1/1,8", 1/1,7" – такие матрицы тоже используются в недешевых компактных фотоаппаратах полупрофессионального уровня, однако эта матрица меньше чем 2/3". Кроп-фактор – 4,8 и 4,7.
- 1/2,3", 1/2,33", 1/2,7", 1/3" – самые маленькие дешевые и плохие матрицы. Кроп-фактор – 5,6 и выше.

Общий принцип таков – чем больше размер матрицы, тем она чувствительнее, тем меньше шумов она дает при фотографировании.

## Создание цвета

Сами по себе сенсоры не способны различать цвета: разница в длинах волн падающих на них фотонов воспринимается как разница в энергиях. Поэтому на выходе мы имеем монохромное изображение, то есть градации серого.

Для обеспечения сенсору возможности различать цвета нужны дополнительные приспособления.

В настоящее время существуют следующие подходы:

**1. Расщепление света после объектива (например, системой призм) на три области – красную, зеленую и синюю, и подавать на три отдельных монохромных сенсора.**

Такой подход часто используется в профессиональных фото и видеокамерах и называется 3CCD.

Он обеспечивает отличную разрешающую способность как цветовую, так и пространственную резкость без увеличения времени получения изображения. Время получения кадра, пожалуй, самое малое из всех подходов, так как нет необходимости производить цветовую интерполяцию (см. ниже). Появляется возможность «тюнинга» каждого сенсора под свой диапазон, например, введением специальной примесной добавки в кремний изменить спектральную чувствительность сенсора. Баланс белого на итоговом изображении сводится к регулировке усиления и уровней черного каждого из трех сенсоров.

Однако такой подход требует сложной юстировки всей системы и часто – особой оптики (из-за появления перед сенсором довольно большого блока призм). При этом широкоугольным объективам не повезло больше всех. Добавьте сюда тройной комплект сенсоров и их электронной обвязки. Все это в итоге повышает стоимость, габариты системы и ее энергопотребление.

## 2. Установление светофильтров перед сенсором.

Если время получения изображения не критично, можно использовать последовательное экспонирование сенсора через барабан со светофильтрами. Минус – требуется в три раза больше времени. Поэтому для съемки движущихся объектов такой метод не подходит. Однако сохраняются все остальные плюсы предыдущего подхода, да и трех матриц с призмой не нужно.

## 3. Установление светофильтров непосредственно над каждым пикселем сенсора.

Если в сенсоре используются микролинзы, то светофильтры устанавливаются между микролинзой и ячейкой. Распределение таких светофильтров по поверхности сенсора – массив цветных фильтров (CFA = Color Filter Array) может быть различным.

- Линейный (используется в некоторых планшетных сканерах – там как раз всего три строки для каждого из цветов):

```
R R R R R
G G G G G
B B B B B
```

- Наиболее популярный – байеровский, предложенный в начале 70-х годов прошлого века, иначе – RGBG-фильтр. Все массивы, построенные по принципу Байера, называют мозаиками.

G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G
G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G
G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G

Рис. 8.16. Расположение светофильтров в Байеровской схеме

Элементарный узор массива получается из четырех ячеек с тремя типами светофильтров. В основе байеровского фильтра и большинства других лежит принцип дискретизации яркостного канала на большей частоте, нежели двух оставшихся цветовых. За яркостной канал был принят зеленый, так как кривая яркостной чувствительности глаза человека имеет максимум около точки 550 нм, что соответствует зеленому цвету. Да и число зеленочувствительных рецепторов на сетчатке в два раза больше, чем красных или синих.

Выигрыш по скорости и стоимости варианта с массивом цветных фильтров, «компенсируется» проигрышем по пространственному и цветовому разрешению. Данные одного пикселя итогового изображения «размазываются» по нескольким ячейкам. Для того чтобы получить RGB-значения каждого пикселя, необходимо произвести цветовую интерполяцию.

Наиболее заметные артефакты от такой цветовой интерполяции появляются при быстром изменении цвета относительно пространственных координат изображения (некий контрастный, ритмический рисунок в мелких деталях) – возникают искажения цветов и контуров, исчезновение мелких деталей, муар. Например, в нашей сцене есть небольшая белая точка на черном фоне. Она может попасть только на одну синюю ячейку. В таком случае на изображении она будет представлена синим пикселем. Описанный эффект называется алиасингом. Устранить его можно только размытием изображения: посредством анти-алиасинг фильтра или расфокусировкой. Анти-алиасинг фильтрация (по сути, размытие наподобие blur-эффекта) дополнительно уменьшает пространственное разрешение.

Поэтому сенсоры с CFA для профессиональной техники мало подходят, так как сам сенсор не может обеспечить разрешения, которое дает качественный объектив: в худшем варианте один итоговый пиксель интерполируется из 9 пикселей сенсора. Если мы будем увеличивать число пикселей сенсора, уменьшая их размеры, то упрямся в собственные шумы сенсора, а если увеличивая размер сенсора – в технологический передел размера пластин или стоимости системы.

- Вариацией на тему фильтра Байера является RGBE-фильтр от компании Sony Corporation. То есть к RGB-светофильтрам добавлен Emerald – изумрудный. Теоретически, четвертый компонент для определения цвета уже лишний. Однако на практике он немного приближает цветовую гамму изображения к натуральной (для человеческого глаза), улучшая передачу сине-зеленых и красных оттенков. Вообще говоря, изумрудный светофильтр пропускает всю коротковолновую часть видимого спектра, так что правильнее было бы его назвать голубым.

- Выше были рассмотрены мозаики, в основу которых положена модель аддитивного цветового синтеза (RGB), однако выпускаются сенсоры с мозаиками на основе субтрактивного синтеза (CYM=Cyan Yellow Magenta). Те же господа из Sony выпускают матрицы с CYMG-фильтром. Основные компоненты в нем – CYM (голубой, желтый, пурпурный) и один, дополнительный, аддитивный – G (зеленый). На мой взгляд – весьма спорное решение. Тем более что



типичная проблемой сенсоров с такой мозаикой – регистрация света с длиной волны в 450 нм в синем и красном канале.

Краткий итог: при одинаковом числе пикселей и их размере у сенсора с массивом цветных светофильтров пространственное разрешение примерно в два раза ниже, чем у монохромного. Если быть точным, то величина эта зависит от метода интерполяции, типа мозаики и направления: для фильтра Байера по горизонтали снижение разрешения составляет около 65%, а по вертикали примерно 80%.

По мере роста вычислительной мощности графических процессоров фотокамер линейная интерполяция заменялась кубической, а та – кубическими сплайнами. Во многих современных камерах предпочтение отдается специальным алгоритмам, оптимизированным под работу с цветом и под конкретный сенсор. Естественно эти алгоритмы являются коммерческой тайной фирм-производителей. Например, существуют:

- интерполяция с постоянным тоном (одна из первых в массовых образцах камер);
- интерполяция по медиане (двухпроходная: линейная интерполяция, медианная фильтрация цветовых различий);
- интерполяция по градиенту (трехпроходная: сначала G, а затем R-G и B-G каналы; используется в Kodak DCS 200).

Все эти алгоритмы направлены на устранение артефактов: «лесенки» – на краях контрастных объектов и «конфетти» вокруг ярких пикселей на темном фоне.

Лучшими являются итерационные (многопроходные) алгоритмы и алгоритмы на основе нейронных сетей, но они требуют большой вычислительной мощности и пока реализованы в полной мере только в программных RAW-конверторах (например, в SharpRaw).

#### **4. Использование технологии пиксельного сдвига сенсора.**

Данный подход заключается в использовании «обычного» сенсора с фильтром Байера, снабженного механизмом попиксельного сдвига в плоскости изображения с помощью пьезо-элементов. Снимаем один кадр, сдвигаем сенсор вправо на один пиксель, снимаем второй кадр, сдвигаем сенсор вниз на один пиксель. Таким образом, в трех кадрах имеем все три цветных составляющих индивидуально для каждого пикселя.

Минус – увеличенное в три раза время экспозиции и стоимость устройства. Конечно, для репортажной съемки такая технология не подходит. Поэтому применяется преимущественно в цифровых задниках для студийной съемки, где возможно обеспечить неподвижность сцены съемки на время порядка 1-2 секунд.

Кроме увеличения цветового, увеличивается и пространственное разрешение. Оба примерно в 2,5 раза по сравнению с таким же сенсором, но без сдвига.

## 5. Использование технологии Foveon X3

До сих пор мы говорили о классических сенсорах. Сейчас стоит рассказать о новом типе КМОП-сенсора от калифорнийской компании Foveon – Foveon X3.

В основу положена идея о поглощении фотонов различных длин волн на различных глубинах в полупроводнике. Это дает возможность для каждого пикселя сенсора получать свои собственные RGB-компоненты, в одном пикселе совмещены детекторы всех трех цветовых компонент. Весьма изящная идея: одним махом избавляемся от цветовой интерполяции, сглаживания и разницы фаз между RGB-компонентами, присущих классическим сенсорам с CFA. Также не требуется и трех сенсоров вместе с устройством расщепления света.

Исследования показывают 2,4-кратное превосходство Foveon X3 в пространственной разрешающей способности над сенсорами с фильтром Байера. А на границе раздела синий-красный до 5 крат. Мы помним о том, что байеровский фильтр содержит синих и красных светофильтров в два раза меньше, чем зеленых, отсюда такой скачок.

Все же не удержусь и дам упрощенную схему строения этого сенсора:

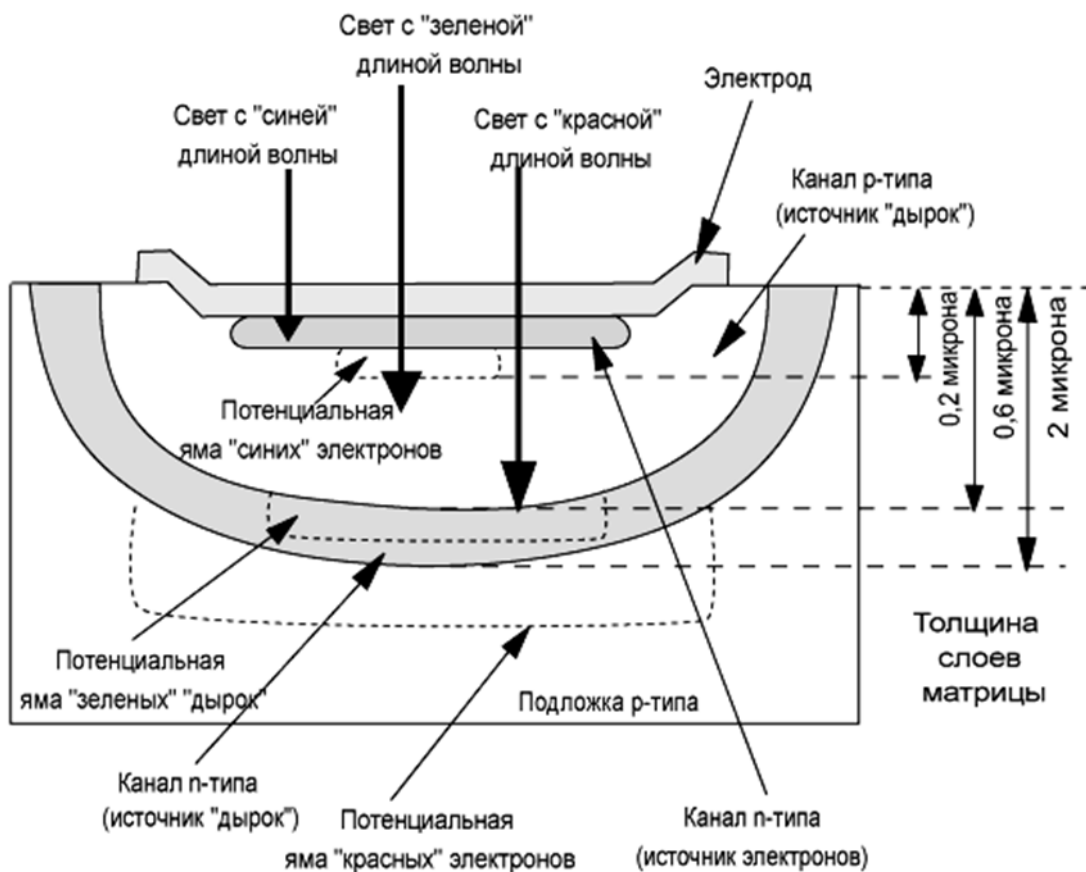


Рис. 8.17. Структура матрицы Foveon X3

Как видим, ключевой особенностью является порядок и глубина залегания р-п-переходов. Коэффициент поглощения кремния почти линейно умень-

шается с увеличением длины волны света видимого диапазона. Первыми поглощаются «синие» фотоны, затем «зеленые» и «красные».

Можно сказать, что перед нами «электронная фотопленка», так как из всех сенсоров Foveon X3 наиболее близок к фотопленке, которая также содержит в себе три чувствительных слоя для каждого из цветов в виде «бутерброда».

**6. Использование технологии TFA.** В настоящее время разрабатывается технология TFA (Thin Film on ASIC). Коммерческих образцов пока нет, так что сказать что-то окончательно нельзя. TFA представляет собой интеграцию слоя детектора из аморфного гидрогенизированного кремния ( $a\text{-Si:H}$ ) на кристалл ASIC (Application Specific Integrated Circuit, по-сути, КМОП-микросхема).

Толщина слоя детектора менее 1 микрона и работает он как мультиспектральный фотодиод. Пик спектральной чувствительности может сдвигаться в границах видимого света в зависимости от напряжения между p- и n-областями. Можно считывать три цветовых составляющих последовательно (быстро меняя напряжение). Кроме этого  $a\text{-Si:H}$  обладает высоким квантовым выходом и тремя линейно-независимыми пиками чувствительности в зоне видимого света. TFA является сенсором с коэффициентом заполнения 100%: вся поверхность является светочувствительной.

Возможно, в лице TFA-сенсоров мы скоро увидим увеличение динамического диапазона (для TFA заявлено 120dB, тогда как человеческий глаз имеет 200dB) и цветового разрешения.

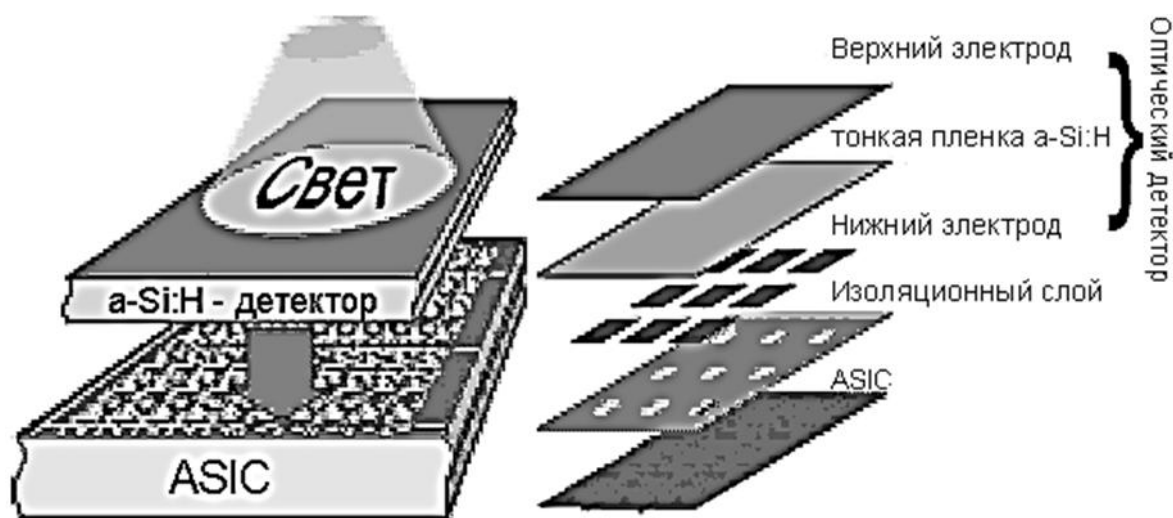


Рис. 8.18. Структура матрицы TFA

#### 8.4.3. Типы карт флэш-памяти и их технические характеристики

В настоящее время микросхемы флэш-памяти производят более 50 компаний по всему миру. При всем многообразии карт флэш-памяти, можно выделить несколько основных типов:

▪ **Compact Flash (CF)**. CF – один из самых старых и распространенных стандартов карт флэш-памяти, доживших до наших дней. Первая CF-карта была произведена корпорацией SanDisk в 1994 году. Существует два типа карт CF – это CF I (размеры 43×36×5 мм) и CF II (размеры 43×36×3,3 мм). Существование карт такого размера в наши дни обусловлено тем, что тип CF всегда лидировал по максимальному объёму памяти, хотя в последнее время данный тип флэш-карт все же сдает свои позиции картам SD и MMS.

▪ **Multi Media Card (MMC)**. Карты стандарта MMC появились в 1997 году. Разработчики – Siemens AG и SanDisk. В 1998 году была создана ассоциация MMCA (MultiMediaCard Association), в состав которой вошли такие «монстры» рынка информационных технологий как HP, Kodak, Hitachi, Sanyo, Siemens, Nokia и др. Карта MMC малогабаритна: 24×32×1,4 мм и весит всего 2 грамма. MMC-карты предназначены для применения в цифровых камерах (видео- и фото-), в смартфонах, в цифровых плеерах, в игровых приставках и в КПК. Карты MMC имеют 100%-совместимость с устройствами, использующими карты типа SecureDigital.

▪ **Redused Size Multi Media Card (RS MMC)**. RS MMC представляют собой уменьшенную вдвое карту памяти MMC. Размеры карт RS MMC всего 24×18×1,4 мм. Предусмотрена совместимость карт RS-MMC с обычными MMC-носителями: при помощи переходников они могут быть использованы в устройствах, оснащенных слотами MMC. Данный тип карт памяти используется в основном в мобильных телефонах, коммуникаторах и смартфонах.

▪ **Multi Media Card Mobile (MMC Mobile)**. MMC Mobile – разновидность карт RS MMC. Она может работать от двух напряжений питания: 1,8 В (пониженное напряжение) и 3,3 В (как обычная MMC-карта). Данный тип карт флэш-памяти совместим как с обычными устройствами, имеющими слот памяти MMC, так и с низковольтными устройствами.

▪ **Multi Media Card Plus (MMC plus)**. Еще одна разновидность MMC-карт – карты MMC plus, соответствующие новому стандарту MMC System Specification 4. MMC plus отличается от обычной MMC наличием большего числа контактов, что обеспечивает высокую скорость передачи данных, в тандеме с устройствами, поддерживающими эту технологию.

▪ **Secure Digital (SD)**. Флэш-карты SD представляют собой дальнейшее развитие стандарта MMC – они являются представителями третьего поколения флэш-памяти и были разработаны компаниями San Disk, Matsushita и Toshiba. Для продвижения этого формата вышеупомянутые компании основали организацию SD Association (SDA), членами которой сегодня являются уже свыше 200 производителей. По мнению многих специалистов, SD является одним из самых распространенных типов карт памяти на рынке. Внешне SD-карты похожи на MMC и почти равны им по размерам.

В отличие от MMC, имеющих 7 контактов, карты SD оснащены 9-контактным интерфейсом и маленьким переключателем для защиты от случайного уничтожения хранимых данных. Благодаря компактности (габариты 24×32×2,1 мм) и легкости (вес 2 грамма) карты SD используются во многих со-

временных устройствах с расширяемой памятью (mp3-плееры, фотоаппараты, КПК, коммуникаторы и смартфоны). Название SecureDigital указывает на поддержку картами памяти технологии защиты данных от несанкционированного доступа и копирования. В отличие от других типов флэш-памяти, все SD-карты оснащаются электронной схемой защиты информации. Карта может хранить как незащищенную, так и защищенную информацию. Данные могут быть защищены или уникальным ID-ключом карты, или алгоритмом шифрования. Это дает владельцу карты уверенность в надежности защиты его данных. Скорость чтения и записи зависит от размера карты и от ее марки.

- **Mini Secure Digital (Mini SD).** Стандарт miniSD был разработан в 2003 году на базе стандарта SD. Размеры карты miniSD – 20×21,5×1,4 мм. Карты этого формата могут устанавливаться и в разъем стандарта miniSD, и в разъем стандарта SD (при помощи специального адаптера).

- **Micro Secure Digital (Micro SD).** Карты microSD являются одними из самых маленьких флэш-карт, их размеры всего 11×15×1 мм. В качестве основной области их применения можно назвать мультимедийные мобильные телефоны и коммуникаторы.

- **Memory Stick (MS).** Компания Sony имеет собственную версию флэш-памяти, известную под названием Memory Stick. Memory Stick – это маленькое сменное устройство хранения данных большой емкости размером 21,5×50×2,8 мм. В этом устройстве используется уникальный переключатель защиты от стирания. Этот тип карт достаточно популярен, так как используется во всех мультимедийных (и не только) устройствах, выпущенных компанией Sony и шведско-японским альянсом SonyEricsson. Существуют разные версии этих флэш-карт: обычные, Micro (или M2), DUO, PRO, PRO DUO. Модель Micro обладает меньшими размерами (15×12,5×1,2 мм), как видно из названия, и меньшим энергопотреблением. Модель DUO имеет габариты 31×20×1,6 мм. Последние две модели являются более продвинутыми «потомками» обычных карт памяти Memory Stick.

- **xD Picture Card (xD).** Карты xD – разработка компании Olympus. Данный тип карт памяти предназначен только для использования в цифровых фотоаппаратах. Такие флэш-карты используют фирмы Olympus, Kodak и FujiFilm.

**Объем карты памяти** определяет, сколько снимков или минут видео вы сможете записать на нее. Естественно, более емкие карты стоят дороже. Объем, занимаемый файлом с изображением, напрямую зависит от количества сохраненных в нем мелких деталей, то есть от качества снимка. То же самое с видео: чем выше разрешение и качество видеороликов, тем больше места такое видео займет на флешке. Если вы снимаете в сыром формате RAW, то места понадобится еще больше: в среднем от 12 до 30 МБ на один кадр.

Нет ничего более неприятного, чем внезапно закончившееся в поездке место на карте памяти. Поэтому если вы планируете снимать и фото, и видео, стоит остановиться на объемах карты памяти около 16...32 гигабайт.

**Скорость карты памяти** – та характеристика, на которую большинство покупателей не обращают внимания. Тем не менее, она даже более важна, чем

объем, потому что определяет сферу применения флешки. Например, на медленную карту памяти не получится записывать Full HD видео, запись будет постоянно обрываться. А если вы снимете серию кадров с медленной флешкой, то камера может надолго «подвиснуть», записывая их. Неприятно? Еще как! Так как же отличить быструю карту памяти от медленной?

Если речь идет о самых распространенных картах типа SD, то на них всегда указывается класс скорости: 2, 4, 6 или 10. По сути, это скорость записи в мегабайтах в секунду: 2 класс – 2 МБ/с, 6 класс – 6 МБ/с. Десятый класс подразумевает, что флешка может записывать снимки и с более высокой скоростью, чем 10 МБ/с. В этом случае производитель всегда указывает реальную скорость записи на самой карте памяти (например, 45 МБ/с). Аналогичная ситуация с картами типа Compact Flash. На них указывается реальная скорость записи в МБ/с.

Если вы планируете снимать Full HD видео, то вам подойдут карты памяти не ниже 6 класса скорости, а лучше – класса 10 или выше. Такие же карты годятся для повседневной съемки. Для съемки событий или людей, когда вы делаете подряд несколько кадров, лучше выбрать более быстрые флешки: около 30 МБ/с. Это позволит вести съемку короткими непрерывными сериями. С более медленными флешками вы рискуете упустить интересный кадр, пока ваша камера записывает предыдущие снимки.

Съемки движущихся объектов предъявляют еще большие требования к скорости: приходится практически непрерывно снимать серией. И здесь идеальная скорость карты памяти уже от 30 до 45 МБ/с.

Наконец, для профессионалов, вынужденных зачастую «стрелять длинными очередями», просто необходимы самые быстрые флешки со скоростями до 100 МБ/с. Профессиональный фотоаппарат с такой картой памяти способен снимать непрерывную серию кадров до тех пор, пока не закончится свободное место.

**Защита карты.** Пока карта памяти находится в вашем устройстве (фотоаппарат или смартфон), она защищена. Но стоит ее извлечь, как она тут же попадает во враждебный ей мир. Фотограф ее хоть раз, но обязательно уронит, оставит на столе под палящим солнцем, в фотосумке на сильном морозе. Или того хуже – обольет водой! Чего уж говорить о путешествиях: в аэропорту багаж обязательно «просветят» рентгеновским излучением. Мы рекомендуем выбирать карты памяти, для которых производитель заявляет защиту от всех указанных выше негативных воздействий.



Рис. 8.19. Виды защит карт памяти

И в заключение несколько основных советов для выбора и эксплуатации наиболее подходящей для вашего фотоаппарата карты памяти, на которой ваши фотографии всегда будут оставаться в безопасности.

1. Бренд имеет значение. Если вас убеждают в обратном – не верьте. Между картами для фотоаппаратов разных фирм есть большая разница. Например, у Sandisk есть несколько эксклюзивных серий для Nikon, которые могут задействовать процессор камеры в полном объеме. Убедитесь, что карта оригинальная, на этикетке высококачественная полиграфия, наличие фирменных голограмм.

2. Принято считать, что карты памяти с большой скоростью нужны только для съемки видео на фотокамеру. На самом деле, при обработке камерой файлов формата RAW большая скорость еще важнее, поскольку за короткое время камере нужно справиться с большим объемом данных, особенно при серийной съемке. Поэтому, чем выше скорость – тем лучше.

3. Всегда форматируйте карту памяти, а не просто удаляйте фотографии. Это поможет вам избежать различных сбоев при записи данных, поскольку при форматировании структура папок на карте обновляется, что предотвращает ошибки в базе данных. Форматировать карту нужно не с помощью компьютера, а на фотоаппарате.

4. Никогда не удаляйте отдельные фотографии с карты памяти при помощи компьютера – это увеличит вероятность возникновения ошибок в базе данных. Владельцам Canon следует обратить на этот совет особое внимание, поскольку при регулярном удалении файлов через компьютер может возникнуть печально известная ошибка ERR-99.

5. Помимо технических особенностей, нужно учитывать особую хрупкость сменных носителей, в особенности SD-карт. Неаккуратное извлечение карты из кардридера или камеры, а также хранение в не предназначенном для носителя месте (отдельно от пластикового контейнера) может привести к нарушению пластиковой оболочки карты (в особенности места, где находятся контакты) и ее полной негодности.

6. Карты памяти большого объема требуют большего ресурса батареи фотоаппарата, а значит, носители меньших объемов могут сэкономить заряд. Лучше купить несколько карт меньшего объема, чем одну – предельного, рекомендуемого производителем.

7. В комплекте к некоторым картам памяти поставляется программа для восстановления случайно удаленных файлов. Если вы случайно очистили или отформатировали носитель, удалив важные данные, ничего не снимайте на карту, и по возвращении домой запустите эту программу. Она способна восстановить информацию даже после форматирования. Очень важно помнить, что после случайного удаления файлов нужно не записывать на карту никаких файлов – то есть, не фотографировать.

8. Никогда не заполняйте карту до последнего мегабайта. На носителе всегда должно оставаться свободное место.

9. Если после серийной съемки на камере горит индикатор работы карты (лампочка в нижней части корпуса), не выключайте камеру. Подождите, пока лампочка потухнет. Не выключайте фотоаппарат сразу после серийной съемки. Кроме того, никогда не удаляйте носитель из камеры, не выключив ее предварительно.

10. Для копирования файлов на компьютер лучше использовать кардридер, а не кабель для камеры. Это увеличит скорость копирования и сэкономит ресурс батареи фотоаппарата.

11. В отношении карты памяти необходимо соблюдать такую же осторожность (не подвергать ее экстремальным условиям), как и в отношении самой фотокамеры. Держите ее сухой, чистой и не используйте карту при очень высокой или очень низкой температуре. Также избегайте попадания карты памяти под воздействие магнитного поля, так как это может повредить ее.

12. Всегда носите с собой запасную карту памяти. Ведь никто не застрахован от ситуации, когда с основной картой случается прокол, а вам необходимо продолжать начатую фотосъемку.

13. Чтобы обеспечить надежную защиту ваших фотоснимков, по окончании съемки и извлечению карты памяти из камеры переместите ползунок на карте памяти в положение блокировки. Это будет означать, что никто не сможет случайно удалить ваши фотографии.

#### **8.4.4. Работа с RAW-файлами**

Обладателям цифровых фотоаппаратов начального и среднего уровней живётся легко. Список форматов, которые поддерживают такие камеры, ограничен одним универсальным форматом – JPEG. JPEG может быть разного качества и разрешения, но всё равно это простой и всем знакомый формат, в обращении с которым не возникает никаких сложностей.

У обладателей же так называемых полупрофессиональных и профессиональных моделей выбор немного богаче. Помимо JPEG, такие камеры обычно поддерживают ещё два формата – TIFF и RAW. И если с TIFF всё более-менее понятно – это универсальный формат сохранения графики без потерь на сжатие, отличающийся, помимо прочего, огромными размерами файлов, то формат RAW часто ставит в тупик даже достаточно опытных пользователей. Размеры RAW-файлов достаточно велики (меньше, чем у TIFF, но гораздо больше, чем у JPEG), просмотреть их можно только в специальных программах, редактировать напрямую их тоже нельзя – надо сначала преобразовать в тот же TIFF. Частенько, помучившись с непонятным форматом, начинающий фотограф просто переключает свою камеру обратно в режим JPEG, и забывает RAW как страшный сон.

Однако, несмотря на некоторую «недружественность» к пользователю, формат RAW обладает уникальными преимуществами, значительно расширяющими (при умелом использовании) возможности фотографа.



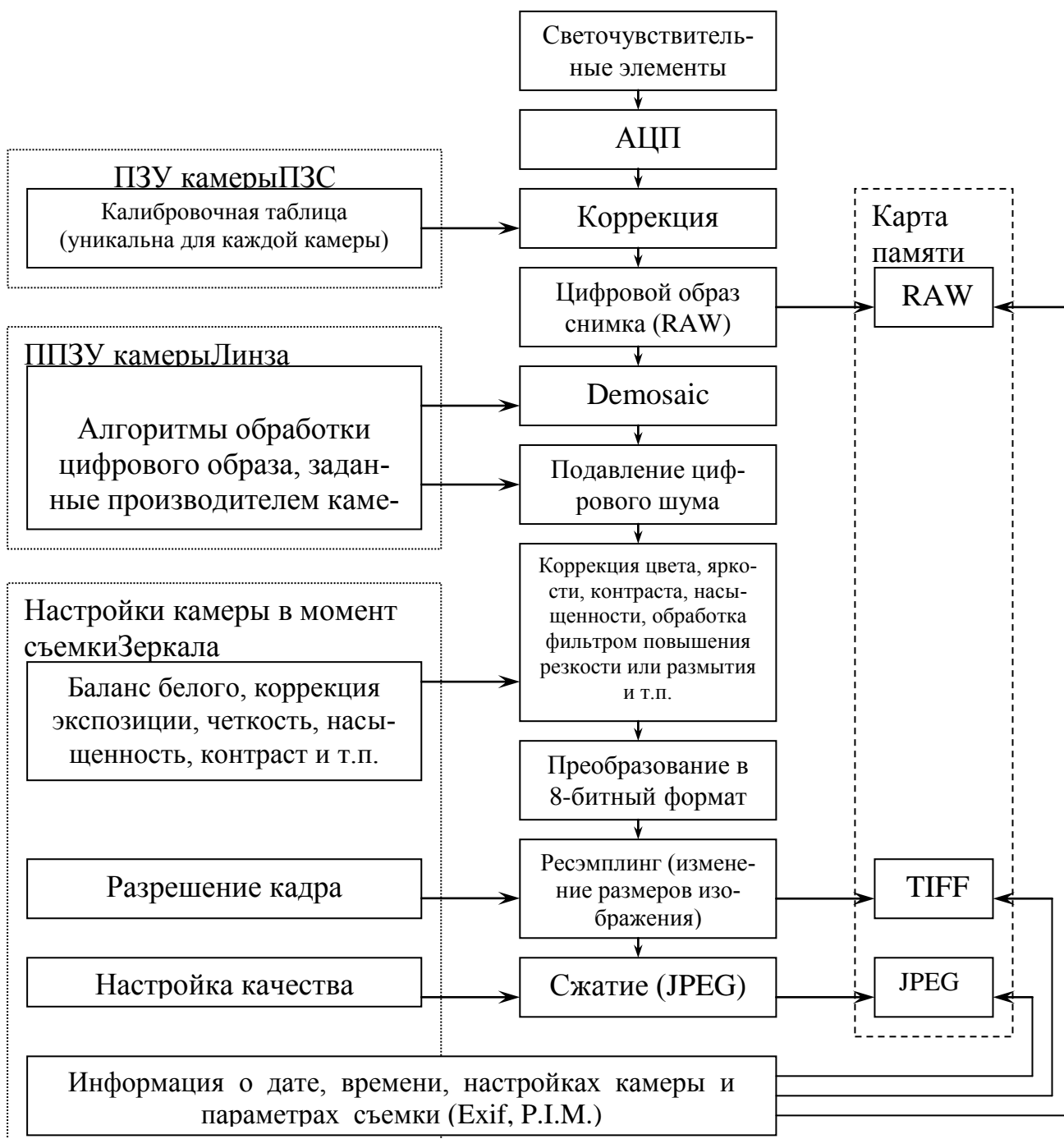


Рис. 8.20. Схема операций, выполняемых цифровой камерой при съемке

**Что такое RAW.** Начнём с того, что RAW как формата не существует. Это звучит странно, но на самом деле так оно и есть, ведь «формат» – это что-то общепринятое и стандартное. Так, формат JPEG стандартизирован, его спецификации находятся в свободном доступе, и JPEG-файл, записанный одной программой, всегда можно прочесть другой программой, понимающей JPEG. Структура же RAW-файлов меняется от камеры к камере и даже для изделий одного производителя может отличаться. Дело в том, что RAW-файлы пред-

ставляют собой никак не обработанные данные с матрицы фотоаппарата. Собственно, слово «raw» по-английски означает «сырой», «необработанный». Данные с матрицы сжимаются архиватором (а в некоторых аппаратах и вовсе не сжимаются), к ним прикрепляется заголовок с параметрами съёмки (модель камеры, дата съёмки, выдержка, диафрагма и т.д.) и всё это вместе записывается в файл, называемый RAW.

Сказанное поясняет рис. 8.20, на котором показана схема операций, выполняемых цифровой камерой при съёмке изображения.

Вся последующая обработка этих данных перекладывается на плечи программы-конвертера. А обработка этим данным требуется очень и очень существенная.

RAW-данные не являются конечным продуктом фотосъёмки. Это только полуфабрикат, своеобразный негатив, который ещё нужно правильно проявить (обработать в программе-конвертере). Причём проявить его можно по-разному, в зависимости от целей, стоящих перед фотографом. Продолжая аналогию, JPEG- и TIFF-файлы можно сравнить со слайдами – они получаются сразу готовыми, но если при съёмке допущена ошибка, то результат будет почти наверняка испорчен. RAW же позволяет в достаточно широких пределах корректировать ошибки съёмки.

Фокус тут в том, что в RAW-файлах содержится гораздо больше информации, чем в получающемся в итоге изображении. JPEG- и даже TIFF-файлы с камер имеют глубину цвета 8 бит на канал. То есть каждый цветовой канал содержит максимум 256 градаций яркости. В RAW же записывается информация с матрицы, которая обычно имеет разрядность 10 или чаще 12 бит на точку, что даёт 1024...4096 градаций яркости. Это даёт большой запас для всевозможных преобразований картинке. Вот основные корректировки, которые можно проделывать при обработке RAW-файлов:

**Коррекция экспозиции.** Если вы (или автоматика вашей камеры) неправильно оценила освещённость кадра, и результат получился недодержанным или передержанным, то при обработке RAW-файла вы сможете легко внести поправку. Причём «вытягиванию» поддаются даже кадры, недодержанные на две-три ступени, что с 8-битным цветом невозможно в принципе. Информация для восстановления кадра берётся как раз из дополнительных двух-четырёх битов. Более того, RAW позволяет скорректировать и передержку – бич цифровой фотографии. Обычно, если на цифровом снимке «провалены» света, то восстановить их нет никакой возможности (при использовании обычных форматов). Однако RAW-данные пишутся с некоторым запасом, и если передержка не превышает 0,5...1 ступени, то детали в светах при обработке возможно восстановить. Таким образом, использование RAW расширяет эффективный диапазон снимка на две-три ступени в сторону теней и примерно на ступень в сторону светов, что даёт большие возможности для экспокоррекции.

**Коррекция цвета (баланса белого).** Фотографии, снятые с неправильным балансом белого, обычно довольно трудно исправлять. Однако к RAW-

сняткам это не относится. Когда вы устанавливаете в камере баланс белого, то это никак не влияет на сам процесс съёмки: баланс белого – это только инструкция программному обеспечению камеры, как обрабатывать данные с матрицы, какой канал усилить сильнее, какой слабее. Если снимок сделан при свете ламп накаливания, то для получения нормальных цветов достаточно при конвертации RAW-файла указать баланс белого «ламп накаливания» – независимо от того, какой баланс белого был задан в камере при съёмке. Более того, многие программы-конвертеры позволяют определять баланс белого «по образцу». Надо найти на снимке нейтрально-серый объект, ткнуть в него мышкой, и программа пересчитает цвета так, чтобы этот объект стал действительно нейтрально-серым. В сложных световых условиях (когда есть много источников света с разными цветовыми температурами) эта возможность иногда просто спасительна.

Коррекция баланса белого будет существенно облегчена, если на снимке есть фрагмент с заведомо белым цветом. Один щелчок мышки по этому фрагменту – и цвета снимка станут совершенно нормальными. Такие операции, в принципе, можно делать и с обычными файлами, но из-за тех же 8-ми бит на канал возможности коррекции ограничены и при сильных цветовых сдвигах возникают искажения. RAW-конвертер же работает с исходными, 10..12-битными данными, да к тому же точно знает цветовые характеристики фильтров на матрице камеры. Поэтому результат получается несравнимо точнее.

**Глубина цвета и цветовые профили.** Наконец, при обработке RAW-файла можно управлять форматом получаемого изображения. Конвертер может выдать как 24-битный (по 8 бит на канал) TIFF-файл, так и 48-битный (по 16 бит на канал). Конечно, это будут не «честные» 16 бит (16-битных матриц по разумной цене пока не существует), но те 10-12 бит, что выдаёт матрица, будут переданы почти без потерь. 48-битный файл может пригодиться тем, кто предпочитает самостоятельно делать финальную доводку изображения в каком-либо графическом редакторе. Как и прежде, лишние биты дают информационный запас для всевозможных преобразований изображения.

Кроме этого, конвертер может изготовить файл с различными цветовыми профилями. Для профессиональной работы с цветом возможность получить картинку в цветовом пространстве, отличном от sRGB, очень ценна.

Основной недостаток RAW – это огромное количество его разновидностей. Это создаёт неудобства при обработке файлов, но по-настоящему серьёзная проблема – это хранение RAW-файлов. В самом деле, никто не может дать гарантию, что ваши файлы можно будет прочесть через несколько лет. Модельный ряд камер к тому времени уже несколько раз изменится, формат файлов тоже.

Именно этими соображениями руководствовалась компания Adobe при разработке формата DNG (расшифровывается как Digital Negative). DNG – это открытый формат, призванный дать стандартную и переносимую альтернативу

RAW, а в перспективе и заменить его. В DNG сохраняются те же самые сырые данные с матрицы, но хранятся они уже в стандартном формате и любая программа, понимающая DNG, сможет их прочесть.

Перспективы нового формата не очень ясны, но авторитет и финансовая мощь компании Adobe дают надежду на то, что у DNG есть будущее. Adobe уже выпустила утилиту, позволяющую конвертировать RAW-файлы в DNG. Разумеется, Photoshop Camera Raw уже понимает DNG-файлы. Компания Phase One также собирается включить поддержку DNG в Capture One. Так что, возможно, уже в ближайшем будущем можно будет забыть про изобилие RAW-форматов и хранить свои цифровые негативы в едином формате – DNG.

#### 8.4.5. Дигитайзеры

Дигитайзер, или графический планшет, как его еще называют, состоит из двух основных элементов: основания и курсора, перемещаемого по его поверхности. Это устройство изначально предназначалось для оцифровки изображений. При нажатии на кнопку курсора его местоположение на поверхности планшета фиксируется, а координаты передаются в компьютер.

Часто с дигитайзером связывают управление командами в различных САД-системах при помощи накладных меню. Команды меню расположены в разных местах на поверхности дигитайзера. При выборе курсором одной из них специальный программный драйвер интерпретирует координаты указанного места, посылая соответствующую команду на выполнение. Не последнюю роль играет применение планшета при создании на компьютере рисунков и набросков. Художник рисует на экране, но его рука водит пером по планшету. Наконец, дигитайзер можно использовать просто как аналог мыши. Особый случай – это чувствительные к нажиму дигитайзеры.

Принцип действия дигитайзера основан на фиксации местоположения курсора с помощью встроенной в планшет сетки, состоящей из проволочных или печатных проводников с довольно большим расстоянием между ними (от 3 до 6 мм). Но механизм регистрации положения курсора позволяет получить шаг считывания информации намного меньше шага сетки (до 100 линий на мм). Шаг считывания информации называется разрешением дигитайзера.

По технологии изготовления дигитайзеры делятся на два типа: электростатические (ЭС) и электромагнитные (ЭМ). В первом случае регистрируется локальное изменение электрического потенциала сетки под курсором. Во втором – курсор излучает электромагнитные волны, а сетка служит приемником. Фирма Wascom создала технологию на основе электромагнитного резонанса, когда сетка излучает, а курсор отражает сигнал. Но в обоих случаях приемником является сетка. Следует отметить, что при работе ЭМ-планшетов возможны помехи со стороны излучающих устройств, в частности мониторов.

Кроме приведённых, применялись также технологии, использующие акустические и световые методы регистрации сигнала. Однако вследствие своей

относительной дороговизны, а также нетехнологичности, в настоящее время практически не применяются.

Независимо от принципа регистрации существует погрешность в определении координат курсора, называемая точностью дигитайзера. Эта величина зависит от типа дигитайзера и от конструкции его компонент. На нее влияет неидеальность регистрирующей сетки планшета, способность воспроизводить координаты неподвижного курсора (повторяемость), устойчивость к разным температурным условиям (стабильность), качество курсора, помехозащищенность и прочие факторы. Точность существующих планшетов колеблется в пределах от 0.005 до 0.03 дюйма. В среднем точность электромагнитных дигитайзеров выше, чем у электростатических.

Шаг считывания регистрирующей сетки является физическим пределом разрешения дигитайзера. Мы говорим о пределе разрешения, потому что следует различать разрешение как характеристику прибора и как программно-задаваемое разрешение, а это переменная величина в настройке дигитайзера. В спецификации на изделие всегда указываются обе характеристики – и предел разрешения, и точность.

На результат работы также влияет точность действий оператора. В среднем хороший оператор вносит погрешность не более 0.004 дюйма.

**Технологии чувствительных к нажиму дигитайзеров.** В настоящее время есть две технологии, применяемые в чувствительных к нажиму дигитайзерах: первая – это электромагнитный резонанс, на основе которого работают дигитайзеры фирмы Wacom, позволяющий применять пассивное перо, а вторая – метод активного курсора.

При использовании электромагнитного резонанса излучающим (активным) устройством является сам дигитайзер. Перо отражает волны, а дигитайзер анализирует это отражение, для того чтобы установить координаты пера в данный момент. Поэтому перо или курсор не имеют ни батарей, ни шнура, подающего напряжение на микросхемы внутри курсора, их там просто нет. При использовании же активного курсора именно он излучает волны, сообщая таким образом дигитайзеру о своем местоположении. В этом случае либо батареи, либо провод являются его неотъемлемым атрибутом. Но, независимо от системы, в обоих случаях информация о положении курсора относительно сетки, встроенной в поверхность дигитайзера, преобразуется в компьютере так, что мы получаем данные о точном положении курсора.

Кроме такой информации, дигитайзеры с чувствительностью к нажиму передают до 256 градаций нажатия на курсор. Эта особенность позволяет моделировать нажатие на кисть или перо при работе с соответствующими графическими программами.

**Драйверы.** Драйверы и другое программное обеспечение, используемое с дигитайзером, зачастую определяют его успех или провал на рынке. Известны случаи, когда хорошее программное обеспечение делало дигитайзер бестселлером, в то время как плохое – полностью проваливало вполне нормальный, с аппаратной точки зрения, продукт.

Причем если неудобный, неэргономичный курсор существенно снижает производительность работы, то отсутствие необходимого драйвера делает дигитайзер совершенно бесполезным.

При работе с AutoCAD для Windows драйверы дигитайзеров могут работать тремя способами: эмулируя мышь, то есть работая в режиме относительного задания координат; как стандартный драйвер планшета ADI независимо от того, какое устройство является системным; как драйвер WinTab.

- Наиболее просто использовать дигитайзер как системное устройство Windows, никаких дополнительных драйверов не требуется, но при этом сразу потеряется ряд возможностей дигитайзера: нельзя трассировать на нем чертежи и использовать накладные меню САД-систем.

- Использование ADI несколько усложняет работу, приходится сталкиваться с «раздвоением личности» дигитайзера, так называемым *mode*-режимом, когда он будет переключаться из одного состояния в другое: то он является собой стандартное указующее устройство Windows, то становится типичным дигитайзером для САД-систем. Ценой такого усложнения, однако, является приобретение всех основных качеств дигитайзера, включая работу с накладными меню.

- Вариант WinTab, хотя и не без некоторых недостатков, на сегодняшний день считается наиболее удачным, так как он позволяет использовать дигитайзер одновременно как в режиме абсолютного ввода координат, как это требуется для САПР и ГИС, так и в режиме относительного ввода координат, необходимым для графических операционных сред (Windows и др.). Сейчас драйверы WinTab стали стандартом де-факто для пакетов иллюстративной и художественной графики, так как они позволяют этим программам использовать все преимущества, которые обеспечивают чувствительные к нажиму дигитайзеры. Он позволяет программам и Windows работать с различными дигитайзерами единым образом. Так же как ADI, WinTab описывает и спецификацию, и тип драйвера. Создан WinTab фирмой LCS/Telegraphics, разработчиком драйверов для дигитайзеров, при участии производителей оборудования и программного обеспечения для дигитайзеров. Разработчики драйверов могут использовать спецификацию WinTab для написания драйверов, которые обеспечат работу дигитайзера в режиме системного указующего устройства Windows. В то же время разработчики прикладного программного обеспечения (такие как фирма Autodesk) могут писать специальные драйверы для своих программ, с их помощью дигитайзером будут выполняться разнообразные специальные действия, режим абсолютного задания координат, накладные меню и пр.

Известно, однако, что в стандартную поставку Windows входят драйверы для различных мышей, но не для дигитайзеров.

Оптимальным бы был объединенный драйвер, который автоматически переключается с режима на режим, когда вы переходите с одной программы на другую. Однако такого драйвера до сих пор не создал ни один производитель (хотя первые шаги в этом направлении уже делаются).

**Указующее устройство.** До этого момента при упоминании указующего устройства мы называли его курсором, хотя существует еще и перо (или стило).

Курсоры больше популярны в среде пользователей САПР. Перья в виде ручки производятся с одной, двумя и тремя кнопками. Кроме того, есть простые перья и перья, чувствительные к нажиму. Последние особенно интересны для художников и аниматоров, а также для задач, связанных с оцифровкой рельефных поверхностей.

▪ **Курсоры.** Курсоры бывают четырех-, восьми-, двенадцати- и шестнадцатикнопочными. Желая выделиться, некоторые фирмы стараются стать исключением из правила. Так, Ose Graphics добавляет на большом курсоре семнадцатую, «самую главную» кнопку. Во всем мире одними из лучших признаны четырехкнопочные курсоры фирмы CalComp. На них вторая и третья кнопки расположены рядом, а первая и четвертая L-образной формы обрамляют средние. Традиционным же считается ромбовидное расположение кнопок, которому продолжают следовать другие известные производители. Однако для двенадцати- и шестнадцатикнопочных курсоров канон один – «табличное» расположение кнопок, как на телефонном аппарате. При выборе курсора надо принимать во внимание, кроме удобства пользования, еще и количество клавиш на нем. Чем больше на курсоре клавиш, тем лучше, потому что дополнительным кнопкам можно назначить одношаговые функции в САД и ГИС. В курсоре немало важно также качество изготовления визира.

▪ **Перья.** Как уже говорилось, перья производятся с одной, двумя и тремя кнопками. Кроме того, есть среди них чувствительные к нажиму, особенно привлекательные для компьютерных художников и аниматоров. Такое перо может воспринимать до 256 градаций усилия нажима. Степени нажима ставят в соответствие или толщину линии, или цвет в палитре, или его оттенок. В результате можно имитировать на компьютере процесс рисования масляными красками, темперой или акварелью на специально подобранной «фактуре». Для реализации этих возможностей необходимо иметь специальное программное обеспечение. Чувствительные к нажиму перья могут пригодиться и пользователям САД и ГИС для последующей трехмерной визуализации спроектированных объектов. Данный вид указывающих устройств применяют только с ЭМ-дигитайзерами.

Удобство пера – характеристика сугубо субъективная, как и при выборе авторучки. Некоторым нравятся легкие перья фирмы Wacom, в то время как другие предпочитают более тяжелые, но хорошо сбалансированные перья от Kurta.

И курсоры, и перья бывают как с проводом, так и без него. Беспроводной указатель удобнее, но он должен иметь батарейку, что утяжелит его и потребует дополнительного обслуживания.

Исключение составляют пассивные неизлучающие перья Wacom, которые, впрочем, воспринимают вдвое меньше градаций нажима. Не так давно на рынке дигитайзеров появились предложения с модифицируемыми курсорами, которые могут работать и с проводом, и с батареейкой.

Для гибких дигитайзеров применяют наиболее удобные беспроводные указующие устройства типа курсор и перо. Курсор может быть с 4 и с 16 кноп-

ками. У пера наконечник реагирует на нажатие (работает как кнопка), а на боковой поверхности имеются две кнопки. В качестве дополнительного оборудования можно заказать перо с AFT (Advanced Function Technology – развитая функциональная технология), с динамической чувствительностью, включая чувствительность к наклону, расстоянию до поверхности дигитайзера и силе нажима.

## **ГЛАВА 9. УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

### **9.1. Мониторы**

При общении с компьютером основная доля информации, которую мы получаем через наше зрение, постоянно увеличивается относительно прочих средств получения информации. Нагрузка же на глаза, пожалуй, наиболее критична в плане ущерба здоровью. Поэтому выбор монитора представляется максимально важным делом при покупке компьютера. Лучше уж, в условиях ограниченных денежных средств, взять процессор классом ниже, или пожертвовать объемом устанавливаемой оперативной памяти. Монитор, скорее всего, переживет еще несколько изменений конфигурации вашего компьютера, и, будучи правильно подобранным, позволит сохранить зрение, что трудно измерить какими-либо деньгами.

Многие годы основным типом мониторов были мониторы с электронно-лучевыми трубками. Эти мониторы, занимающие половину стола, до сих пор нравятся многим пользователям, однако уже давно их выпуск полностью прекращен. Буквально за несколько лет они были вытеснены с рынка жидкокристаллическими моделями.

Понятно, что критериев, определяющих правильный выбор монитора, очень много. Более того, для разных целей выбираются разные мониторы. Стоимость мониторов может существенно отличаться, их возможности и технические параметры тоже различны. В этой главе мы попытаемся дать рекомендации о том, как выбрать монитор именно для ваших нужд.

#### **9.1.1. Принцип работы жидкокристаллических мониторов**

Вы знакомы с трудами австрийского ботаника Фридриха Райнитцера? Скорее всего, не очень. По причине? По причине того, что всемирно известными трудами в области растениеводства он, увы, не прославился. Но именно он в 1888 году случайно наткнулся на метоксибензилин бутиланилин – вещество с благозвучным и легко запоминающимся названием, которое при нагревании до 145,5 градуса мутнело и становилось текучим, сохраняя при этом кристаллическую структуру. Как вы уже могли догадаться, это было начало эры жидких кристаллов. По иронии судьбы, ботаник, не имевший ничего общего с точными



науками, наткнулся на открытие, которое легло в основу всей индустрии производства жидкокристаллических панелей.

Через пару лет немецкий физик Отто Леманн выяснил, что эти кристаллы при наличии электромагнитного поля могут менять свои оптические характеристики, но ещё почти целое столетие данный эффект относился к разряду не представляющих практической пользы. И лишь в начале семидесятых годов прошлого века накопленный опыт и быстрое развитие технологий позволили начать постепенное внедрение этого открытия на рынке. Так жидкие кристаллы начали свой торжественный поход от первых калькуляторов к могучим сенсорным панелям, по пути получив гордое имя LCD и нещадно отбирая рынок у конкурентов в лице CRT-кинескопов.

Ни для кого не будет секретом, что свет, который мы все привыкли наблюдать, является неполяризованным. Это означает, что волны света распространяются по принципу «кто во что горазд» – абсолютно хаотично и во все стороны, разбрасывая амплитуды по огромному множеству плоскостей. Толку от такого света немного, поэтому с давних времён учёные пытались найти способ управлять всем этим буйством. И нашли.

Существует целый класс веществ, которые пропускают через себя свет только с одной заданной плоскости. Этот эффект чем-то напоминает радио – когда из всего хаоса сигналов мы выбираем только определённую, полезную нам частоту. Вещества эти назвали поляризаторами, поскольку прошедший через них свет становится поляризован только в одной плоскости.

Представьте себе водопроводный кран. В закрытом состоянии вода не течёт, поскольку специальная прокладка перекрывает воде доступ. Поворачивая рукоятку, вы сдвигаете прокладку относительно стенок крана, и вода начинает течь. Регулируя степень поворота, вы можете регулировать силу потока. Причём же здесь свет, спросите вы.

Да, в общем-то, притом, что если взять два поляризатора и поместить их перпендикулярно друг другу, то вы получите «закрытый кран». Ведь свет после первого поляризатора вышел только в одной плоскости, поэтому через второй, перпендикулярный, он пройти никак не сможет. «Выпустить» свет можно двумя способами: просто повернув второй поляризатор наподобие рукоятки крана или же повернув плоскость поляризации самого света. Первый способ нам не очень подходит в силу экономических и технологических причин, а вот второй способ гораздо интереснее.

Поворот поляризации света осуществляется именно с помощью жидких кристаллов. Свет от лампы подсветки падает на поляризационный фильтр, затем через слой жидких кристаллов попадает на второй фильтр и через прозрачное защитное стекло врывается в наш мир. Регулируя с помощью напряжения состояние и положение жидких кристаллов между фильтрами, мы получаем возможность управлять поворотом плоскости поляризации света, а, следовательно, и яркостью свечения. Технически эта конструкция с фильтрами, кристаллами и управляющими элементами и есть матрица.

Понятно, что сама по себе ЖК-панель ничего не излучает, она лишь меняет интенсивность проходящего через нее света – и в этом ее принципиальное отличие от монитора с электронно-лучевой трубкой, в котором каждый пиксель – это самостоятельный светоизлучающий элемент. Поэтому для работы ЖК-панели требуется внешняя подсветка. В калькуляторах, где впервые нашли применение жидкие кристаллы, использовалось естественное внешнее освещение, для этого задняя поверхность экрана делалась зеркальной, однако в компьютерных дисплеях, характеристики которых не должны зависеть от внешнего освещения, эта схема неприменима, поэтому в них позади панели располагается блок ламп подсветки.

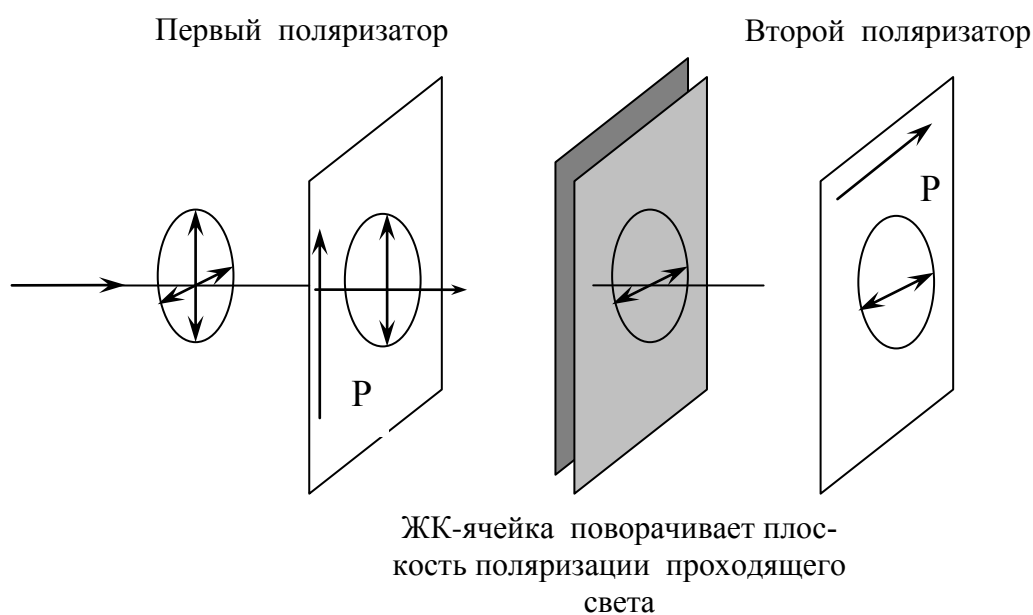


Рис. 9.1. Принцип действия ЖК-ячейки

Жидкие кристаллы никак не влияют на длину волны света, и панель изначально может воспроизводить лишь цвет лампы подсветки. Для решения этой проблемы каждый пиксель панели разбивается на три независимых субпикселя и на него накладывается так называемая цветоделительная маска: практически обычный фильтр, окрашивающий проходящий через каждый из субпикселей свет в один из основных цветов – красный, синий или зеленый. Таким образом, освещая панель белым светом, получаем привычные для любого монитора RGB-триады. Цветные фильтры для красного, зелёного и синего цветов интегрированы в стеклянную основу и расположены близко друг к другу.

Описанная выше технология ЖК-дисплеев в виде двух стеклянных пластин с нанесенными на стекло электродами исторически была первой, но на данный момент уже исчезла с рынка компьютерных мониторов. Дисплеи, изготовленные по этой технологии, так называемые пассивно-матричные, отличались очень малыми углами обзора и крайне большим временем реакции, поэтому были непригодны для сколько-нибудь динамичных изображений, увеличить же быстродействие было весьма затруднительно из-за большой емкости растя-

нутой по всему экрану сетки электродов. Решена проблема была только с внедрением активно-матричных панелей, в которых каждый субпиксель имел свой собственный управляющий транзистор (рис. 9.2).

Более того, каждый пиксель теперь оснащен параллельно включенным конденсатором, позволившим поддерживать напряжение на пикселе, а следовательно, и его состояние постоянным. Так удалось полностью избавиться от мерцания ЖК-матриц. Из-за требования к прозрачности матрицы транзисторы имеют толщину менее 0,1 мкм, поэтому их называли тонкопленочными транзисторами (thin film transistors, TFT). Со временем аббревиатура TFT стала применяться наравне с понятием «активная матрица», так как одно автоматически означало наличие другого. Сейчас эта аббревиатура не просто наиболее распространена, а иногда даже применяется вместо аббревиатуры LCD. В принципе это не очень корректно, однако применительно к компьютерным мониторам вполне допустимо, поскольку матрицы без TFT не выпускаются.

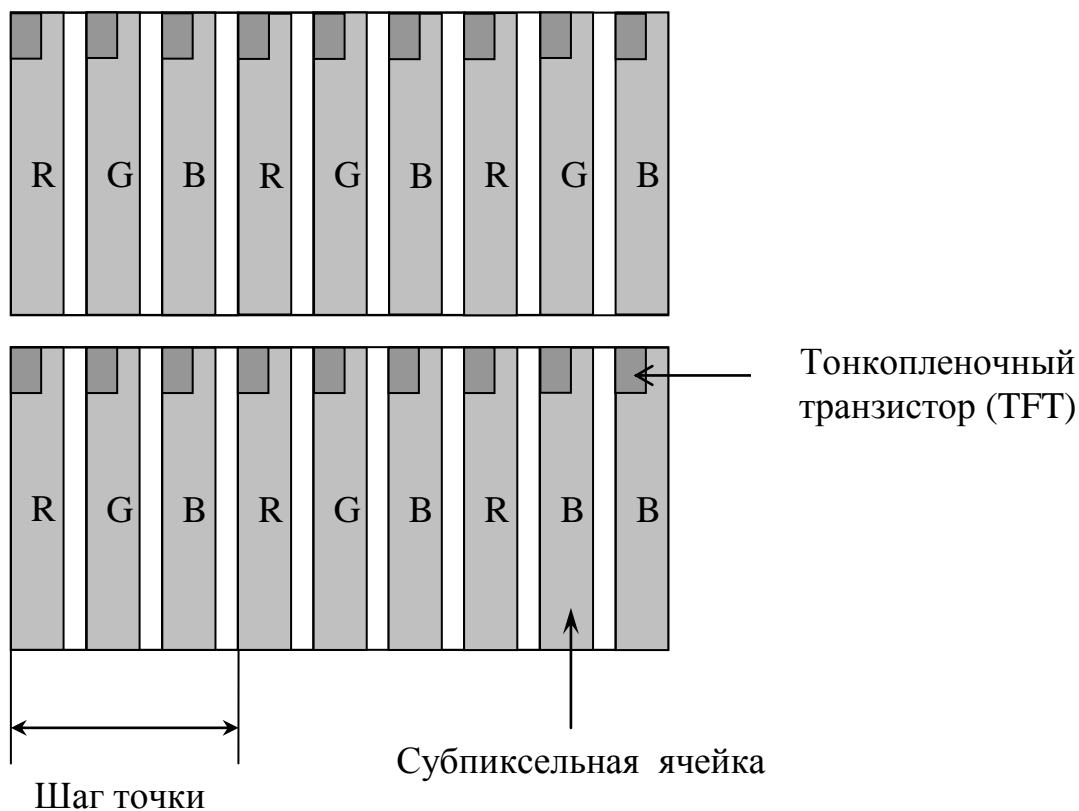


Рис. 9.2. К пояснению технологии TFT

### 9.1.2. Параметры ЖК-панелей и мониторов

Для того чтобы иметь возможность сравнивать разные технологии или разные реализации одной технологии, надо определиться с параметрами и, что более существенно, методами их измерения. И если с габаритами и массой все понятно, то о параметрах, определяющих качество изображения, стоит поговорить отдельно.

Для ЖК-панелей это следующие параметры – рабочее разрешение, интерфейс монитора, время отклика, углы обзора, яркость и контрастность, а также различные параметры цветопередачи.

**Разрешение монитора.** Большинство пользователей, прежде чем выбрать конкретную модель монитора, определяют с его размерами. От размера монитора зависят и занимаемое им рабочее пространство, и, что немаловажно, его цена. Несмотря на устоявшуюся классификацию ЖК-мониторов в зависимости от размера экрана по диагонали (15", 17", 19"), более корректной является классификация по рабочему разрешению. Дело в том, что, в отличие от мониторов на основе ЭЛТ, разрешение которых можно менять достаточно гибко, ЖК-дисплеи имеют фиксированный набор физических пикселей. Именно поэтому они рассчитаны на работу только с одним разрешением, называемым рабочим. Косвенно это разрешение определяет и размер диагонали матрицы, однако мониторы с одинаковым рабочим разрешением могут иметь разную по размерам матрицу. Например, мониторы с диагональю от 15 до 16 дюймов в основном имеют рабочее разрешение 1024x768, а это означает, что у данного монитора действительно физически содержится 1024 пикселя по горизонтали и 768 пикселей по вертикали.

Конечно же, монитор способен выводить изображение и в другом, отличном от рабочего разрешении. Такой режим работы монитора называют интерполяцией. Но в случае интерполяции качество изображения ухудшается. Режим интерполяции особенно заметно сказывается на качестве отображения экранных шрифтов.



VGA

**Интерфейс монитора.** Старые мониторы, в первую очередь ЭЛТ, поддерживали только аналоговое подключение. Этот порт известен всем владельцам компьютеров и мониторов – его внешний вид не меняется десятилетиями. **VGA-разъем (D-Sub)** состоит из 15 отверстий, расположенных в три ряда. Бывают и другие варианты порта D-Sub, но встречаются они очень редко. К примеру, компания Apple долгое время использовала для своих Mac'ов нечто оригинальное – разъем внешне напоминающий **D-Sub**, но более вытянутый, с контактами, расположенными в два ряда. Хотя, честно говоря, от D-Sub он отличался лишь формой и размерами. При желании, можно было самостоятельно спаять переходник, дающий возможность использовать монитор Apple с PC.

В принципе, качество VGA-сигнала сейчас доведено до вполне приемлемого уровня и «аналоговое» изображение на экране вполне устраивает большинство пользователей, если вы, конечно, не профессионал, много лет работающий с графикой.

Современные мониторы обычно поддерживают как аналоговое, так и цифровое подключение, а иногда – только цифровое. Во всех случаях на помощь может прийти **DVI-интерфейс** – ближайший родственник **HDMI**, используемого в HD-телевизорах.



**S-Video**



**DVI**

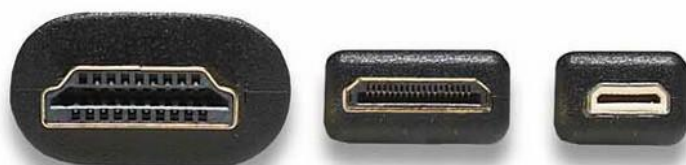
В мониторах задействованы DVI-разъемы одного из трех типов – **DVI-A** (поддерживает только аналоговое подключение), **DVI-D** (только цифровое) и **DVI-I** (как цифровое, так и аналоговое). Часто мониторы имеют как **D-Sub**, так и **DVI-разъемы**. Отдельно можно выделить **Dual-Link DVI**, как **DVI-D**, так и **DVI-I** типов. «Двухчастотный» **DVI** позволяет увеличить как мощность сигнала, так и скорость его передачи. Например, LCD-мониторы с поддержкой одноканального DVI поддерживает разрешение до 1920x1200, а с **Dual-Link** – 2560x1600. То есть если вы хотите приобрести себе монитор, работающий с такими разрешениями, то готовьтесь к тому, что потребуется и видеокарта, поддерживающая Dual Link DVI.

Недостаток DVI в том, что через него нельзя передавать звук. На помощь приходит **HDMI**. Стандарт аудио/видео интерфейса HDMI стал очень успешным. Это самое распространенное цифровое соединение, которое вы найдете в телевизорах, телеприставках, Blu-Ray плеерах, аудио/видео ресиверах, игровых приставках, видеокамерах и цифровых камерах. Он даже стал появляться в некоторых смартфонах.

Вы также найдете порт HDMI в большинстве настольных компьютеров и ноутбуков. Ни одно современное устройство «все-в-одном» не будет полным без HDMI входа, который позволяет подключать игровую консоль или телеприставку к компьютеру, и поэтому вы можете использовать его дисплей для второй цели.

Спецификация HDMI (High Definition Multimedia Interface) была задумана более десяти лет назад шестью производителями – гигантами потребительской электроники: Hitachi, Panasonic, Philips, Silicon Image, Sony и Toshiba. Сегодня HDMI Licensing, LLC, дочерняя компания Silicon Image, контролирует спецификацию. Производители должны платить авторский гонорар за включение портов HDMI в свои продукты.

HDMI разъемы имеют 19 контактов и наиболее часто встречаются в трех типоразмерах: Тип А (стандарт), Тип С (мини) и Тип D (микро). Из них тип А на сегодняшний день является наиболее распространенным. Четвертая категория HDMI разъема, тип Е, используется для автомобильной промышленности. Большинство HDMI разъемов используют трение для соединения между собой разъемов. Это означает, что плотная посадка держит вилку в паре с гнездом, но некоторые производители разработали собственные механизмы блокировки для предотвращения вытягивания кабеля из гнезда при натяжении.



Некоторые мониторы выпускаются со встроенными ТВ-тюнерами и по этому могут, в зависимости от модели, использовать любые видеоподключения – от обычных **RCA** до **S-Video** и даже обычного, антенного **RF**. Впрочем, такие модели – скорее исключение, чем правило, и занимают на рынке сравнительно небольшую нишу.

Отдельно стоит сказать о **USB**. Поскольку передача видеосигнала на монитор через USB не предусмотрена, мониторы оснащаются такими портами в основном для того, чтобы «разгрузить» сам системный блок. «К монитору» можно подключать клавиатуры, мыши и т. п. – любую USB-совместимую периферию. То есть монитор выполняет функцию USB-хаба.



**DisplayPort**

И, наконец, **DisplayPort** – новейшая разработка для цифровых мониторов, и, в некоторых случаях, домашних кинотеатров. Интерфейс поддерживается членами VESA (Video Electronics Standards Association) и призван в будущем заменить практически все существующие интерфейсы, включая **DVI** и **VGA**. Разъемы **DisplayPort** имеют 20 контактов и доступны в двух размерах: **DisplayPort** и **Mini DisplayPort** (последний порт для планшетов). Хотя большинство полноразмерных разъемов **DisplayPort** имеют механизм блокировки, который предотвращает их случайное выдергивание, официальная спецификация не требует, чтобы эта функция была.

**DisplayPort** имеет пропускную способность вдвое большую, чем **Dual-Link DVI**, низкое напряжение питания и низкие посторонние наводки. Размеры разъёма **Mini DisplayPort** в 10 раз меньше, чем у стандартного разъёма **DVI**.

Технология, реализованная в **DisplayPort**, позволяет передавать одновременно как графические, так и аудиосигналы. Основное отличие от **HDMI** – немного более широкий канал для передачи данных (10,8 Гбит/с вместо 10,2 Гбит/с). Максимальная длина кабеля **DisplayPort** составляет 15 метров. **DisplayPort 1.2** имеет максимальную скорость передачи данных 21,6 Гбит/с на расстоянии до 3 метров, что больше, чем **HDMI Type B** (2x10,2 Гбит/с). Также поддерживает несколько независимых потоков, пропускная способность вспомогательного канала в стандарте увеличена с 1 до 720 Мбит/с.

Таким образом, через интерфейс **DisplayPort 1.2** можно подключить до двух мониторов, воспроизводящих картинку размером 2560 x 1600 точек с частотой 60 Гц, либо до четырёх мониторов с разрешением 1920 x 1200 точек. При использовании одиночного монитора поддерживаемое разрешение возрастает до 3840 x 2400 точек с частотой 60 Гц, монитор с поддержкой частоты обновления 120...165 Гц поддерживается при разрешениях до 2560 x 1600 точек. Это позволяет стандарту **DisplayPort 1.2** работать с технологиями построения стереоскопического изображения.

Несмотря на большие возможности, **DisplayPort** не заменит **HDMI**, эти два стандарта ориентированы на разные сегменты рынка: **HDMI** – на бытовую аппаратуру, а **DisplayPort** – на профессиональное оборудование.

В последнее время набирают все большую популярность устройства с интерфейсом **Thunderbolt**. Многих заинтересовала эта технология своими неве-

роятными возможностями. Но что же это такое? Thunderbolt (в переводе с английского – удар молнии) – это новый высокоскоростной интерфейс для подключения устройств к компьютеру, ранее известный как Light Peak. Этот интерфейс был разработан компанией Intel, техническим партнером которой стала компания Apple, которая оснащает свои ноутбуки MacBook Pro разъемом Thunderbolt. Intel позиционирует этот интерфейс как замену в будущем нынешних проводных интерфейсов USB, SCSI, SATA и FireWire.

Сначала для передачи данных планировалось использовать только оптоволокно, но это оказалось недешевым удовольствием, и поэтому в первом варианте разъема используется медь, которая, как оказалось, тоже неплохо работает. В связи с этим рабочее название Light Peak стало неактуальным, и его заменили на Thunderbolt.

Однако Intel и в настоящее время продолжает работать над оптоволоконным вариантом данного интерфейса, который, вероятно, появится в недалеком будущем. Главные достоинства оптики – большая пропускная способность и большое расстояние передачи сигнала. А медный кабель Thunderbolt не может быть в длину более 3 метров.

Thunderbolt может подключать периферийные устройства, потребляющие не более 10 Вт мощности. Самым главным достоинством Thunderbolt является возможность подключать устройства последовательно, вследствие чего можно будет избавиться от привычного вороха проводов на столе.

Пропускная способность шины Thunderbolt на данный момент составляет 10 Гбит/с в обоих направлениях. Это в два раза превышает скорость передачи данных порта USB 3.0. Однако Intel не позиционирует Thunderbolt как конкурента USB и обещает, что чипсеты нового поколения будут идти с поддержкой USB 3.0.

Для Thunderbolt нужен активный кабель, поэтому он такой дорогой (в районе \$50). Каждый конец кабеля использует два крошечных чипа-передатчика низкой мощности Gennum GN2033, которые отвечают за усиление проходящего сигнала, чтобы обеспечить скорость передачи данных 10 Гбит/с на расстоянии до трёх метров.

**Время отклика.** Само понятие «время отклика» появилось вместе с ЖК-панелями, хотя его нередко путают со «временем послесвечения», которое актуально и для классических ЭЛТ.

В электронно-лучевой трубке луч проходит через каждую точку экрана с частотой кадровой развертки. При попадании очередной точки люминофора в зону луча она практически мгновенно начинает светиться, а после ухода луча гаснет, но не мгновенно, а по плавной экспоненте в течение нескольких миллисекунд. Таким образом, движущийся на черном фоне белый квадрат на ЭЛТ будет иметь абсолютно четкую переднюю границу и слабый белый «хвост» послесвечения позади.

На ЖК-матрице движущиеся изображения выглядят совершенно иначе. Из-за сравнительно большой вязкости жидких кристаллов с момента изменения

электрического поля до момента окончания поворота кристалла может пройти от единиц до десятков миллисекунд, причем это справедливо для моментов и зажигания пикселя, и его гашения (конкретные соотношения между временем зажигания и гашения пикселя зависят от типа матрицы и будут рассмотрены позже). Таким образом, движущийся на черном фоне белый квадрат будет иметь нечеткую переднюю границу из-за ненулевого времени зажигания пикселя и такую же нечеткую заднюю границу из-за ненулевого времени гашения. Однако, из-за другой формы кривой гашения за ним, в отличие от мониторов на ЭЛТ, практически не будет слабого светлого следа послесвечения. Кстати, пользователи часто ошибаются при попытке оценить время отклика ЖК-монитора по одному из многочисленных тестов, когда на экран выводятся движущиеся с различной скоростью квадраты – внимание обращается только на «хвост» позади изображения, а размытие задней грани квадрата игнорируется.

Согласно стандарту ISO 13406-2, время отклика ЖК-панели определяется как суммарное время зажигания и гашения пикселя, причем измеряется не полное время, а время изменения яркости от 10% от максимальной до 90% и обратно. Ключевой момент здесь – это то, что пиксель при измерении переходит между двумя крайними состояниями, а переходы между промежуточными состояниями, то есть между оттенками серого, никак не учитываются.

С одной стороны, переходу между крайними состояниями соответствует максимальный угол поворота кристаллов – то есть для переключения с черного на белый кристаллу требуется повернуться на больший угол, чем для переключения с черного на серый. Если бы скорость поворота кристалла была постоянной, тогда переходы с черного на белый были бы самыми длительными, и время отклика в понимании ISO 13406-2 характеризовало бы матрицу с наихудшей стороны. Для пользователей, конечно, это было бы только благом, так как по цифрам спецификации были бы понятны максимальные возможности матрицы. Однако кристаллы управляются электрическим полем, и для того чтобы повернуть кристалл на меньший угол, к ячейке ЖК-панели требуется приложить меньшее напряжение, что приведет к меньшей величине электрического поля между электродами и соответственно меньшей скорости поворота кристалла.

Таким образом, имеются две противоположные тенденции: с одной стороны, кристаллу надо повернуться на меньший угол, с другой – скорость его поворота также уменьшается. Какая именно из них преобладает – зависит от угла поворота, однако необходимо отметить, что для всех типов матриц скорость переключения с черного на белый и обратно оказывается максимальной из достижимых. Переключение между любыми другими промежуточными состояниями будет занимать в лучшем случае такое же время, но в абсолютном большинстве случаев – существенно большее.

Если пользователь работает с текстом, такая особенность будет несущественной, поскольку текст, как правило, черный на белом фоне, а это наиболее выгодно для ЖК-матриц, не говоря уже о том, что время отклика для отображения текста не столь важно. Однако во многих динамичных играх изображение не отличается высокой контрастностью и яркостью фона, и в этом случае



некоторые матрицы могут продемонстрировать все свои недостатки полностью, несмотря на, казалось бы, небольшое паспортное время отклика.

Другой интересный момент – несимметричность времени отклика у многих типов матриц, то есть существенное различие между временем зажигания и гашения пикселя, вплоть до 4...6 раз. Это приводит к заметным визуальным эффектам при перемещении по экрану тонких линий: если на матрице с симметричным временем отклика такая линия лишь становится более бледной за счет смазывания, то на матрицах с несимметричным откликом один ее край смазывается сильнее другого. Это приводит к заметным изменениям толщины линии; а так как на матрицах с существенно несимметричным откликом время зажигания всегда больше времени гашения, то задний край движущейся по белому фону черной линии смазывается сильнее, чем передний. Некоторые производители указывают в спецификациях монитора оба времени (зажигания и гашения пикселя), однако большинство предпочитает указывать только их сумму.

**Углы обзора.** Такой параметр, как углы обзора, даже более специфичен для ЖК-мониторов, чем время отклика. Дело в том, что для прочих технологий, в которых пиксель – излучающий, а не регулируемый элемент, он не имеет смысла.

Как уже отмечалось, угол поворота плоскости поляризации света зависит от угла, под которым световой пучок падает на жидкий кристалл. Проблема же в том, что он, в свою очередь, зависит от угла, под которым пользователь смотрит на экран. Мало того, что на экран невозможно смотреть строго под прямым углом (если вы сидите точно напротив его центра, то края экрана будете видеть уже под другим углом), еще и немногие способны работать за монитором, держа голову неподвижно.

При отклонении же в сторону матрица начинает терять контрастность: черный цвет становится светлее, а белый, напротив, темнее. Текущий стандарт определяет углы обзора монитора как углы относительно перпендикуляра к экрану, под которыми контрастность в центре экрана снижается до 10:1 (некоторые производители предпочитают указывать свои цифры, например, 20:1 или 5:1, но это встречается сравнительно редко). При этом указываются не четыре, а только два угла обзора: вертикальные и горизонтальные углы попарно суммируются.

В таком определении скрываются сразу четыре потенциальные ловушки для покупателя. Во-первых, стоит обратить внимание на цифру «10:1». На практике такая контрастность означает, что с экрана можно читать текст, но никак не изучать фотографии или смотреть фильм – глаз воспринимает такое изображение как весьма и весьма блеклое. Таким образом, надо помнить, что реальные углы обзора, при которых глаз не будет замечать существенных искажений изображения, как правило, оказываются намного меньше таковых для контрастности 10:1.

Во-вторых, измерения проводятся лишь в центре экрана. Очевидно, что края экрана вы будете видеть под другим углом, нежели центр, – скажем, если смотреть на центр 19-дюймового экрана с расстояния в 1 м под углом 45°, то дальний от вас край вы будете видеть уже под углом более 50°.

В-третьих, принимается во внимание только изменение контрастности, но не цветовые искажения. В то же время они характерны для многих типов матриц: при достаточно большом отклонении в сторону от перпендикуляра белый цвет приобретает грязно-желтый оттенок. Кроме того, могут заметно искажаться и другие цвета.

В-четвертых, никак не учитывается возможная несимметричность углов обзора: как уже говорилось, вертикальные и горизонтальные углы попарно суммируются. Это может привести к ситуации, когда на мониторе с, казалось бы, большим вертикальным углом обзора на практике контрастность изображения заметно отличается между низом и верхом экрана, даже если смотреть перпендикулярно центру экрана. Так как угол обзора вверх от перпендикуляра обычно больше, чем вниз, то сумма дала производителю возможность указать в спецификациях большой угол обзора по вертикали. Впрочем, некоторые производители указывают все четыре угла: однако, к сожалению, иногда они получаются простым делением пополам двух углов обзора из спецификаций матрицы, поэтому о несимметричности речь также не идет.

Таким образом, несмотря на сравнительно хорошие паспортные характеристики, визуальное восприятие многих матриц далеко от идеала.

**Яркость и контрастность.** Оба этих параметра напрямую применимы и к ЭЛТ-мониторам, однако важной частью спецификаций они стали именно с появлением в продаже ЖК-мониторов с более широким диапазоном возможных значений этих параметров.

Яркость монитора традиционно определяется как яркость чистого белого цвета в канделах на квадратный метр ( $\text{кд/м}^2$ ) при цветовой температуре 6500 К, измеряемая в центре экрана. Так как сделать идеально равномерную подсветку практически невозможно, то яркость будет различной в разных точках экрана (обычно она немного больше в тех местах, напротив которых расположены лампы подсветки), однако у большинства мониторов неравномерность яркости белого цвета по полю экрана ниже порога чувствительности глаза, поэтому она ничуть не мешает работе.

Для современных ЖК-мониторов яркость может меняться от 185 до 300  $\text{кд/м}^2$ , а у отдельных моделей даже больше (как правило, это модели с ориентацией на просмотр фильмов или игр). Наиболее распространенная яркость ЖК-мониторов – 250  $\text{кд/м}^2$ , этого хватает практически во всех случаях. Так, для работы с текстом достаточно яркости всего 70...100  $\text{кд/м}^2$ , для работы с изображениями – 120...130  $\text{кд/м}^2$ , и лишь для игр и фильмов востребована яркость 180...200  $\text{кд/м}^2$ . Таким образом, данный параметр у современных ЖК-панелей не только удовлетворяет запросы любых пользователей, но и значительно превосходит классические мониторы на ЭЛТ.

Другой немаловажный параметр – контрастность – определяется как отношение яркости белого цвета к яркости черного цвета. Очевидно, что понятие «черный цвет» здесь может быть применено только условно – ведь, как уже отмечено выше, серьезный недостаток ЖК-панелей в том, что в силу своего принципа работы некоторый процент света они пропускают всегда, поэтому «выключенный» пиксель будет на самом деле не черным, а темно-серым.

Невысокая контрастность – существенный недостаток многих типов панелей, несмотря на большие заявляемые производителями цифры. Допустим, у ЖК-панели с контрастностью 500:1 максимальная яркость 250 кд/м<sup>2</sup>; это означает, что черный цвет на ней в 500 раз менее яркий, чем белый, то есть его уровень составит 0,5 кд/м<sup>2</sup>. Такая, казалось бы, небольшая величина при работе с неярким внешним освещением приводит к тому, что черный цвет выглядит темно-серым; более того, на таком псевдочерном фоне для глаза значительно заметнее неравномерность яркости. Для сравнения: у качественных мониторов на ЭЛТ контрастность может легко достигать (1000...2000):1, а уровень черного может быть существенно ниже 0,1 кд/м<sup>2</sup>.

Некоторую неразбериху вносят и методы измерения контрастности: дело в том, что указанная в технических спецификациях монитора контрастность – на самом деле характеристика не монитора, а лишь установленной в нем матрицы. Соответствующие измерения проводятся производителем матрицы на специализированном оборудовании, причем яркость подсветки матрицы, а также подаваемые на нее сигналы жестко заданы. В реальном же мониторе начнут сказываться особенности реализации его электроники, использованные его производителем способы регулирования яркости и контрастности и другие факторы, никак не зависящие от самой матрицы. Поэтому реальная контрастность монитора зачастую не имеет какой-либо прямой связи с заявленной контрастностью матрицы. Более того, реальная контрастность определяется установленной в настройках монитора яркостью экрана, причем в зависимости от модели монитора при снижении яркости она может, как расти, так и падать. Единственная зависимость между паспортными и реальными характеристиками, которую можно проследить: чем больше заявленная паспортная контрастность, тем, скорее всего, будет больше контрастность реальная, да и то такие сопоставления можно делать только между матрицами одного типа.

**Цветопередача.** Вообще говоря, достоверность отображения монитором цветовой гаммы зависит от многих параметров, однако можно выделить три наиболее важных: гамма-коррекция, настройка цветовой температуры и рядность матрицы.

В первую очередь цветопередача монитора описывается так называемыми цветовыми кривыми, то есть зависимостью между входным (заданным видеокarte цветом) и выходным сигналом. Эта кривая – степенная, то есть имеет вид:  $Out = In^\gamma$ , где  $In$  – входной сигнал,  $Out$  – выходной, а  $\gamma$  – некоторое число.

Исторически сложилось, что в течение многих лет стандартными для полиграфии и других областей деятельности, связанных с точной цветопередачей, были компьютеры Apple, для которых  $\gamma=1,8$ . В то же время для платформы PC/Wintel стандартным значением было 2,5 (это связано с тем, что электронно-лучевая трубка в силу особенностей работы сама по себе имеет  $\gamma$  от 2,45 до 2,55). По мере того, как сферы деятельности компьютеров компании Apple и платформы Wintel пересекались, возникла серьезная проблема – изображения, скорректированные для показа на платформе Apple, неправильно отображались на платформе Wintel и наоборот. Для выхода из этой ситуации компаниями Microsoft и Hewlett-Packard, к которым позже присоединились Pantone и Corel, был разработан стандарт sRGB, согласно которому значение  $\gamma$  должно составлять 2,2, а цветовая температура 6500К. Такое промежуточное значение позволило с минимальными искажениями просматривать изображения, уже скорректированные под  $\gamma$ , равные 1,8 или 2,5.

Однако если для ЭЛТ передаточная характеристика с  $\gamma = 2,5$  уже есть в силу самого их устройства, а скорректировать ее под другие числа  $\gamma$  не представляет особой сложности, то у ЖК-панелей передаточная характеристика ничего общего со степенной функцией не имеет. Поэтому электронике монитора приходится искусственно настраивать ее, учитывая реальную характеристику панели. Результат довольно часто получается далеким от идеала – кривая не просто не совпадает с теоретической, но в зависимости от входного сигнала может проходить ниже или выше ее. На практике это означает, что если реальная кривая проходит выше идеальной на темных тонах, но ниже – на светлых, то монитор будет отображать темные оттенки светлее, чем они есть на самом деле, а светлые – наоборот, темнее. Так как характер искажения зависит от уровня сигнала, то скорректировать изображение можно только с помощью правильных цветовых профилей, потому как обычные регулировки яркости и контрастности одинаково влияют на всю кривую, а не на заданные ее участки.

Более того, на некоторых мониторах поведение цветовых кривых зависит еще и от соответствующего им цвета: красного, синего или зеленого, причем может сложиться ситуация, когда при одном уровне сигнала, скажем, выше будет уровень синего, а при другом – красного. Это приведет к тому, что оттенки чистого серого цвета на мониторе будут выглядеть слегка подкрашенными, причем в зависимости от уровня серого подкрашиваться они будут либо в синий, либо в красный цвет. Очевидно, что привычными настройками уровней RGB эта ситуация не исправляется, так как они опять же влияют на всю кривую, а не на отдельные ее участки.

Таким образом, в связи с особенностями работы и настройки ЖК-мониторов цветовые профили и цветовая калибровка для них имеют существенно большее значение, чем для ЭЛТ-мониторов. Если на последних использование правильного цветового профиля обычно лишь слегка меняет яркость и общую тональность изображения, то у многих ЖК-мониторов изменения могут

оказаться довольно значительными, поэтому тем, кто работает с цветными изображениями, пренебрегать калибровкой не стоит.

Еще один важный параметр изображения с точки зрения цветопередачи – цветовая температура. Она определяет тональность изображения на экране монитора: чем ниже температура, тем теплее цвета (такова терминология, ничего не поделаешь – человек воспринимает как более холодный спектр излучения тела, которое на самом деле более горячее). Дело в том, что для человеческого глаза нет понятия абсолютно белого цвета – глаз адаптируется под различные условия освещения и в зависимости от них может воспринимать как белый несколько различных цветов. Поэтому в зависимости от внешнего освещения изображение на мониторе будет восприниматься глазом как более теплое или более холодное. Для компенсации этого эффекта в мониторах предусмотрена регулировка цветовой температуры, позволяющая настроить монитор так, чтобы в конкретных условиях белый цвет на нем выглядел именно белым, а не желтоватым и не голубоватым.

Но если у абсолютного большинства мониторов на базе ЭЛТ при настройке цветовой температуры не возникает проблем, то у ЖК-мониторов не все так просто.

Во-первых, как правило, сколько-нибудь плавного (с шагом хотя бы  $500^{\circ}\text{K}$ , не говоря уж о более точном) изменения цветовой температуры не предусматривается: большинство ЖК-мониторов имеют в настройках от двух до пяти предустановленных вариантов температуры плюс возможность подстроить температуру вручную, регулируя каждый из трех цветов отдельно (по умолчанию они обычно установлены на температуру  $5500\dots7500^{\circ}\text{K}$ ). Во-вторых, для многих ЖК-мониторов температуры, отличные от установленной по умолчанию, малоприспособны. Довольно часто вместо мягкого изменения тональности изображения при уменьшении цветовой температуры серый цвет приобретает сильный розовый или красный оттенок, в то время как белый меняется слабо. Аналогичная ситуация и с повышением цветовой температуры: у многих моделей мониторов это выливается лишь в приобретение серым цветом сильного синеватого оттенка, в то время как температура белого цвета не меняется вообще или меняется очень незначительно. Разумеется, такой дисбаланс между температурами белого и серого цвета негативно влияет на изображение, и пользователю приходится либо кропотливо подстраивать температуру вручную при помощи отдельных регулировок RGB, либо довольствоваться установленной производителем по умолчанию температурой, хотя дисбаланс между температурами белого и серого цвета у многих мониторов наблюдается и в таком режиме.

Разумеется, этими недостатками обладают далеко не все ЖК-мониторы. Есть модели и с плавной (с шагом  $100^{\circ}\text{K}$ ) регулировкой цветовой температуры, и с отсутствием серьезного дисбаланса между серым и белым цветом. Однако распространенность проблем с настройкой цветовой температуры у ЖК-мониторов по сравнению с легкостью настройки мониторов на базе ЭЛТ за-

ставляет сделать вывод, что на эти проблемы необходимо обращать внимание при выборе монитора.

И, наконец, третье – разрядность матриц. Стандарт для современных графических адаптеров и мониторов – 24-бита (на каждый из трех компонентов приходится по 8 бит), обеспечивающий передачу 16,7 млн. различных цветов. Однако если ЭЛТ-мониторы – аналоговые устройства и понятие «количество цветов» для них напрямую неприменимо, то на ЖК-матрицу подается цифровой сигнал, для которого это понятие имеет точно такое же значение, как и для графических адаптеров.

Проблема состоит в том, что абсолютное большинство современных 17-дюймовых матриц имеют 18-битную цветопередачу и могут отображать не более 262 тысяч цветов. Попытка отобразить 24-битовое цветовое пространство видеокарты на 18-бит пространство матрицы напрямую, просто отбросив «лишние» цвета, приводит к весьма печальному результату – на мониторе практически невозможно работать с графикой или фотографиями, так как любые плавные градиенты становятся «полосатыми», с четко видимыми границами переходов между цветами.

В то же время для многих 18-битных матриц в паспорте указывается, что они воспроизводят 16,2 млн. цветовых оттенков. Оказывается, что в 18-битных матрицах за счет всяческих ухищрений можно приблизить количество цветовых оттенков к тому, что воспроизводятся настоящими 24-битными матрицами. Для экстраполяции цветовых оттенков в 18-битных матрицах используются две технологии (и их комбинации): dithering (дизеринг) и FRC (Frame Rate Control).

Суть **технологии дизеринга** заключается в том, что недостающие цветовые оттенки получают за счет смешения ближайших цветовых оттенков соседних пикселей. Рассмотрим простой пример. Предположим, что пиксель может находиться только в двух состояниях: открытом и закрытом, причем закрытое состояние пикселя формирует черный цвет, а открытое – красный. Если вместо одного пикселя рассмотреть группу из двух пикселей, то, кроме черного и красного, можно получить еще и промежуточный цвет, осуществив тем самым экстраполяцию от двухцветного режима к трехцветному. В результате если первоначально такой монитор мог генерировать шесть цветов (по два на каждый канал), то после дизеринга он уже будет воспроизводить 18 цветов.

Схема дизеринга имеет один существенный недостаток: увеличение цветовых оттенков достигается за счет уменьшения разрешения. Фактически при этом увеличивается размер пикселя, что может негативно сказываться при прорисовке деталей изображения.

Суть **технологии FRC** заключается в манипуляции яркостью отдельных субпикселей с помощью дополнительного включения/выключения. Как и в предыдущем примере будем считать, что пиксель может быть либо черным (выключен), либо красным (включен). Каждый субпиксель получает команду на включение с частотой кадровой развертки, то есть при частоте

кадровой развертки 60 Гц каждый субпиксель получает команду на включение 60 раз в секунду. Это позволяет генерировать красный цвет. Если же принудительно заставлять включать пиксель не 60 раз в секунду, а только 50 (на каждом 12-м такте производить не включение, а выключение пикселя), то в результате яркость пикселя составит 83% от максимальной, что позволит сформировать промежуточный цветовой оттенок красного.

Качество реализации FRC также сильно отличается на разных моделях ЖК-мониторов, но, в отличие от истинной разрядности матрицы, это легко проверить какой-либо программой для тестирования мониторов (например, PassMark MonitorTest), умеющей выводить на экран плавные цветовые градиенты (от черного цвета до одного из трех цветов – красного, синего или зеленого). При хорошем качестве FRC на таком изображении различить отдельные переходы между цветами невозможно или очень трудно. Реализацию FRC можно также считать успешной, если на плавном градиенте видно не более нескольких полос, явно выпадающих из общего ряда. Если же весь градиент распадается на отдельные узкие полоски с четкими границами между ними – FRC в мониторе не реализован вообще или из рук вон плохо. Фактически такой монитор будет пригоден только для работы с текстом, так как на любых цветных изображениях с плавными переходами цветов нехватка разрядности матрицы будет тут же бросаться в глаза.

Таким образом, оба рассмотренных метода экстраполяции цвета имеют свои недостатки. В первом случае существует вероятность потери деталей изображения, во втором – возможно мерцание экрана и некоторое увеличение времени реакции.

### **9.1.3. Технологии изготовления матриц**

#### **TN-матрица**

ЖК-матрица TN-типа (Twisted Nematic) представляет собой многослойную структуру, состоящую из двух поляризующих фильтров, двух прозрачных электродов и двух стеклянных пластинок, между которыми располагается жидкокристаллическое вещество нематического типа с положительной диэлектрической анизотропией.

На поверхность стеклянных пластин наносятся специальные бороздки, что позволяет создать первоначально одинаковую ориентацию всех молекул жидких кристаллов вдоль пластины. Бороздки на обеих пластинах взаимно перпендикулярны, поэтому слой молекул жидких кристаллов между пластинами изменяет свою ориентацию на 90°. Получается, что ЖК-молекулы образуют скрученную по спирали структуру (рис. 9.3), из-за чего такие матрица и получили название Twisted Nematic.

Стеклянные пластины с бороздками располагаются между двух поляризационных фильтров, причем ось поляризации в каждом фильтре совпадает с направлением бороздок на пластине.

В обычном состоянии ЖК-ячейка является открытой, поскольку жидкие кристаллы поворачивают плоскость поляризации проходящего через них света. Поэтому плоскополяризованное излучение, образуемое после прохождения первого поляризатора, пройдет и через второй поляризатор, так как ось его поляризации будет параллельна направлению поляризации падающего излучения.

Под воздействием электрического поля, создаваемого прозрачными электродами, молекулы жидкокристаллического слоя меняют свою пространственную ориентацию, выстраиваясь вдоль силовых линий поля. В этом случае жидкокристаллический слой теряет способность поворачивать плоскость поляризации падающего света, и система становится оптически непрозрачной, так как весь свет поглощается выходным поляризирующим фильтром. В зависимости от приложенного напряжения между управляющими электродами можно менять ориентацию молекул вдоль по полю не полностью, а лишь частично, то есть регулировать степень скрученности ЖК-молекул. Это, в свою очередь, позволяет менять интенсивность света, проходящего через ЖК-ячейку. Таким образом, установив лампу подсветки позади ЖК-матрицы и меняя напряжение между электродами, можно варьировать степень прозрачности одной ЖК-ячейки.

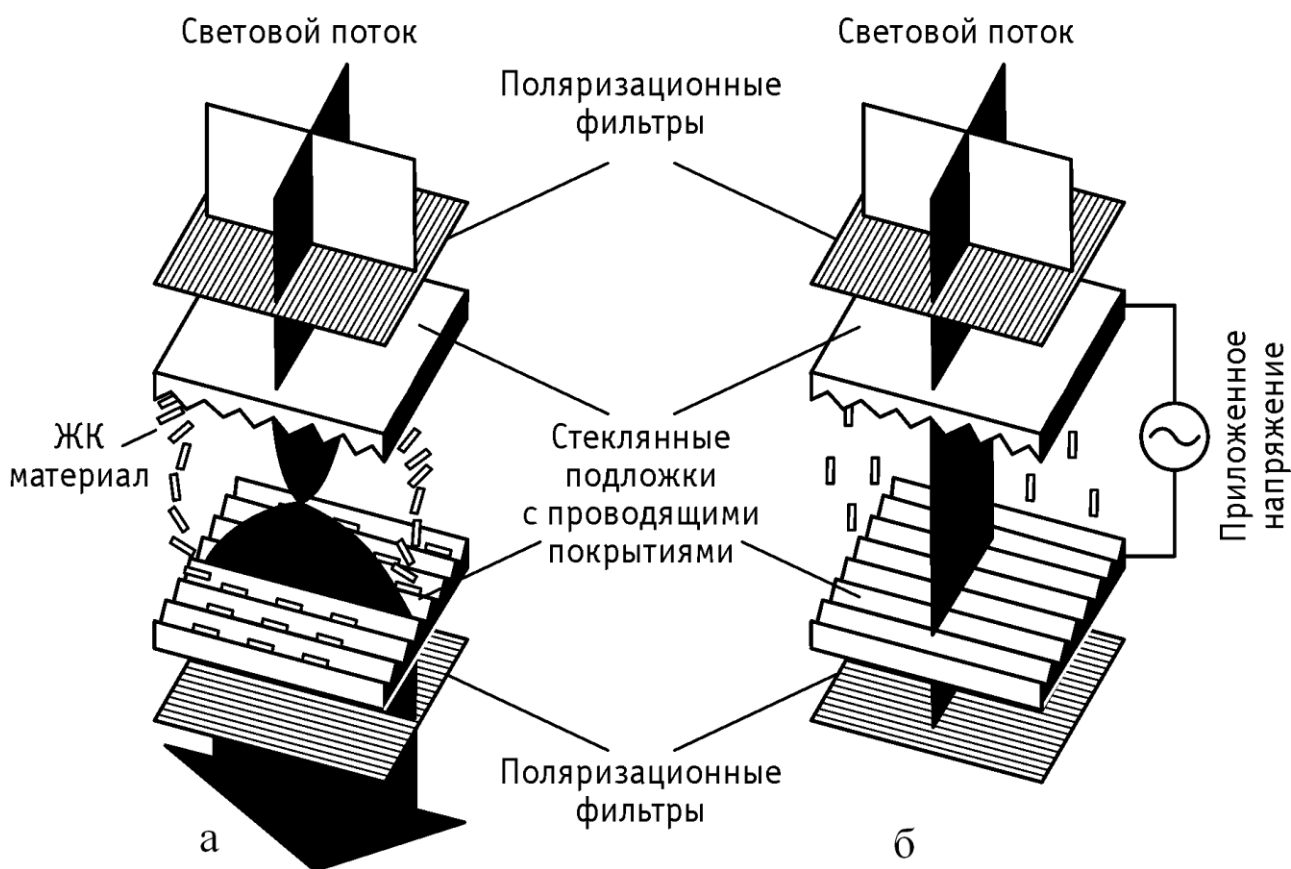


Рис. 9.3. Иллюстрация, поясняющая механизм твист-эффекта в нематическом ЖК (а – режим отсутствия электрического поля; б – режим наличия электрического поля)



У TN-панелей имеется несколько существенных недостатков. Во-первых, естественным состоянием панели, когда кристаллы образуют спираль, было прозрачное, то есть она пропускала свет. Благодаря этому при выходе из строя одного из тонкопленочных транзисторов свет через соответствующий пиксель будет беспрепятственно выходить наружу, образуя весьма заметную постоянно горящую точку.

Во-вторых, недостатком TN оказалась низкая контрастность. Развернуть все жидкие кристаллы перпендикулярно фильтру оказалось практически невозможно, поэтому уровень черного таких панелей мог превышать  $2 \text{ кд/м}^2$  – такой цвет выглядит как темно-серый, но отнюдь не как черный.

В-третьих, низкая скорость реакции, первые панели имели время отклика около 50 мс. Впрочем, этот недостаток удалось преодолеть с разработкой технологии STN – Super Twisted Nematic, которая позволила уменьшить время отклика до 30 мс.

И, наконец, последний серьезный недостаток – очень небольшие углы обзора, всего около  $90^\circ$ . Впрочем, способ борьбы был найден и тут: нанесение на поверхность экрана полимерной пленки с большим показателем преломления позволило расширить углы обзора до  $120\dots 140^\circ$  без существенного изменения технологии; такие панели получили название TN+Film. Тем не менее, конкурировать с ЭЛТ-мониторами было все еще трудно.

Несколько лет назад TN+Film-матрицам отводилась роль не более чем дешевой альтернативы, используемой в 15-дюймовых мониторах и в низшем ряду 17-дюймовых моделей. Все изменилось, когда компания AU Optronics представила TN+Film-матрицу со временем отклика всего 16 мс. По некоторым параметрам она была не лучше, а в чем-то даже хуже существовавших 25-мс TN-матриц (уменьшившиеся углы обзора, плохая цветопередача, невысокая контрастность), но малое время отклика сделало свое дело, так как являлось отличной маркетинговой приманкой для потребителей. TN-матрицы и до настоящего времени остаются самыми дешевыми, так как на фоне продолжающихся ценовых войн каждый лишний доллар за матрицу оказывается для производителя тяжким бременем.

Узнать, какой именно тип матрицы применяется в мониторе, не так-то просто. Однако если на мониторе имеется «битый» пиксель, возникший вследствие выхода из строя управляющего ЖК-ячейкой транзистора, то в TN-матрицах он всегда будет гореть (красным, зеленым или синим цветом), поскольку для TN-матрицы открытый пиксель соответствует отсутствию напряжения на ячейке.

Распознать TN-матрицу можно и посмотрев на черный цвет при максимальной яркости – если он скорее серый, чем черный, то это, вероятно, именно TN-матрица.

### **IPS-матрицы**

С момента создания первого монитора на жидких кристаллах прошло уже довольно много времени, когда мир понял, что так дальше продолжаться не

может, – выдаваемого TN-технологией качества явно стало не хватать. Те нововведения, что были призваны исправить недостатки TN-матриц, спасли ситуацию лишь частично. Поэтому к середине 90-х годов прошлого века начались активные поиски новых решений, способных перевести качество ЖК-мониторов на принципиально новый уровень.

Так уж бывает в мире технологий, что одни ищут решения возникающих проблем путём модернизации имеющихся разработок, а другие не боятся начинать всё с нуля. Гордые японцы под эгидой Hitachi долго смотрели на весь этот шум, потом вздохнули, засучили рукава и в 1996 году явили миру свою собственную разработку, лишённую минусов TN-технологии. Названа она была **IPS (In-Plane Switching)**, что можно перевести как «переключение в плоскости». От стандартной TN-матрицы она отличалась тем, что, во-первых, кристаллы в матрице были не скручены, а располагались параллельно друг другу в одной плоскости (отсюда и название). А во-вторых, оба контакта для подачи напряжения располагались на одной стороне ячейки.

Что это дало в результате? В IPS-матрицах при отсутствии напряжения свет не проходил через поляризаторы, поэтому, в отличие от TN-технологии, чёрный цвет здесь был именно чёрным. Первые версии отличались ещё одной особенностью – при взгляде на экран сбоку чёрный цвет давал фиолетовый оттенок (впоследствии эта проблема была решена). В выключенном состоянии матрица свет не пропускала, поэтому теперь, если пиксель выходил из строя, то, в отличие от TN-матриц, появлялась не светящаяся точка, а чёрная. К тому же на порядок возросло качество цветопередачи.

Но, как обычно это бывает в таких случаях, решение старых проблем породило новые. В связи с особенностями «конструкции», для того чтобы повернуть кристаллы, стало требоваться гораздо больше времени, соответственно, матрица стала гораздо более «медленной». Далее, поскольку оба контакта расположили на одной стороне, это уменьшило полезную площадь (незначительно, но тем не менее), что, в свою очередь, привело к уменьшению яркости и контрастности панелей, созданных по этой технологии.

Но и это ещё не всё. Расход энергии тоже возрос – как за счёт технических решений, так и за счёт использования более мощных источников освещения. Как результат – цена этих матриц довольно высока.

В любом случае, качество изображения стало гораздо выше, что позволило сразу нескольким компаниям активно броситься на поиски модернизаций с целью уменьшить «вредные» параметры и улучшить преимущества. Одновременно с Hitachi эту же самую технологию стали использовать и в фирме NEC (только вот называлась она у них **Super Fine TFT**, или **SFT**).

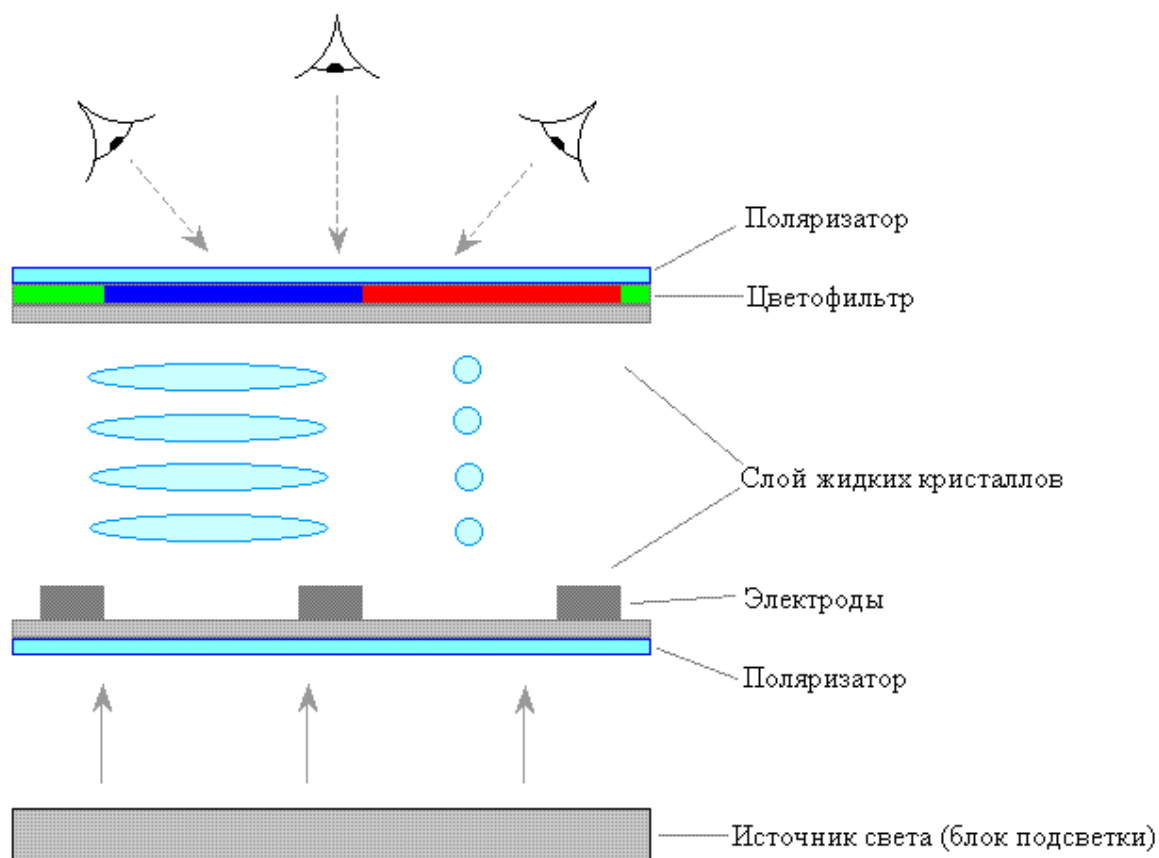


Рис. 9.4. Схематическое изображение ячейки в IPS-матрице

Уже в 1998 году Hitachi модернизировала матрицы IPS, уменьшив время отклика. Технологию, которую назвали **S-IPS**, сразу же взяли на вооружение такие гиганты, как Dell и Samsung. Стоит отметить, что на сегодняшний день именно по направлению IPS существует больше всего модификаций, которые далеко ушли от первоначальной версии. И хотя общие моменты, касающиеся этих матриц, остаются, во многих модификациях некоторые параметры были существенно улучшены.

Так вот, начиная с 1998 года развитие технологии пошло по трём направлениям, ведомым тремя компаниями – Hitachi, NEC и LG. Не вдаваясь в технические детали и особенности (каждая последующая версия обладала более совершенной цветопередачей, уменьшенным временем отклика или улучшенным контрастом), перечислим название технологий в порядке их появления. Просто для того, чтобы вы, столкнувшись с непонятной аббревиатурой, знали, о чём идёт речь.

- S-IPS – предложенный в 1998 году вариант IPS с уменьшенным временем отклика.
- AS-IPS – технология Advanced Super IPS была разработана в 2002 году. По сути, представляет собой S-IPS с улучшенной (практически до уровня S-PVA) контрастностью.
- A-TW-IPS – Advanced True White IPS – представляет собой S-IPS панель с цветовым фильтром True White («настоящий белый») для придания белому

цвету большей реалистичности и расширению цветового охвата. Этот тип матриц применяется при создании профессиональных мониторов для использования в фотолабораториях и/или издательствах. Недостатком этого и более ранних типов IPS-матриц является специфическая «фиолетовая» засветка чёрного цвета.

- H-IPS – вариант IPS, появившийся в конце 2006 года, характеризуется ещё большей контрастностью и визуальной более однородной поверхностью экрана, и в значительной мере лишён паразитной засветки (например, нет «фирменного» фиолетового оттенка при взгляде на экран с больших углов), но для этого пришлось немного пожертвовать собственно углами обзора.

- E-IPS – Enhanced IPS, появился в 2009 году, имеет более широкую апертуру для преодоления одного из «врожденных недостатков» IPS – низкого процента пропускаемого света даже при полностью открытых пикселях. Это позволяет использовать менее энергоёмкие и более дешёвые системы подсветки для достижения сравнимого уровня яркости и контрастности. Также улучшены углы обзора при взгляде по диагонали, а время отклика уменьшено до 5 мс.

- P-IPS – Professional IPS, наиболее радикальное усовершенствование технологии IPS, такие матрицы появились на рынке в 2010 году. Их ключевым отличием является 1024 (а не 256) градации ориентации для каждого субпикселя, что позволяет получить полноценный 30-битный цвет, что недостижимо для любой другой LCD-технологии.

Стоит упомянуть ещё об одном ответвлении – технологии **АСЕ (Advanced Coplanar Electrode)** от Samsung, но поскольку монитор, созданный по этой технологии, на рынке найти практически невозможно, то будущее АСЕ пока что неизвестно.

Итак, в каком случае покупка монитора с IPS-матрицей будет оправдана? Сразу сделаем оговорку – под IPS имеется в виду всё направление, а не самая первая технология.

Начнём с минусов:

- Прежде всего – цена. Эти матрицы самые дорогие. Правда, учитывая динамику последних лет и постоянное развитие технологий, тут стоит отметить одну деталь. То, что вчера было запредельно дорого, сегодня уже стоит гораздо меньше.

- Второй, тоже уже достаточно спорный момент, – это скорость матрицы. Да, первоначально они сильно отставали от лидеров – TN-матриц. Отставали так, что даже простое прокручивание текста на экране вызывало некоторые трудности, так как изображение просто не успевало быстро обновляться. Но последние разработки позволили если и не перегнать TN-матрицы, то, по крайней мере, сделать различие в скорости очень незначительным.

- Что касается энергопотребления, то, начиная с модификации E-IPS, оно тоже было уменьшено.

Как мы видим, практически нигде, за исключением цены (пока что), у этих матриц нет сильных «проколов», к тому же, учитывая количество техноло-

гических ресурсов, которые задействованы в модернизации этого направления, очень вероятно, что и дальше ситуация будет улучшаться.

Плюсы этой технологии были очевидны ещё с самого начала и в дальнейшем лишь постоянно усиливались:

- Прежде всего отличная цветопередача. Последняя версия (P-IPS) обеспечивает передачу более одного миллиарда цветов, что должно удовлетворить даже самых требовательных дизайнеров. Ещё в 2008 году по качеству цветопередачи они вплотную приблизились к CRT-мониторам. Так что для серьёзной работы с графикой монитору на IPS-матрицах – это единственный разумный выбор.

- Хорошие углы обзора, которые к тому же всё время улучшаются.

- ISP-матрицы наиболее комфортны для глаз, что подтверждается офтальмологами.

В заключение ещё раз отметим, что технология постоянно улучшается и развивается, поэтому многие негативные моменты, упоминаемые в обзорах и тестах в последних моделях, могут быть или исправлены или уже неактуальны.

### **Пластиковые (LEP- и OLED-) дисплеи**

По своему внутреннему устройству (LEP- и OLED-) дисплеи похожи, поэтому все, что мы будем говорить о LEP-технологиях? в равной мере относится и к OLED-дисплеям.

На тонкую стеклянную или пластиковую подложку с прозрачными электродами наносится слой полимерных материалов (обычно их два, как показано на рис. 9.5), а завершают конструкцию металлические электроды. Прозрачные и металлические электроды расположены взаимоперпендикулярно, образуя ортогональную сетку. При возникновении между электродами электрического поля участок полимера, расположенный в точке их пересечения, начинает светиться.

Одной из главных проблем LEP-технологии является низкая эффективность излучения света (то есть отношение его интенсивности к плотности проходящего тока). Изначально это соотношение составляло 0,01%, однако компания CDT смогла поднять этот показатель до 5% при излучении желтого света, что сравнимо с эффективностью современных неорганических светодиодов (LED). Существенным недостатком был и достаточно узкий диапазон цветов, в котором излучали пластики. Его границы удалось расширить, и в настоящее время он простирается от синего до ближнего инфракрасного (при этом его эффективность составляет около 1%). Полимерный экран нуждается в герметизации, чтобы избежать расслоения под действием водяных паров.

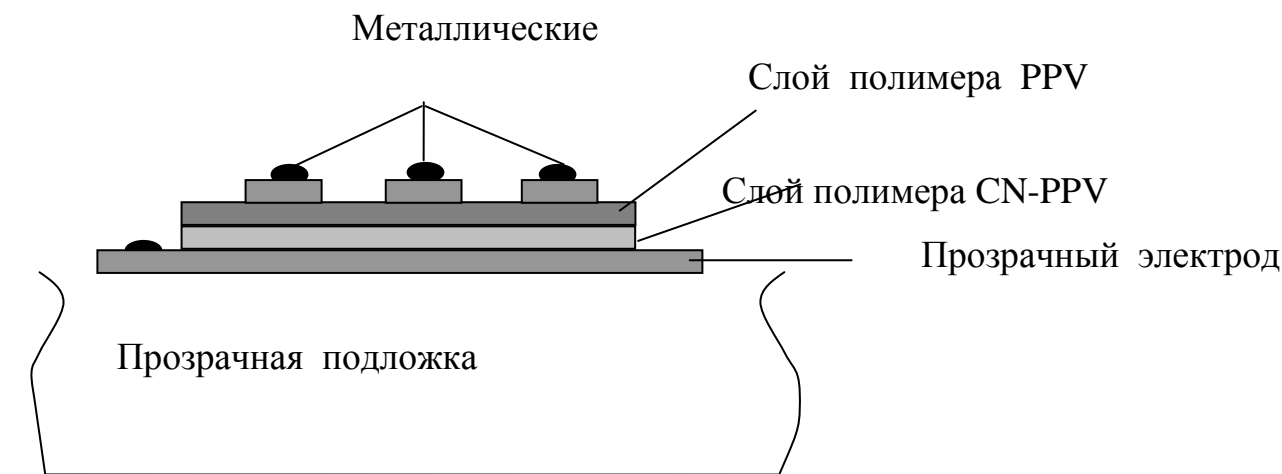


Рис. 9.5. LEP-технология

Помимо совершенствования светоизлучающих полимерных материалов, специалисты CDT работают над созданием собственных технологий производства LEP-дисплеев. Например, совместными усилиями разработчиков CDT и японской корпорации Seiko Epson была создана уникальная технология нанесения светоизлучающих материалов и прозрачных проводников, базирующаяся на принципах обычной струйной печати. При этом немаловажно, что себестоимость производства дисплея с использованием этой технологии получается в полтора раза ниже по сравнению с изделиями, имеющими аналогичный размер экрана и изготовленными традиционным методом, который в настоящее время используется для формирования ЖК-матриц.

Следует отметить ряд существенных преимуществ LEP-дисплеев:

- LEP-дисплеи необычайно просты и дешевы в производстве. Даже по сравнению с экранами на жидких кристаллах пластиковые мониторы кажутся совсем тонкими – всего пары миллиметров вполне достаточно для воспроизводства на них качественного изображения;
- поскольку многие стадии процесса производства LEP-дисплеев совпадают с аналогичными стадиями производства LCD, производство легко переоборудовать;
- технология LEP позволяет наносить пластик на гибкую подложку большой площади, что невозможно для неорганического светодиода (там приходится использовать матрицу диодов);
- пластик сам излучает, а не использует отраженный или прямой поток от другого источника, что позволяет забыть о тех проблемах, с которыми сталкиваются производители мониторов на жидких кристаллах, в частности – ограниченного угла обзора, так как LEP-монитор обеспечивает 180-градусный угол обзора;
- изменением числа электродов на единицу протяженности по горизонтали или вертикали можно добиваться любого необходимого разрешения, а также, при необходимости, различной формы пикселя;

- для работы LEP расходуют электрический ток слабого напряжения (менее 3 вольт), да и вообще они отличаются низкой электроемкостью из-за того, что пластик сам излучает свет, не нужна подсветка и прочие хитрости, необходимые для получения цветного изображения на LCD-мониторе

- LEP-дисплей имеет малый вес, поэтому его можно использовать в портативных устройствах, питающихся от батарей;

- светоизлучающие пластики не подвержены инверсионным эффектам, что позволяет менять картинку на таком дисплее с очень высокой частотой. LEP-дисплей обладает временем переключения менее 1 микросекунды, поэтому его можно использовать для воспроизведения видеоинформации;

- слой пластика очень тонок, поэтому можно использовать специальные поляризующие покрытия для достижения высокой контрастности изображения даже при сильной внешней засветке.

Однако любая медаль всегда имеет две стороны, и настала пора добавить в наш медовый бочонок большую ложку дегтя. При всех своих достоинствах LEP-мониторы обладают одним большим недостатком – крайне низким сроком службы. Правда, в последнее время в зарубежной прессе проскакивала информация об увеличении срока их службы до 7000 часов, однако перспектива выбрасывать старый и покупать новый монитор через каждые пять лет работы все равно мало кого прельщает.

Еще одна проблема LEP-мониторов является обесцвечивание пластика под действием ультрафиолетовых лучей.

### Технология \*VA

Когда стало понятно, что из TN-матриц уже больше «выжать» нельзя, а стоимость IPS-матриц в ближайшее время не упадет, компания Fujitsu нашла выход из ситуации, предложив ещё одну новую технологию производства ЖК-матриц. Этот новый тип матриц получил название **VA (Vertical alignment)**. Он должен был стать неким компромиссом между качеством IPS и стоимостью TN-технологий, но из-за некоторых недоработок выход на рынок ему практически сразу же был закрыт.

Как видно из названия (а его можно перевести как «вертикальное позиционирование»), в матрицах VA кристаллы располагались не параллельно поляризаторам, а вертикально – то есть перпендикулярно фильтрам. Таким образом, в базовом состоянии поляризованный свет свободно проходил через кристаллы и не выходил из матрицы, блокируясь вторым поляризатором, что в результате давало глубокий чёрный цвет (соответственно, и битые пиксели выглядят как чёрные точки).

При подаче напряжения на контакты кристаллы отклонялись от вертикальной оси, и часть света проходила через второй фильтр. Серьёзным недостатком первых матриц на этой технологии был тот факт, что малейшее изменение угла обзора по горизонтали приводило к совершенно неприемлемому искажению цвета.

Грубо говоря, представьте, что вы смотрите на слегка повёрнутый кристалл сверху. Смещаясь по горизонтали в одну сторону, вы будете наблюдать свет, который прошёл через весь кристалл и вышел через верхнюю часть. А смещаясь в другую – увидите свет, который вышел через боковую поверхность. Из-за этого эффекта получалось, что оттенок цвета зависел от того, с какой стороны вы смотрите на экран, а «правильный» цвет был виден только с одного-единственного положения. И с этим надо было что-то делать.

Решение было найдено через пару лет той же компанией. И заключалось оно в переходе на так называемую «многодоменную структуру» (Multi-Domain). Теперь в каждой ячейке кристаллы дублировались и при подаче напряжения отклонялись одновременно в две противоположные стороны, тем самым нейтрализуя вышеуказанный эффект. Кроме того, были несколько усложнены сами поляризационные фильтры. Эту технологию назвали **MVA (Multi-Domain Vertical Alignment)**, и уже с этим дополнением она заняла достойное место на рынке.

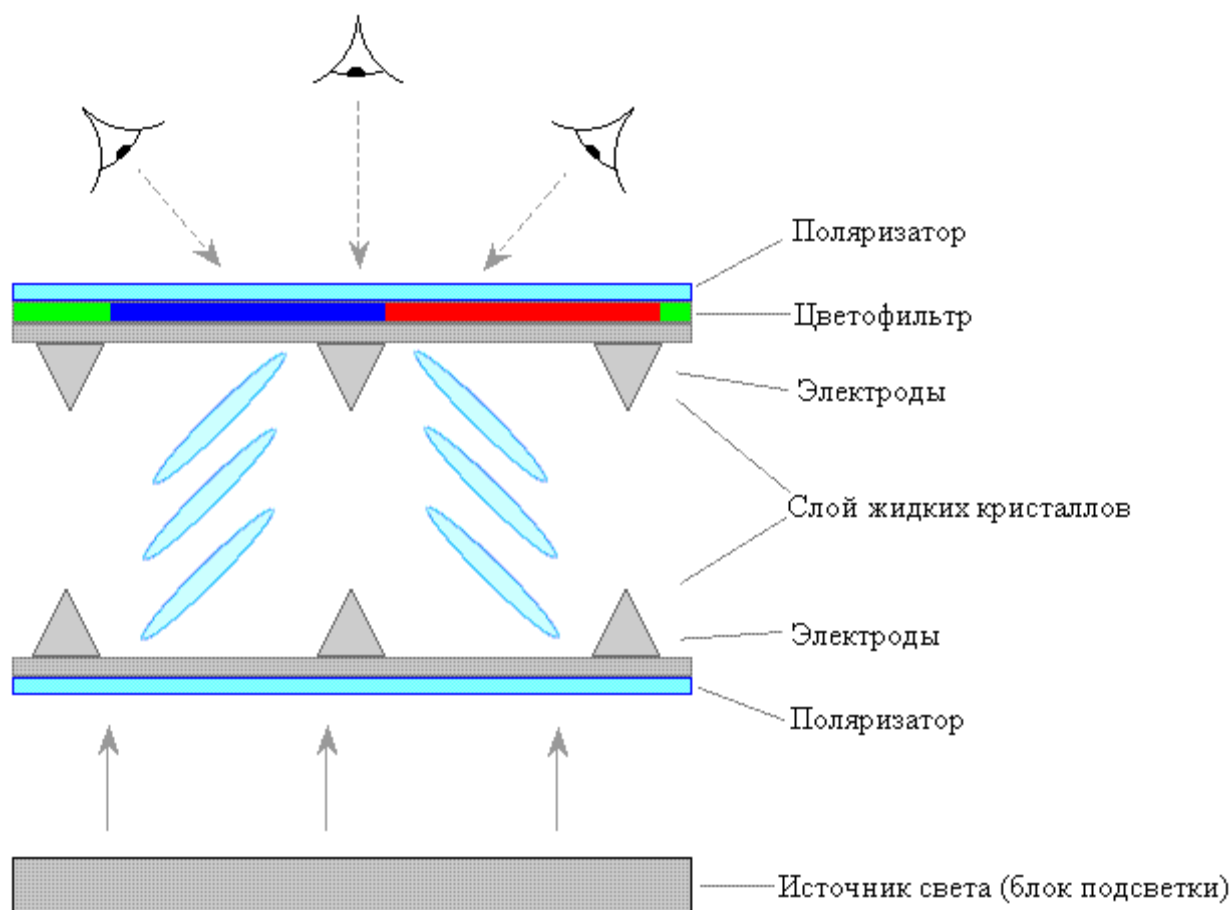


Рис. 9.6. Схематическое изображение ячейки в матрице \*VA

Правда, справедливости ради стоит отметить, что полностью избавиться от этого недостатка не получилось. Всё же при отклонении по горизонтали небольшой сдвиг цвета в матрицах MVA наблюдается, особенно в области теней. Однако он не настолько критичен, чтобы рассматривать его как серьёзный ми-



нус. К тому же в более поздних модернизациях этот эффект практически незаметен.

Тут следует упомянуть ещё один момент, потому что вы с ним обязательно столкнётесь. После появления на рынке MVA-технологии компания Samsung выпустила очень похожую матрицу с аббревиатурой **PVA (Patterned Vertical Alignment)**, которая характеризуется лучшей контрастностью и меньшей ценой. Вопреки расхожему мнению, что Samsung просто не хотел платить конкурентам за использование патента, многие эксперты утверждают, что эта технология достаточно самобытна, чтобы занять отдельное место. Как бы там ни было, сейчас данный факт записывается в виде MVA/PVA. Поэтому просто знайте, что MVA – это «чистая» технология, а PVA – детище Samsung.

Дальнейшее развитие данного направления оказалось не таким стремительным, как в случае IPS-матриц, но, тем не менее, заслуживает отдельного упоминания. Основную роль тут сыграла технология Overdrive. Вкратце её суть такова: если известно, что в следующем цикле потребуется активировать определённую часть матрицы (пусть даже и один пиксель), то в ту часть будет подано повышенное напряжение, заставляя кристаллы доворачиваться быстрее, что приведёт к более быстрой работе всей матрицы. Конечно, тут тоже есть свои проблемы, но всё же благодаря внедрению этой технологии мониторы на MVA/PVA-матрицах стало возможно использовать в динамических играх.

Эта новая MVA/PVA-матрица с технологией Overdrive со временем получила развитие в двух версиях: **Super PVA**, или **S-PVA**, с последующей модификацией до **cPVA** от Sony-Samsung и **Super MVA (S-MVA)** от компании СМО (сейчас являющейся одним из крупнейших тайваньских производителей ЖК-панелей и известной как СМО/Innolux). S-MVA сейчас доработана до **Advanced MVA (A-MVA)** компанией All Optronics. Матрицы cPVA обладают более широкими углами обзора, а в A-MVA помимо углов ещё значительно улучшена и контрастность.

Сейчас, анализируя все события последних пятнадцати лет, можно смело сказать, что «эксперимент удался». Технология MVA/PVA оправдала возложенные на неё надежды и уверенно заняла своё место на рынке ЖК-панелей.

Рассматривая матрицы MVA в контексте остальных двух типов, можно сказать, что данные матрицы являются золотой серединой между технологиями TN и IPS. Несмотря на то, что последние разработки позволили ещё больше уменьшить время реакции в матрицах MVA, TN-матрицы всё ещё более быстрые. Яркость и контрастность у MVA лучше, чем у двух остальных, но по цветопередаче они не дотягивают до уровня IPS и слегка искажают света при взгляде со стороны. Так что получился некий компромисс. В любом случае соотношение цены и качества у этих матриц наилучшее.

Ну и в конце ещё раз выделим основные плюсы и минусы данной технологии.

По большому счёту, минус тут только один – незначительное искажение цветопередачи при отклонении по горизонтали (преимущественно в «тених»). Насколько это критично – судить вам, тем более что в последних моделях этот

эффект практически устранен. Что касается цены, то она несколько выше стоимости TN-матриц (понятно, что за качество надо платить), но меньше, чем цена IPS-матрицы.

А вот достоинств тут гораздо больше: помимо уже упомянутого соотношения цены и качества мониторы на этой матрице обладают наилучшим контрастом, поэтому они являются идеальным выбором для людей, работающих с чертёжной графикой или текстом. С углами обзора и временем отклика матрицы здесь тоже всё в полном порядке.

### Технология QD-LED

Ранее мы отмечали, что LCD-телевизор (ЖК) состоит из трех основных частей: белая подсветка, цветовые фильтры (разделяющие свечение на красный, синий и зеленый цвета) и жидкокристаллическая матрица. Последняя выглядит как сетка из крошечных окон – пикселей, которые, в свою очередь, состоят из трех субпикселей (ячеек). Жидкие кристаллы, подобно жалюзи, могут перекрыть световой поток или наоборот открыться полностью или частично.

Когда белый свет, излучаемый светодиодами (сегодня уже сложно найти телевизор с люминесцентными лампами, как это было всего лишь несколько лет назад), проходит, например, через пиксель, у которого закрыты зеленая и красная ячейки, то мы видим синий цвет. Степень «участия» каждого RGB-пикселя меняется, и таким образом получается цветная картинка.

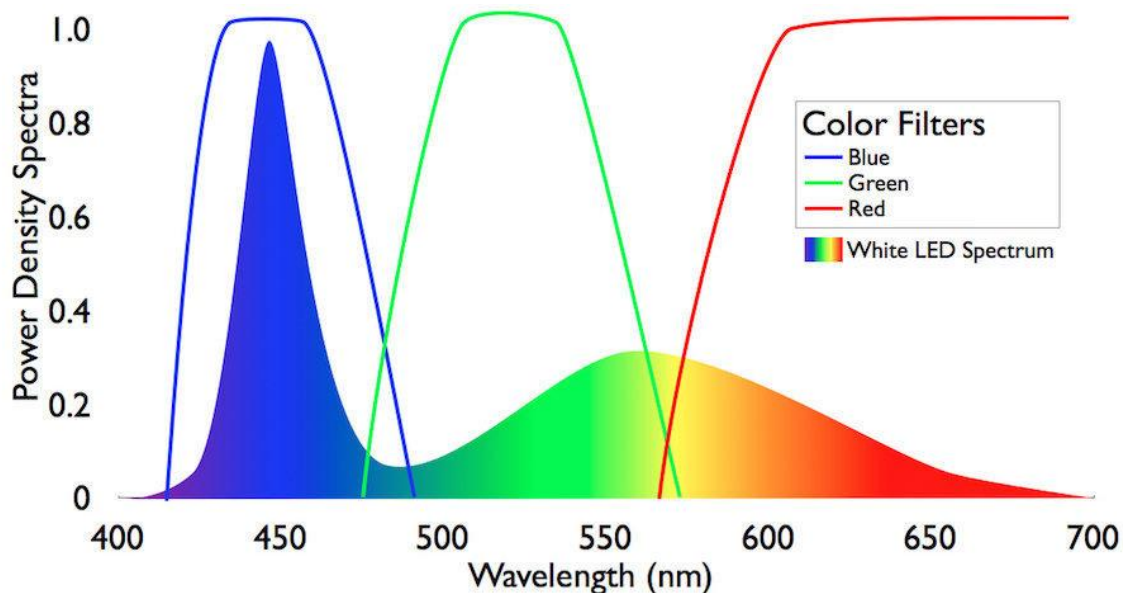


Рис. 9.7. Спектр традиционной LED-подсветки

Как вы понимаете, для обеспечения цветового качества изображения требуются как минимум две вещи: точные цвета светофильтров и правильная белая подсветка, желательно с широким спектром. Как раз с последним у светодиодов есть проблема.

Во-первых, они фактически не белые, а синие, вдобавок, у них очень узкий цветовой спектр. То есть спектр шириной белого цвета достигается дополнительными покрытиями – есть несколько технологий, чаще других используются так называемые люминофорные диоды с добавкой желтого. Но и этот «квазибелый» цвет все же недотягивает до идеала. Если пропустить его через призму (как на уроке физики в школе), он не разложится на все цвета радуги одинаковой интенсивности, как это происходит с солнечным светом. Красный, например, будет казаться гораздо тусклее зеленого и синего.

Инженеры, понятное дело, пытаются исправить ситуацию и придумывают обходные решения. Например, можно понизить уровень зеленого и синего в настройках телевизора, однако это повлияет на суммарную яркость – картинка станет бледнее. Так что все производители искали источник белого света, при распадении которого получится равномерный спектр с цветами одинаковой насыщенности. Тут как раз на помощь и приходят так называемые квантовые точки.

Квантовые точки – это микроскопические кристаллы, которые люминесцируют, когда на них попадает свет. Светиться они могут множеством различных цветов, все зависит от размера точки. А учитывая, что сейчас ученые научились практически идеально контролировать их размеры путем изменения количества атомов из которых они состоят, можно получать свечение именно того цвета, которого нужно. Также квантовые точки очень стабильны – они не меняются, а это значит, что точка, созданная для люминесценции с определенным оттенком красного, будет практически вечно сохранять этот оттенок.

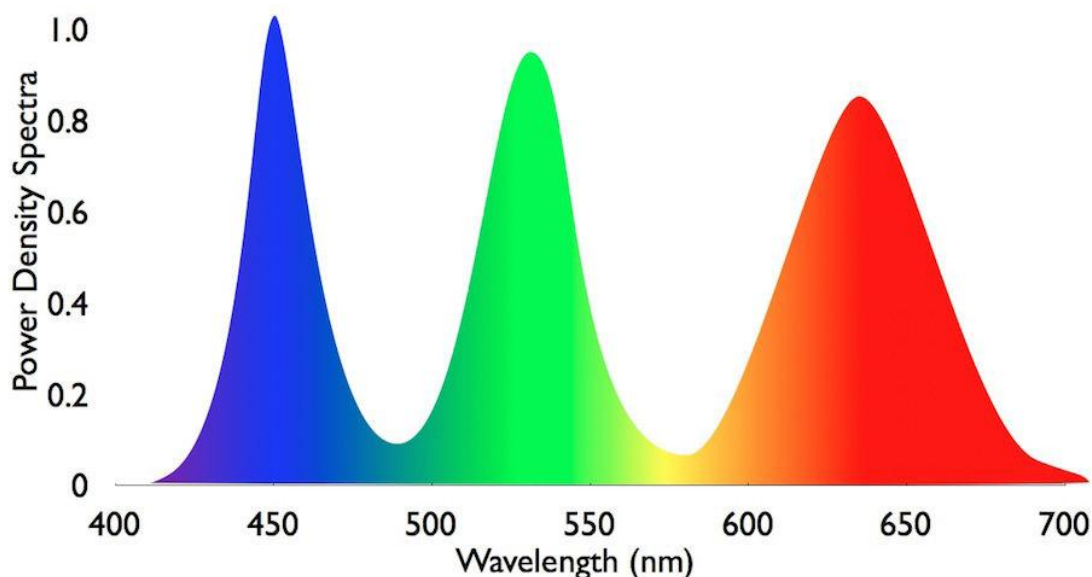


Рис. 9.8. Спектр LED-подсветки с использованием QD-пленки

Разработчики придумали использовать технологию следующим образом: на тонкую пленку наносится «квантовоточечное» покрытие, созданное для свечения с определенным оттенком красного и зеленого. А светодиод – обычный синий. И тут кто-то сразу догадается: «все понятно – есть источник синего, а точки дадут зеленый и красный, значит мы получим ту самую модель RGB!». Но нет, технология работает иначе.

Нужно помнить, что «квантовые точки» находятся на одном большом листе, и они не разбиты на субпиксели, а просто перемешаны между собой. Когда синий диод светит на пленку, точки излучают красный и зеленый, как уже говорилось выше, и только, когда все эти три цвета смешиваются после светофильтров – тут-то и получается идеальный источник белого света. Поэтому главным достоинством данной технологии является расширенный почти в два раза цветовой охват (рис. 9.9).

Кроме расширения цветового охвата, технология обеспечивает следующие преимущества:

- затраты энергии на 30...50% меньше чем у LCD-дисплеев, поскольку пиксели QD-LED не требуют дополнительной подсветки;
- яркость QD-LED дисплеев может достигать  $40000 \text{ кд/м}^2$ , что в 50...100 раз превышает яркость LCD-дисплеев;
- квантовые точки растворимы как в водном, так и в неводном растворителях, и потому могут применяться в гибких панелях;
- срок жизни QD-LED дисплеев существенно выше, чем у OLED, синие пиксели которых подвержены скорому выгоранию;
- маленький размер квантовых точек позволяет производить дисплеи с очень высоким разрешением.

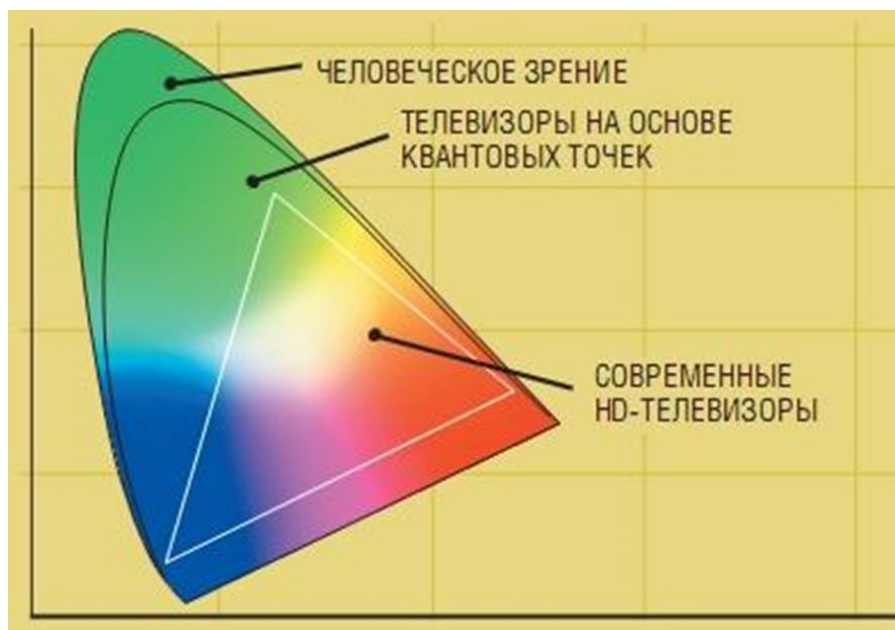


Рис. 9.9. Цветовые охваты при разных технологиях

В настоящее время квантовые точки используются лишь в сочетании с другими технологиями подсветки, однако в перспективе вполне возможна разработка методов, позволяющих использовать их в качестве отдельной технологии. В любом случае, есть все основания полагать, что в ближайшем будущем лучшее в мире качество воспроизведения видео- и фотоконтента в режиме высоких разрешений будут связывать с использованием технологии квантовых точек.

## SED-технология

У наиболее популярных типов плоских панельных дисплеев, несмотря на их все более широкое распространение, имеется по сравнению с традиционными кинескопами (ЭЛТ) целый ряд принципиальных недостатков. Среди них, например, малый угол обзора и относительно низкое быстродействие у ЖК-панелей и высокое потребление у плазменных панелей. Идея использовать в ЭЛТ вместо трех катодов (по одному для каждого цвета) индивидуальный катод для каждого элемента пикселя была высказана давно. При этом такую панель можно сделать достаточно тонкой, и исчезает необходимость в развертке, самой энергопотребляющей части кинескопа. Реализовать идею с использованием эффекта полевой эмиссии (отсюда и первое название таких панелей – FED-дисплей) пытались многие фирмы.

В них, как и в ЭЛТ, для получения изображения используется эффект излучения света люминофором при его бомбардировке электронами. Конструкция благодаря используемому принципу позволяет теоретически уменьшить толщину панели до 10 мм. Второе преимущество такого дисплея по сравнению с ЭЛТ уже упоминалось – отсутствие системы развертки. По сравнению с ЖК-панелями FED-дисплеи не требуют лампы подсветки, имеют широкий угол обзора, малое время отклика (высокое быстродействие) и отличную цветопередачу. Однако технологические трудности заставили практически всех прекратить исследования, так и не доведя их до стадии массового производства. Основной проблемой стали конические штыревые эмиттеры электронов, производство которых оказалось очень дорогим применительно к дисплеям большой площади. А именно для этого сегмента FED-дисплеи и предназначались.

Компания Canon с 1986 года вела собственные разработки подобного дисплея, в котором для получения потока электронов использовался эффект эмиссии на основе поверхностной проводимости. Английское сокращение и дало название новому дисплею – SED (Surface-conduction Emission Display). С 1999 года к разработкам по созданию действующих образцов, пригодных для промышленного производства, подключилась компания Toshiba.

Источником электронов в SED-панели Canon служат плоские микроскопические точки окиси палладия, нанесенные на электродную матрицу на задней стеклянной стенке. Дисплей образуют две стеклянные панели, из пространства между которыми откачан воздух. На переднее стекло нанесены точки люминофора трех основных цветов (как в традиционном кинескопе) с разделителями, а на заднюю – структура проводников катода с точками окиси палладия. В SED-панели для испускания электронов не требуется нагрев, как это необходимо для катода кинескопа. Напряжение прилагается к половинкам индивидуального эмиттера электронов каждой ячейки, и благодаря туннельному эффекту происходит эмиссия электронов. Напряжение ускорения, обеспечивающее попадание электронов на люминофор, прикладывается между проводниками катода и металлизированной подложкой слоя люминофора.

Здесь стоит вспомнить, что Canon специализируется на печатных устройствах и в этой области у нее много патентов. Так вот, SED-дисплеи производятся не с помощью сложных процессов, типа фотолитографии, а через трафаретную и струйную печать. На стеклянные подложки наносится схема разводки и катоды-эмиттеры, лишь затем между стеклами вводится люминофор. Еще одно технологическое преимущество перехода на тонкопленочную технологию связано с тем, что при производстве дисплеев не требуется вакуумирование или работа в среде инертных газов.

Поскольку SED-дисплей является самосветящимся устройством, его энергопотребление очень невелико. Преобразование электрической энергии в свет происходит в нем с эффективностью 5 люменов на ватт. При таком КПД SED-дисплей с большой диагональю потребляет не более половины энергии, необходимой кинескопному телевизору с экраном такого же размера, и только треть от того, что требуется плазменной панели. Так, SED-телевизор с экраном 42" потребляет меньше электроэнергии, чем кинескопный телевизор с экраном 32".

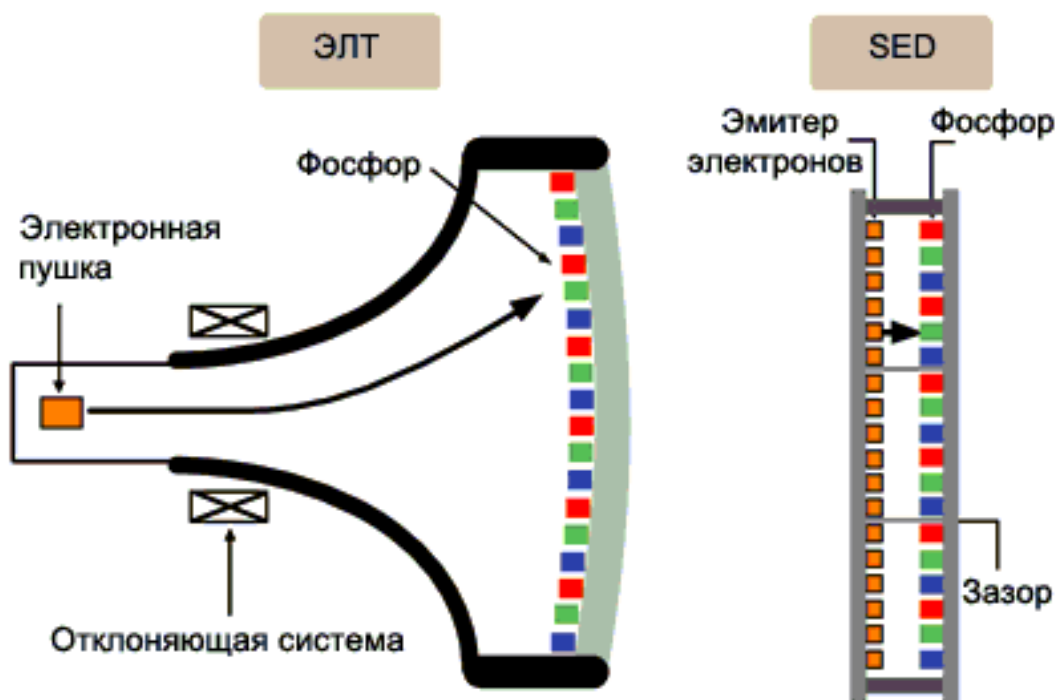


Рис. 9.10. Сравнение технологий ЭЛТ и SED

Окажутся ли SED-дисплеи победителями на рынке больших плоскопанельных телевизоров, покажет будущее.

#### 9.1.4. Гибкие дисплеи

Появление гибких дисплеев, пригодных для использования в массовых продуктах, приведет, без всякого преувеличения, к настоящей революции в области дизайна бытовых электронных устройств и портативных компьютеров.

Современные технологии позволяют уместить портативный ПК в корпус размером со спичечный коробок, однако серьезной помехой на пути дальнейшей миниатюризации является дисплей. Если говорить о портативных электронных устройствах, то именно габариты дисплейной панели во многих случаях ограничивают пределы миниатюризации. При этом само по себе уменьшение физических размеров дисплея далеко не всегда позитивно, поскольку может отрицательно сказаться на функциональности устройства. Таким образом, наиболее очевидный вариант решения данной проблемы – использование дисплеев, способных изменять свою форму (изгибаться, скручиваться) без ущерба для работоспособности.

Дополнительное преимущество гибких дисплеев – более высокая стойкость к различным механическим воздействиям. Если при сильном давлении на стеклянную подложку обычный ЖК-дисплей просто разрушится, то гибкая подложка способна деформироваться и, таким образом, сохранить целостность дисплейной панели.

Однако это еще не все. Появление гибких дисплеев позволит создать совершенно новые типы портативных устройств, например, легко скручивающуюся в рулон электронную газету с ежедневно обновляющимся содержанием или мобильный телефон с выдвигающимся на манер киноэкрана дисплеем большого размера.

Широкие просторы для творчества открывает реализация возможности встраивания гибких дисплеев в одежду. Так, компания France Telecom продемонстрировала прототип гибкого цветного дисплея, который был помещен на обычную футболку. Посредством беспроводного интерфейса Bluetooth этот дисплей был подключен к мобильному телефону, что позволило использовать его для отображения рисунков и анимации, пересылаемых другими абонентами.

Впрочем, фантазировать на эту тему можно бесконечно долго, однако подобные проекты останутся не более чем мечтами до тех пор, пока не появится достаточно надежная и доступная для использования в массовых устройствах технология производства гибких дисплеев. Так что самое время спуститься с небес на землю и рассмотреть реальные достижения исследователей, занятых в области создания технологий для производства гибких дисплеев.

Несмотря на то, что работы по созданию гибких дисплеев ведутся уже довольно давно, пока что даже само понятие «гибкий дисплей» является весьма расплывчатым. К данной категории относят несколько подвидов дисплеев, различающихся по степени гибкости – в частности допускающих незначительную деформацию и способных скручиваться в компактный рулон. В качестве отправной точки разработчики гибких дисплеев выбирают как уже хорошо известные, так и относительно новые дисплейные технологии. В настоящее время созданы экспериментальные прототипы гибких дисплеев на базе нескольких различных технологий, в том числе ЖК, OLED, электронных чернил и пр. В большинстве существующих образцов используется пластиковая подложка, од-

нако разработчики не исключают возможности применения и других материалов, например металлической фольги и даже ткани.

Впрочем, необходимо отметить, что практическая реализация подобных проектов не столь проста, как это может показаться на первый взгляд. Чтобы наладить массовое производство таких дисплеев, потребуются коренная модернизация существующих производственных линий. Дело в том, что хорошо отлаженные технологические процессы, используемые в настоящее время для производства дисплейных панелей на стеклянной подложке, оказываются неприменимы в случае использования подложек из гибких материалов. Распространенный ныне технологический процесс нанесения тонкопленочных транзисторов (TFT) из аморфного кремния требует нагрева подложки до температуры 300 °С. Совершенно очевидно, что при такой температуре пластиковая подложка просто расплавится.

Одним из способов решения данной проблемы является поиск новых материалов, которые позволяли бы создавать полупроводниковые структуры при низкой температуре. Поиски в этом направлении привели к идее создания полупроводниковых структур из органических материалов. В настоящее время исследования в области создания тонкопленочных транзисторов из органических материалов (Organic Thin-Film Transistor, OTFT) активно проводят ученые из лаборатории Bell Labs, сотрудники Polymer Vision (одного из дочерних предприятий Philips), а также пользующаяся правительственной поддержкой и базирующаяся на Тайване организация Electronics Research Services Organization (ERSO).

Уже в 2004 году ERSO продемонстрировала прототип гибкого дисплея, созданного с использованием OTFT. Как заявил один из руководителей ERSO Чен-Чан Ли, «в будущем мы сможем создавать управляющие электронные схемы непосредственно на гибкой подложке». По словам г-на Ли, у компании имеются планы по интегрированию управляющих цепей, модулей памяти и даже беспроводного адаптера непосредственно на подложку дисплея.

Преимущество органических тонкопленочных транзисторов заключается в том, что их можно формировать при низкой температуре методом вакуумного напыления, либо наносить в жидком виде методом центрифугирования. Технология вакуумного напыления позволяет изготавливать более эффективные тонкопленочные транзисторы, в то время как главное достоинство центрифугирования – более низкие производственные затраты. Фактически же тонкопленочные транзисторы из растворимых органических материалов можно просто печатать непосредственно на подложке, используя проверенные временем технологии – шелкографию, тиснение и пр.

В настоящее время компании e-Ink и Plastic Logic ведут совместные работы по созданию гибких отражающих дисплеев высокого разрешения с использованием технологии промышленной струйной печати. Активные работы по созданию дисплеев методом струйной печати ведет японская компания Seiko Epson.



Если говорить о показателях гибкости, то на данный момент самые выдающиеся достижения демонстрируют прототипы гибких дисплеев, созданные по технологии электронных чернил. Более десяти лет назад был продемонстрирован прототип монохромного отражающего дисплея, созданный совместно специалистами компаний Polymer Vision и e-ink. Этот дисплей имел разрешение 320x240 пикселей при размере активной области экрана 5 дюймов по диагонали. Для создания прототипа была использована подложка из прозрачной полиамидной пленки толщиной 25 мкм, на которую был нанесен слой микрокапсул электронных чернил толщиной 200 мкм. Благодаря столь малой толщине дисплей можно свернуть в рулон диаметром всего 2 см без ущерба для работоспособности.

На данном этапе технология электронных чернил позволяет создавать лишь монохромные дисплеи. Что касается цветных устройств, то работы по их созданию сейчас находятся в начальной стадии. Один из предлагаемых методов для создания цветных дисплеев заключается в использовании светофильтров (как это сделано в современных ЖК-дисплеях). Другой вариант – использование микрокапсул с пигментными частицами, окрашенными в различные цвета.

## 9.2. 3D-мониторы

Возможность работы с трехмерными объектами при помощи компьютера давно уже ни у кого не вызывает удивления. Технологии визуализации трехмерных виртуальных объектов и пространств широко используются в конструкторских и архитектурных приложениях и, конечно же, во многих современных играх. К этому все уже привыкли и воспринимают как должное.

Однако, работая с традиционным компьютерным монитором, мы можем наблюдать лишь проекцию трехмерной сцены на плоскость экрана. Для того чтобы достичь иллюзии реального трехмерного изображения, были разработаны специальные технологии, на основе которых созданы многочисленные прототипы 3D-мониторов и проекционных систем. Однако в большинстве своем подобные системы обладают такими серьезными недостатками, как необходимость применения вспомогательных средств (специальных очков), весьма ограниченная зона стереоскопического эффекта, необходимость настройки системы под каждого конкретного пользователя и т.п. Кроме того, в большинстве случаев такие системы оказываются весьма дорогостоящими, что значительно сужает сферу их применения до ограниченного набора специфических профессиональных задач, таких как работа с системами САПР и т.п.

Создание доступной для массовых пользователей системы визуализации, которая обеспечивала бы визуализацию трехмерных сцен сразу для нескольких зрителей и при этом не требовала бы применения вспомогательных средств, оказалось весьма сложной задачей. Найти ее решение удалось инженерам Philips Research, которые использовали новейшие достижения в области производства ЖК-панелей, оптических систем, а также программных и аппаратных средств для обработки изображений. Разработка получилась действительно

уникальной: созданный инженерами прототип дисплея позволяет воспроизводить трехмерные изображения и видеоролики для нескольких зрителей одновременно, и при этом нет необходимости ни в использовании вспомогательных средств (очков и пр.), ни в индивидуальной настройке. Помимо этого, созданная технология отличается универсальностью: ее можно с успехом использовать и в малогабаритных мобильных устройствах, и в настольных мониторах с диагональю экрана от 12 до 21 дюйма, и даже в проекционных телевизорах.

Рассмотрим устройство и принцип действия такого 3D-монитора. В качестве основы используется ЖК-матрица высокого разрешения, ничем не отличающаяся от применяемых в обычных ЖК-мониторах. С внешней стороны ЖК-панели прикрепляется лист с миниатюрными цилиндрическими линзами – так, чтобы плоскость, в которой формируется изображение пикселей ЖК-панели, оказалась в фокальной плоскости линз.

Таким образом, в поле зрения наблюдателя, взгляд которого направлен перпендикулярно линзам, попадает часть ЖК-панели, находящаяся под центральной частью линз. Если же наблюдатель смотрит на экран под некоторым углом, то он будет видеть уже другие области, смещенные относительно центральной части линз (рис. 9.11).

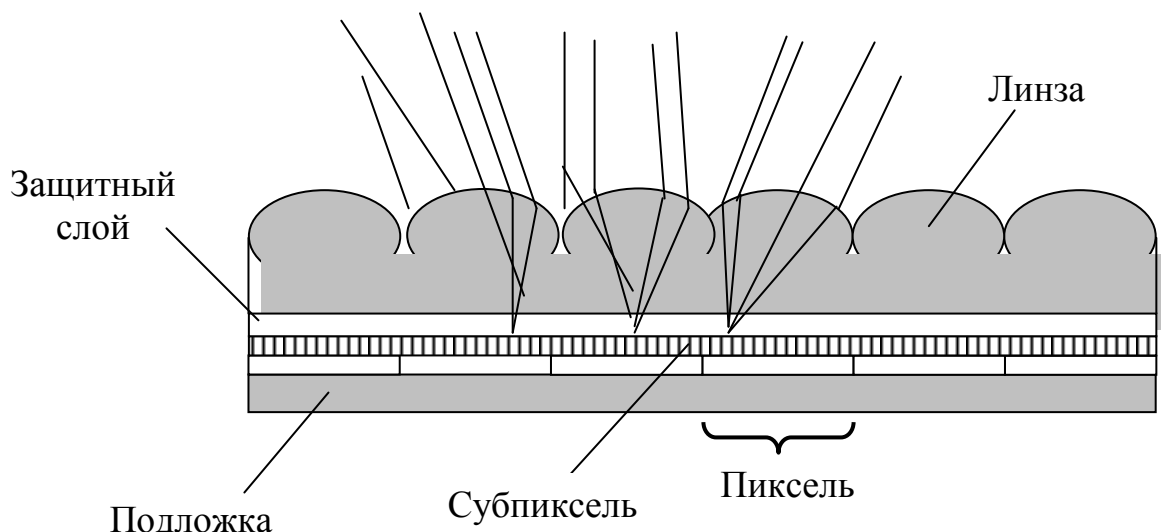


Рис. 9.11. Схематическое устройство монохромного 3D-дисплея

Если на участке ЖК-панели, находящемся под одной линзой, разместить несколько субпикселей, то, рассматривая экран под различными углами, наблюдатель будет видеть различные группы субпикселей, каждая из которых образует отдельное изображение. Формируя из видимых под различными углами групп субпикселей разные изображения (например, стереопару), можно добиться иллюзии трехмерного изображения, аналогичной той, что возникает при просмотре стереослайдов.

Каждая из линз работает как миниатюрная проекционная система, размещающая изображение отдельного пикселя, находящегося непосредственно за ней, в пространстве перед пользователем. Поскольку глаза наблюдателя расположены на некотором расстоянии друг от друга, то один глаз будет восприни-

мать изображение, сформированное из одной группы субпикселей, а другой – изображение из второй группы. Более того, это свойство позволяет наблюдать стереоскопическое изображение на одном дисплее сразу несколькими пользователями.

Правда, здесь существует и определенная проблема: промежутки между отдельными пикселями ЖК-панели, увеличенные линзами, образуют хорошо заметные «прорехи» в формируемом изображении, разрушая его цельность. Для того чтобы избежать этого нежелательного эффекта, смежные линзы располагают таким образом, чтобы пиксели ЖК-панели находились между ними – иначе говоря, поверхность каждого пикселя перекрывается двумя соседними линзами.

Для обеспечения цельности изображений, формируемых отдельными группами субпикселей, линзы 3D-дисплея расположены под небольшим углом к вертикальной оси ЖК-матрицы. На рис. 9.12 показано схематичное расположение линз на дисплее, обеспечивающее проецирование семи различных изображений, видимых под разными углами.

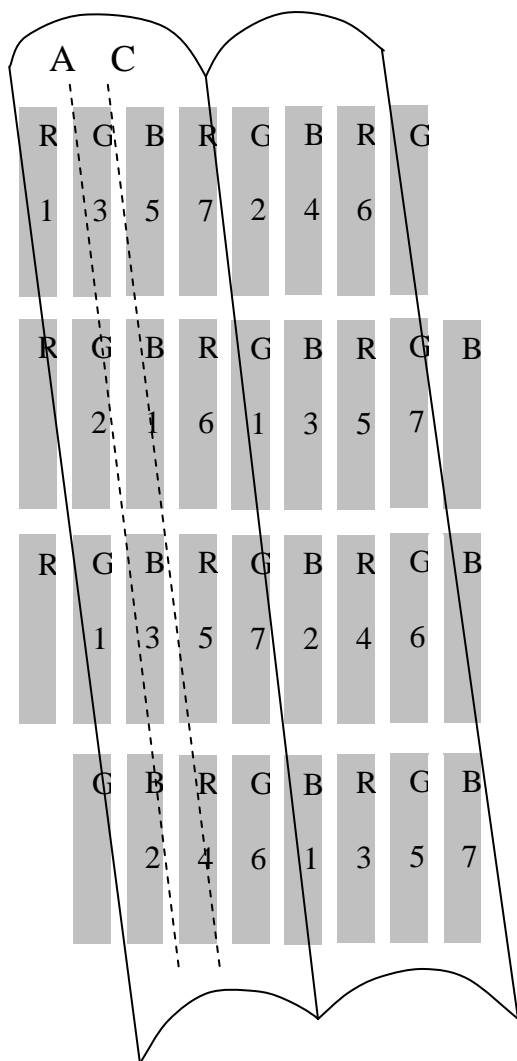


Рис. 9.12. Схема дисплея, позволяющего отображать семь различных ракурсов (цифры на субпикселях соответствуют номеру ракурса)

Пунктирные линии показывают субпиксели, образующие различные изображения (ракурсы). На иллюстрации линия А соответствует ракурсу 3, а линия С – ракурсу 4. Здесь хорошо видно, что субпиксели, образующие изображение ракурса 3, находятся на чередующихся строках матрицы. Благодаря использованию такой схемы, при изменении угла обзора с позиции, соответствующей ракурсу 3, в позицию, соответствующую ракурсу 4, происходит плавное изменение видимого изображения: одно постепенно исчезает, в то время как другое плавно проявляется.

Первый работоспособный прототип 3D-дисплея, действующий по вышеописанному принципу, был создан на базе ЖК-панели без светофильтров, что позволило получить монохромное изображение с утроенным горизонтальным разрешением. Такой дисплей обеспечивал возможность наблюдать монохромную трехмерную сцену в четырех ракурсах.

Следующим шагом стало создание цветного устройства на базе 11,3-дюймовой ЖК-матрицы с разрешением SVGA, которое было оснащено наклонными линзами и позволяло отображать семь различных ракурсов трехмерной сцены.

В заключение следует упомянуть еще об одном важном преимуществе рассматриваемой технологии – о ее доступности. Для создания описанных выше 3D-дисплеев не требуется дорогостоящих механических и оптических компонентов, благодаря чему цена такого устройства дисплея будет определяться главным образом стоимостью используемой ЖК-панели.

### 9.3. Сенсорные экраны (тачскрины)

Экраны современных устройств могут не только выводить изображение, но и позволяют взаимодействовать с устройством посредством сенсоров. Изначально сенсорные экраны применялись в некоторых карманных компьютерах, а на сегодняшний день сенсорные экраны находят широкое применение в мобильных устройствах, плеерах, фото и видеокамерах, инфокиосках и т.д. При этом в каждом из перечисленных устройств может применяться тот или иной тип сенсорного экрана.

Своим появлением сенсорные экраны обязаны доктору Сэмюэлу Херсту из Университета штата Кентукки. В 1971 году он изобрел «Элогограф» (Elograph) – сенсорную панель, которая хоть и не была похожа на современные прозрачные экраны, но стала первой важной вехой в истории развития всей технологии. Настоящий сенсорный экран доктор Херст представил миру уже через три года, и его разработка тотчас вошла в список ста важнейших продуктов 1974 года. А еще через три года, в 1977-м, компания Elographics запатентовала резистивный экран, являющийся одним из самых популярных на сегодняшний день. В феврале 1994 года фирма Elographics сменила название на Elo Touch, под которым известна и по сей день.

Первым компьютером с сенсорным экраном принято считать HP-150. Он появился в 1983 году и использовал рамку с сеткой инфракрасных лучей, надеваю на девятидюймовый монитор. Эта технология, хоть и не является «настоящему» сенсорной, активно используется до сих пор. Главным образом благодаря неприхотливости и ремонтпригодности.

Экран с поддержкой мультитача появился в 1984 году. Это была емкостная прозрачная панель, наложенная поверх ЭЛТ-монитора. В ее создании принимал участие Боб Бойе (Bob Voie) из Bell Labs, хотя саму технологию изобрел Билл Бакстон (Bill Buxton) из Университета Торонто. В одном из интервью Билл отмечал, что «причина, по которой мы сами не сделали сенсорный экран, была не в том, что мы не хотели, мы просто не знали, как сделать его достаточно дешевым». В этом деле и помогла Bell Labs.

Сегодняшние сенсорные экраны подразделяются на несколько типов в зависимости от физического принципа действия: резистивные, емкостные, проекционно-ёмкостные, матричные, экраны на основе поверхностно-акустических

волн, оптические, тензометрические, экраны на основе инфракрасных лучей, индукционные экраны и экраны DST.

### 9.3.1. Резистивные сенсорные экраны

Данный экран состоит из стеклянной панели и гибкой пластиковой мембраны, на которые нанесено резистивное покрытие. Пространство между стеклом и мембраной заполнено микроизоляторами, которые в свою очередь надежно изолируют проводящие поверхности, равномерно распределившись по активной области экрана. При нажатии на дисплей панель и мембрана замыкаются, а контроллер с помощью аналогово-цифрового преобразователя регистрирует изменение сопротивления, преобразовывая его в координаты касания.

На такой экран можно нажимать любым твердым предметом, это может быть, как ноготь, так и специальный стилус, и даже обычный карандаш. Как следствие такого строения, резистивные экраны постепенно изнашиваются, из-за чего и возникает необходимость в периодической калибровке экрана, чтобы при нажатии на дисплей происходила правильная обработка координат точки касания.

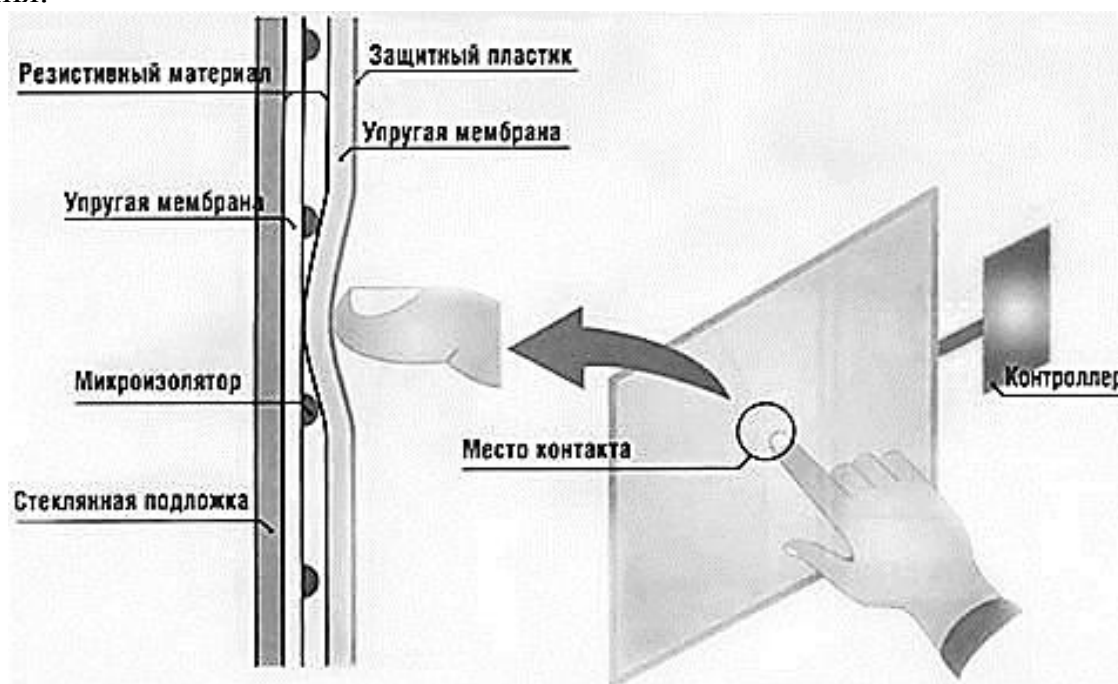


Рис. 9.13. Устройство резистивного экрана

Бывают четырех-, пяти-, шести-, семи-, и восьмипроводные экраны. Самыми простыми в изготовлении, следовательно, и самыми дешевыми, являются четырехэлектродные. Они выдерживают всего 3 миллиона нажатий в одну точку. Пятипроводные уже будут значительно надежнее – до 35 миллионов нажатий, в них четыре электрода расположены на панели, а пятый находится на мембране, которая покрыта токопроводящим составом. Стоит отметить, что пя-

типроводные и последующие версии продолжают работать даже при повреждении части мембраны.

К достоинствам резистивного экрана можно отнести невысокую стоимость его производства, а следовательно, и устройства, в котором он используется. Кроме этого, стоит отметить, что отзыв сенсора здесь не зависит от состояния поверхности экрана, даже в случае загрязнения, тачскрин остается таким же чувствительным. Следует также выделить точность попадания в нужную точку, т.к. используется густая решетка резистивных элементов.

В качестве недостатков резистивных экранов выделим низкое (не более 85%) светопропускание, поэтому требуется повышенная яркость подсветки. Также это низкая чувствительность, то есть просто прикоснуться пальцем недостаточно, требуется надавливание, так что без цифрового пера или длинных ногтей не обойтись. Данный тип в большинстве случаев не поддерживает мультинажатие (мультитач), то есть экран понимает лишь одно касание. При взаимодействии с экраном нужно прилагать определенные усилия, чтобы передать какую-либо команду, а переусердствовав можно не только поцарапать, но и повредить дисплей. Для правильного функционирования периодически необходимо производить калибровку экрана.

### 9.3.2. Матричные сенсорные экраны

Конструкция аналогична резистивной, но упрощена до предела. На стекло нанесены горизонтальные проводники, на мембрану – вертикальные.

При прикосновении к экрану проводники соприкасаются. Контроллер определяет, какие проводники замкнулись, и передает в микропроцессор соответствующие координаты.

Данные экраны имеют очень низкую точность, поэтому постепенно заменяются резистивными.

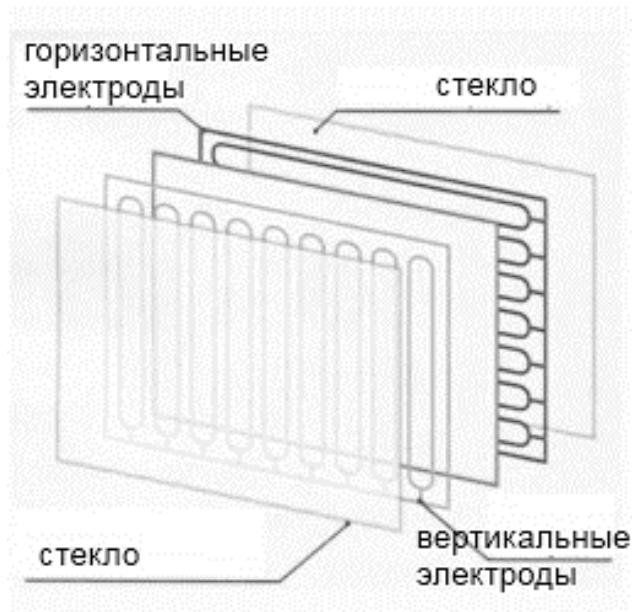


Рис. 9.14. Принцип работы матричного экрана

### 9.3.3. Емкостные сенсорные экраны

Емкостные сенсорные экраны делятся на два типа: поверхностно-емкостные и проекционно-емкостные. **Поверхностно-емкостные** сенсорные экраны представляют собой стекло, на поверхность которого нанесено тонкое прозрачное проводящее покрытие, поверх которого нанесен защитный слой. По краям стекла расположены печатные электроды, которые подают на проводящее покрытие низковольтное переменное напряжение.

При касании экрана образуется импульс тока в точке контакта, величина которого пропорциональна расстоянию из каждого угла экрана до точки касания, таким образом, вычислить координаты места касания контроллеру достаточно просто, сравнить эти токи. Из достоинств поверхностно-емкостных экранов можно отметить: хорошее светопропускание, малое время отклика и большой ресурс касаний. Из недостатков: размещенные по бокам электроды плохо подходят для мобильных устройств, требовательны к внешней температуре, не поддерживают мультитач и касаться их можно пальцами или специальным стилусом. Кроме того, они не могут определять силу нажатия.

Поверхностно-емкостные сенсорные экраны применяются в некоторых банкоматах.

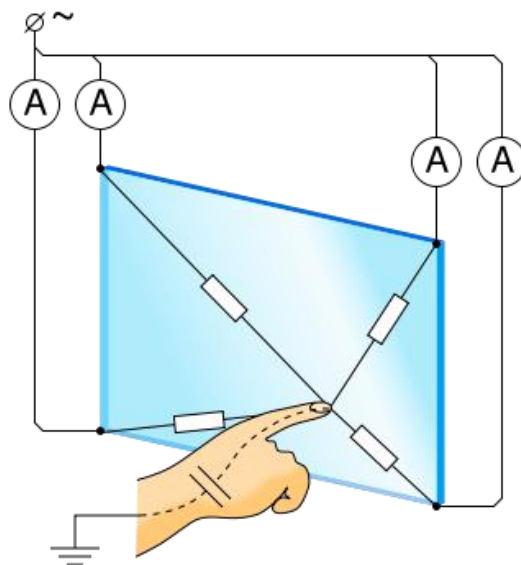


Рис. 9.15. Принцип действия ёмкостного сенсорного экрана

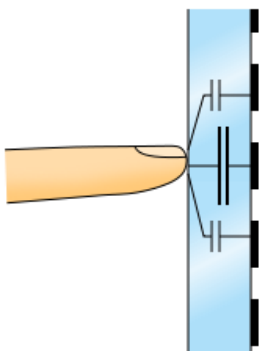


Рис. 9.16. Принцип действия проекционно-ёмкостного сенсорного экрана

**Проекционно-емкостные сенсорные экраны** представляют собой стекло с нанесенными на него горизонтальными ведущими линиями проводящего материала и вертикальными определяющими линиями проводящего материала, разделенные слоем диэлектрика.

Работает такой экран следующим образом: на каждый из электродов в проводящем материале микроконтроллером последовательно подается напряжение и измеряется амплитуда возникающего в результате импульса тока. По мере приближения пальца к экрану емкость электродов, находящихся под пальцем изменяется и, таким образом, контроллер определяет место касания, то есть координаты касания, это пересекающиеся электроды с возросшей емкостью.

Достоинством проекционно-емкостных сенсорных экранов является быстрая скорость отклика на касание, поддержка мультитач, более точное определение координат по сравнению с резистивными экранами и определение силы нажатия. Поэтому эти экраны в большей степени используются в таких устройствах, как iPhone и iPad, в платежных терминалах, банкоматах и электронных киосках. Также стоит отметить большую надежность этих экранов, и, как следствие, больший срок работы. Из недостатков можно отметить, что на таких экранах касаться можно только пальцами (рисовать же или писать от руки пальцами очень неудобно) или специальным стилусом.

#### 9.3.4. Технологии на базе свойств акустических волн

Пока что ни одна из технологий, использующих для реализации функции сенсорного ввода свойства акустических волн, не получила широкого распространения. Тем не менее, подобные решения интересны не только оригинальным принципом работы, но и рядом важных достоинств.

**Технология поверхностно-акустических волн.** Как следует из названия, эта технология базируется на особенностях распространения поверхностно-акустических волн (ПАВ). Сенсорная панель на базе ПАВ представляет собой стеклянную пластину, которая монтируется перед экраном дисплея с небольшим зазором. В углах пластины установлены пьезоэлектрические преобразователи и принимающие датчики, по краям – отражатели (рис. 9.17). В процессе работы контроллер подает высокочастотный электрический сигнал на пьезоэлектрические преобразователи, которые, в свою очередь, возбуждают в стеклянной пластине поверхностно-акустические волны ультразвукового диапазона (частотой порядка нескольких мегагерц). Эти волны равномерно распределяются отражателями по толще пластины и затем улавливаются принимающими датчиками, которые преобразуют их в электрический сигнал, считываемый контроллером. При прикосновении к сенсорной поверхности часть энергии поверхностно-акустических волн поглощается (палец или иной предмет в данном случае выступает в роли демпфера, препятствующего свободному распространению волн). По изменению сигналов, считываемых принимающими датчиками, контроллер определяет координаты точки касания.

Сенсорные панели на базе технологии ПАВ отличаются надежностью (они выдерживают десятки миллионов нажатий в одной точке), высоким показателем светопропускания (более 90%) и восприимчивостью к нажатиям, выполненным как пальцами, так и различными предметами. В некоторых вариан-



тах реализации данная технология позволяет определять не только координаты, но и силу нажатия.

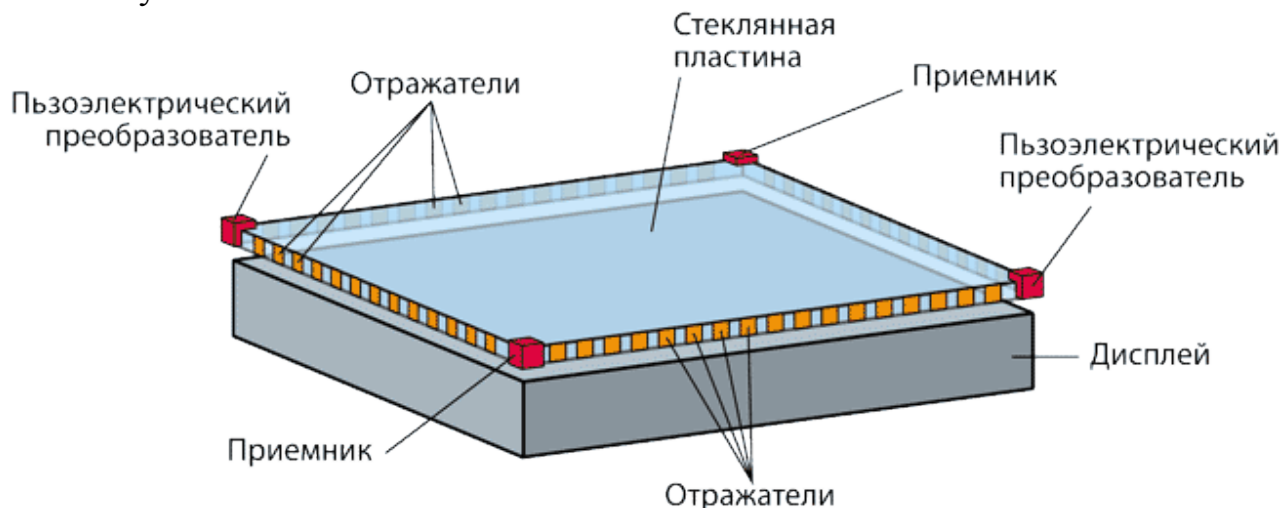


Рис. 9.17. Схема устройства сенсорной панели на базе технологии ПАВ

Из недостатков сенсорных панелей этого типа необходимо отметить чувствительность к загрязнению рабочей поверхности (грязь влияет на распространение акустических волн) и не очень высокую точность определения координат точки нажатия. Также возможны нарушения в работе сенсорной панели в условиях сильного шума и вибраций, что в значительной мере ограничивает возможности по использованию устройств данного типа вне помещений.

Существует несколько вариантов реализации сенсорных панелей на базе ПАВ – IntelliTouch, SecureTouch, iTouch и др. Основной сферой применения сенсорных панелей на базе технологии ПАВ в настоящее время являются информационные киоски, терминалы и т.д. В силу технических особенностей данного решения его целесообразно использовать в дисплеях с большим размером экрана (19 дюймов и более).

**Технология распознавания акустических импульсов.** Технология распознавания акустических импульсов (Acoustic Pulse Recognition, APR), созданная специалистами компании Elo TouchSystems, является дальнейшим развитием идеи, использованной в панелях на базе ПАВ. Впрочем, принцип работы сенсорных панелей на базе технологии APR существенно отличается от устройств на базе ПАВ.

Сенсорная поверхность представляет собой стеклянную пластину, на сторонах которой установлены четыре пьзоэлектрических преобразователя, конвертирующих распространяющиеся по толще стекла звуковые волны в электрический сигнал (рис. 9.18).

Принцип работы панели APR основан на том, что звук, возникающий при прикосновении к каждой из точек сенсорной поверхности, уникален. При прикосновении к сенсорной поверхности возникает звуковой импульс, распространяющийся по стеклянной панели. Достигнув края панели, импульс воздействует на пьзоэлектрический преобразователь, который преобразует его в

электрический сигнал и передает в контроллер. Последний сравнивает поступающие с датчиков сигналы с сохраненными в памяти эталонными сигналами, зафиксированными при прикосновениях к различным точкам панели. При несовпадении звуковой картины с хранящимися в памяти эталонами контроллер не регистрирует нажатие – таким образом реализована эффективная система фильтрации внешних шумов и вибраций.

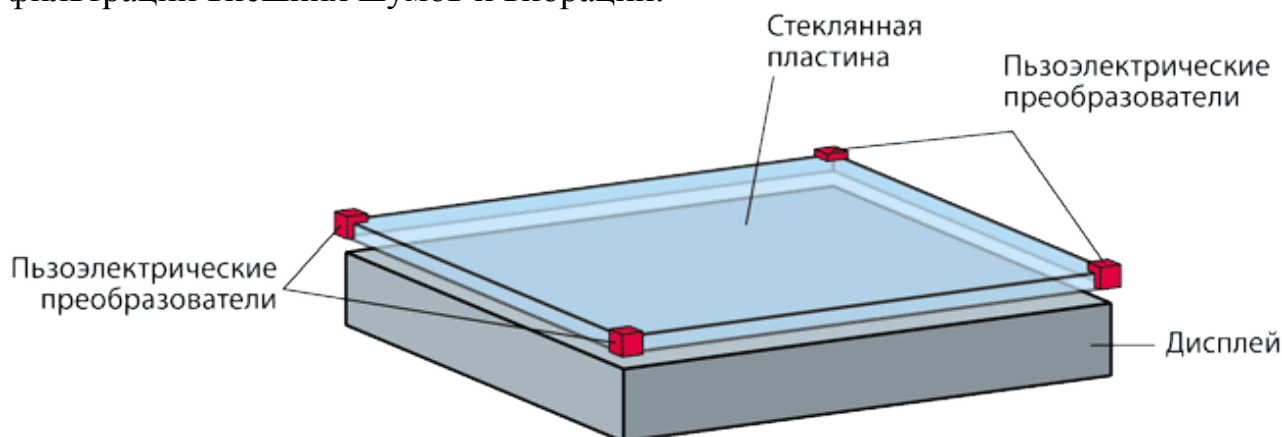


Рис. 9.18. Схема устройства сенсорной панели на базе технологии APR

Сенсорные панели на базе технологии APR обеспечивают более высокую (по сравнению с устройствами на базе ПАВ) точность определения координат точки касания и гораздо меньше подвержены влиянию посторонних шумов и вибраций. Нажатия можно производить как пальцами, так и различными предметами. Такие панели обладают высоким показателем светопропускания (более 90%) и сохраняют работоспособность при наличии царапин и загрязнений на сенсорной поверхности. Сенсорные панели на базе технологии APR обеспечивают высокую стабильность работы и не требуют перекалибровки в процессе эксплуатации. Данное решение отличается хорошей масштабируемостью: его можно использовать в дисплейных панелях как с малым, так и с большим размером экрана.

Сегодня основной сферой применения технологии APR являются цифровые киоски и POS-терминалы (от Point Of Sale – точка продажи).

**Ультразвуковая технология.** Для работы с сенсорным экраном этого типа используется специальное перо, в котором размещены генератор, излучатель ультразвуковых волн и миниатюрный источник питания. На рамке дисплея вблизи от верхних углов экрана смонтированы два датчика, реагирующих на ультразвук (рис. 9.19). При прикосновении наконечника пера к поверхности экрана срабатывает выключатель, и перо начинает излучать ультразвуковые волны. Контроллер фиксирует время срабатывания каждого из датчиков и по разнице этих значений вычисляет координаты точки касания.

Основными достоинствами этого решения являются простота реализации (не требуется вносить изменения в конструкцию дисплейной панели), низкая себестоимость, а также отсутствие помех, влияющих на качество изображения. Подобная конструкция обладает хорошей масштабируемостью: сенсор такого

типа можно использовать с экранами различных размеров (требуется лишь внесение незначительных изменений в программу контроллера).

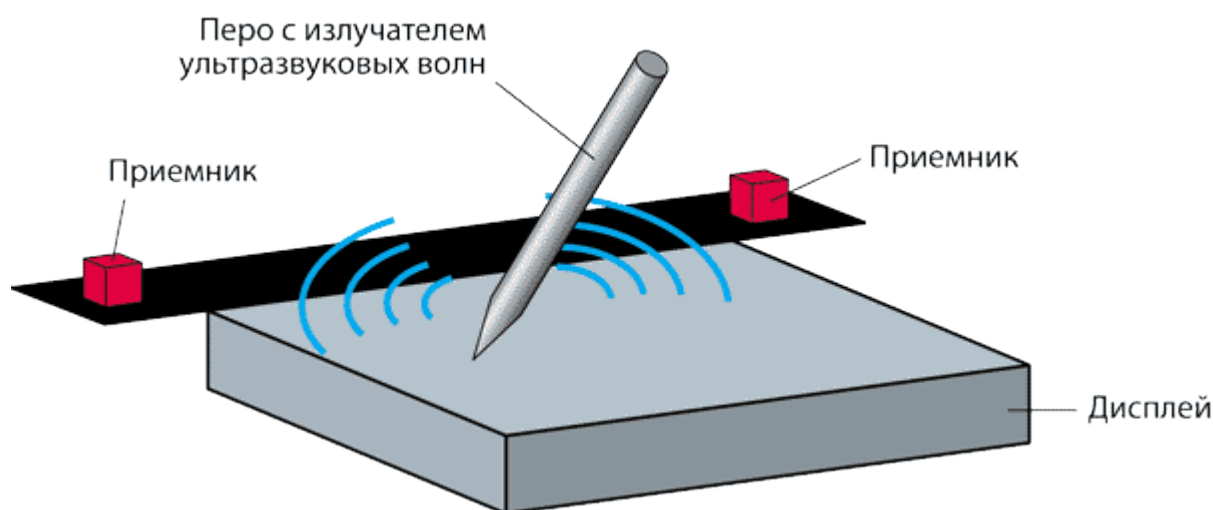


Рис. 9.19. Схема устройства дисплея с ультразвуковым сенсором

Основным недостатком является необходимость применения специального пера. Кроме того, данное решение обеспечивает не очень высокую точность определения координат точки нажатия ( $\pm 0,5$  мм) и требует дополнительного пространства для размещения датчиков на рамке вокруг экрана. Таким образом, ультразвуковой сенсор практически непригоден для использования в портативных устройствах.

**Технология электромагнитного резонанса.** В заключение стоит упомянуть технологию электромагнитного резонанса, разработанную компанией Wacom для использования в графических планшетах (дигитайзерах). В 1998 году в продуктовой линейке компании появилась первая модель ЖК-дисплея со встроенным графическим планшетом – Cintiq 18sx. В настоящее время компания Wacom выпускает две серии дисплеев с сенсорным экраном – Cintiq и PL).

Сенсорные панели, созданные на базе технологии электромагнитного резонанса, обеспечивают очень высокую точность позиционирования, а также позволяют получать дополнительную информацию от встроенных датчиков пера – таким образом можно фиксировать силу нажатия, угол наклона, тип наконечника и пр.

Данная конструкция позволяет отслеживать местоположение пера даже в том случае, когда его наконечник находится на расстоянии 1-2 см от рабочей поверхности. Благодаря этому сенсорную панель можно установить под модулем ЖК-дисплея – не ухудшая, таким образом, оптические характеристики дисплея.

Увы, есть и целый ряд недостатков. Сенсорные панели на базе технологии электромагнитного резонанса работают только со специальным пером и требуют периодической калибровки в процессе эксплуатации. Кроме того, в

силу сложности конструкции такие изделия довольно дороги в производстве, причем цена значительно возрастает по мере увеличения размера экрана.

Сенсорные панели на базе данной технологии потребляют много электроэнергии и являются источником электромагнитных помех, которые могут нарушить нормальную работу расположенного поблизости беспроводного оборудования (мобильных телефонов, точек доступа и пр.).

Судя по всему, в ближайшие годы технология электромагнитного резонанса так и останется решением, ориентированным главным образом на немногочисленный сегмент дорогих сенсорных дисплеев, используемых для работы с профессиональными приложениями (графическими редакторами, системами 3D-моделирования, САПР и т.д.).

### 9.3.5. Оптические технологии

Отдельную группу сенсорных экранов составляют устройства на базе оптических технологий. Популярность подобных решений пока невысока: по результатам 2016 года доля оптических сенсорных панелей составила всего 3% от общего объема мировых поставок. Впрочем, потенциал подобных устройств раскрыт еще не до конца.

***ИК-сенсор с массивом неподвижных оптопар.*** Принцип работы данного решения довольно прост. В модуле, обрамляющем экран, с двух сторон расположены линейки ИК-светодиодов с фокусирующими линзами, а на противоположных сторонах – линейки фотодиодов или фототранзисторов (рис. 9.20). При включении светодиодов над поверхностью экрана формируется невидимая сетка, образованная ИК-лучами. Когда какой-либо предмет приближается к поверхности экрана, он перекрывает пересекающиеся в данной точке лучи. Отсутствие луча фиксируется светочувствительными элементами оптопар, по изменению состояния которых контроллер определяет координаты точки касания.

Подобные сенсоры применяются преимущественно в дисплейных панелях с большим размером экрана. Дело в том, что разрешающая способность таких сенсоров ограничена физическими размерами элементов оптопар и параметрами фокусирующих линз. Как правило, шаг оптической сетки составляет порядка 2...3 мм, и даже при установке на 32-дюймовый дисплей разрешение сенсора подобной конструкции не превысит 320x240 точек.

Однако у ИК-сенсоров с массивом неподвижных оптопар есть и неоспоримые преимущества. Поскольку между экраном дисплея и наблюдателем отсутствуют какие-либо помехи (стекло, дополнительные проводники и т.п.), установка подобного сенсора не влияет на такие показатели, как яркость, контрастность, четкость и точность цветопередачи. Кроме того, сенсор подобного типа можно изготовить в виде съемного модуля, прикрепляемого к любой дисплейной панели с экраном соответствующего размера (в отличие от емкостных и резистивных панелей, которые, как правило, объединены в единый модуль с дисплеем).

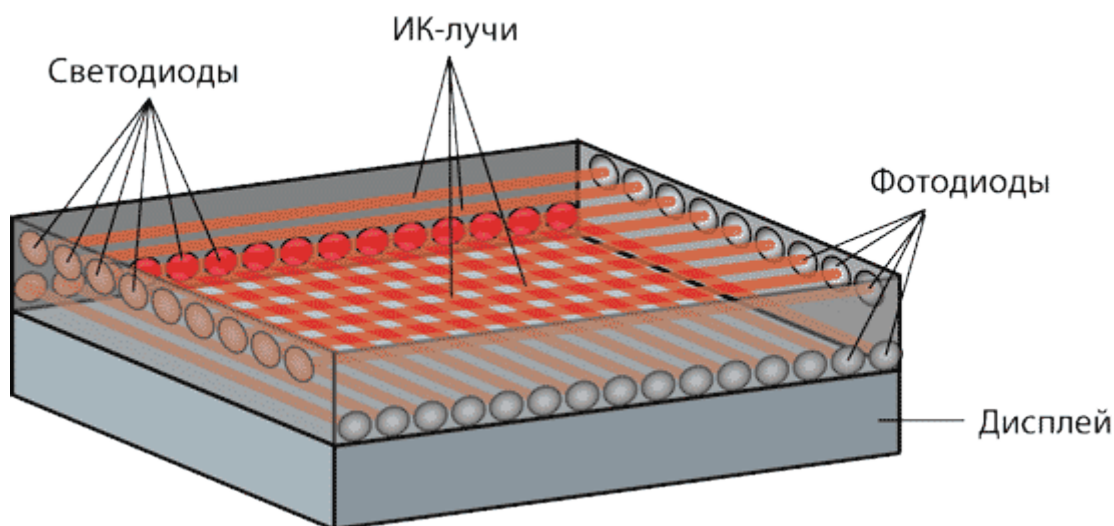


Рис. 9.20. Схема устройства ИК-сенсора с массивом неподвижных оптопар

По вполне понятным причинам ИК-сенсор с неподвижными элементами не требует калибровки. Кроме того, для управления элементами интерфейса можно использовать пальцы и любые подходящие по размеру предметы.

Из недостатков можно отметить довольно высокую стоимость подобных устройств, а также необходимость регулярно проводить чистку оптических элементов от пыли и грязи для обеспечения стабильности их работы. Нормальному функционированию сенсорного экрана такого типа могут воспрепятствовать прямые солнечные лучи, попадающие на фотоэлементы.

Есть и еще один нюанс. У многих моделей ИК-сенсоров плоскость, в которой лежат элементы оптопар, находится на некотором расстоянии от поверхности экрана. Как следствие, при использовании предмета, расположенного не строго перпендикулярно относительно плоскости экрана, возникают ошибки в определении координат.

В настоящее время ЖК- и плазменные панели с ИК-сенсорами используются в презентационном оборудовании, в образовательных учреждениях, ситуационных центрах и т.д.

**ИК-сенсор с механизмом развертки луча.** Развитием идеи бесконтактной регистрации прикосновений посредством ИК-лучей стала ИК-технология с подвижным лучом. Вместо массива оптопар используется один источник ИК-излучения (светодиод либо полупроводниковый лазер) и механизм развертки, который обеспечивает движение луча, с высокой скоростью сканирующего рабочую поверхность. При отсутствии препятствия луч рассеивается. Если же на пути луча встречается какое-либо препятствие, то луч отражается от него и улавливается фотодиодом. По изменению состояния фотодиода контроллер фиксирует касание в соответствующей точке.

В отличие от ИК-сенсоров с неподвижными оптопарами, описанную конструкцию можно реализовать в виде очень компактного модуля – что, в свою очередь, позволяет без проблем применять ее в портативных устройствах. Уникальной особенностью данной технологии является возможность использова-

ния ее с проецируемыми изображениями, причем размер рабочей области может варьироваться в довольно широких пределах. Благодаря отсутствию помех работа оптического сенсора не влияет на характеристики изображения. Кроме того, себестоимость таких сенсоров невелика.

Из недостатков отметим не очень высокую разрешающую способность, ограниченные возможности по распознаванию нескольких прикосновений одновременно и довольно большую погрешность определения координат точки касания по краям экрана, где угол падения луча минимален.

Первыми коммерческими устройствами, в которых использовались оптические сенсоры с механизмом развертки, были виртуальные клавиатуры. В последнее время повышенный интерес к подобным сенсорам проявляют разработчики мультимедиа-проекторов, а также портативных устройств со встроенными проекторами.

Данная технология была разработана компанией NextWindow и применяется в выпускаемых ею сенсорных панелях. В отличие от пары описанных выше решений, где сенсорная поверхность является виртуальной, технология NextWindow предусматривает использование в этом качестве физического объекта – стеклянной либо пластиковой пластины. С трех сторон в торцах пластины установлены источники ИК-излучения (линейки светодиодов), а в двух верхних углах находятся оптические сенсоры, работающие в ИК-диапазоне (рис. 9.21).

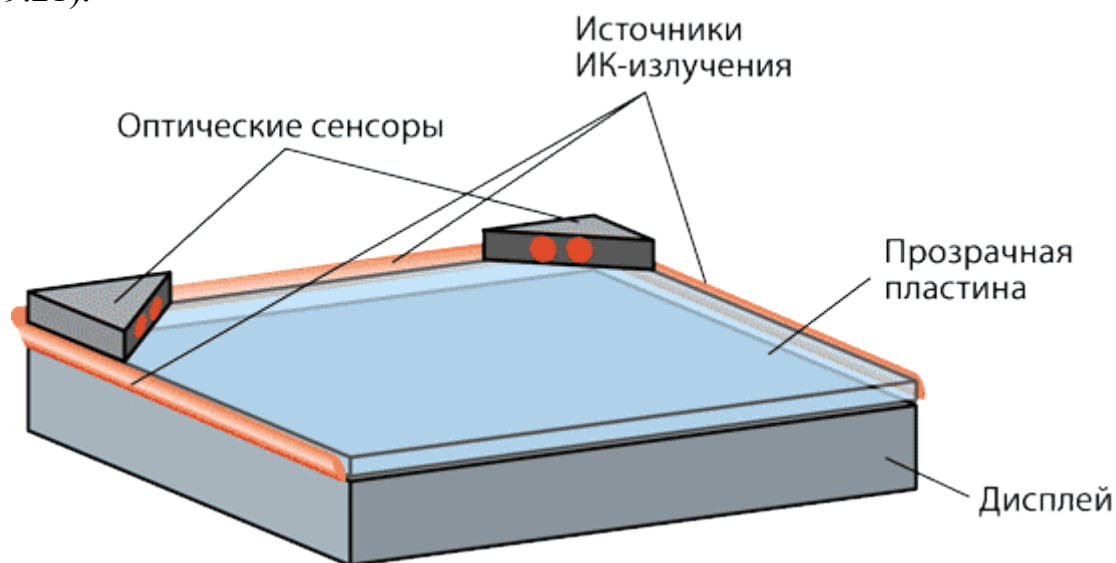


Рис. 9.21. Схема устройства ИК-сенсора NextWindow

При касании поверхности пальцем или каким-либо предметом меняется картина распространения ИК-излучения. Эти изменения фиксируются оптическими сенсорами, по изменению показаний которых контроллер рассчитывает координаты точки касания.

Достоинствами данного решения являются высокий коэффициент светопропускания панели (более 92%), возможность регистрации прикосновений в двух точках одновременно и высокая разрешающая способность. Сенсоры это-

го типа отличаются высокой стабильностью работы и не требуют периодической калибровки в процессе эксплуатации.

Из недостатков можно отметить довольно сложную конструкцию контроллера и соответственно не самую низкую себестоимость подобных устройств.

Сенсорные панели данной конструкции наилучшим образом подходят для оснащения дисплеев с большим размером экрана (от 20 дюймов по диагонали и более). На базе технологии NextWindow выпускаются как дисплейные панели с интегрированным сенсорным экраном, так и съемные модули.

**Оптические сенсоры на базе видеокамер.** В подобных устройствах, изображение на экране которых формируется методом обратной проекции, может быть использован оптический сенсор на базе цифровой видеокамеры. В простейшем случае применяется одна видеокамера, работающая в ИК-диапазоне (рис. 9.22). Изображение на экране в данном случае не является помехой, поскольку оно проецируется в видимом диапазоне и камера его просто воспринимает.

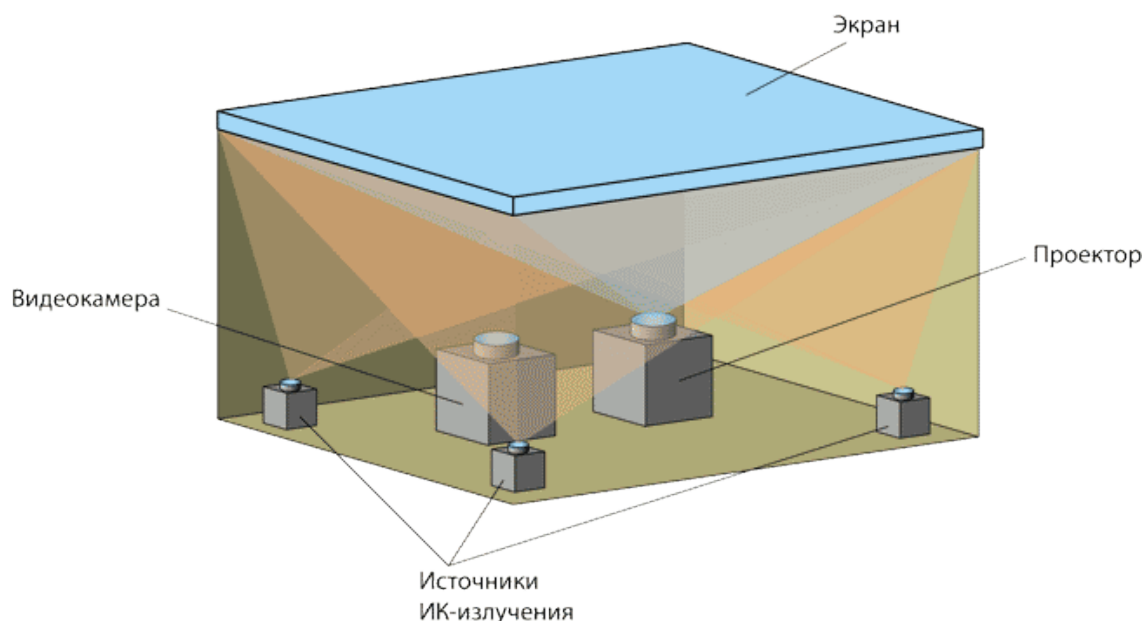


Рис. 9.22. Схема устройства оптического сенсора с видеокамерой

Внутренняя поверхность экрана подсвечивается ИК-лучами. При отсутствии каких-либо предметов на поверхности экрана ИК-лучи беспрепятственно проходят сквозь стекло. В случае касания поверхности лучи отражаются от появившегося препятствия и видеокамера фиксирует пятно (или несколько пятен) на однородном фоне. Полученное изображение обрабатывается программным обеспечением, которое вычисляет координаты точек касания.

В составе такого сенсора может быть и несколько видеокамер – это позволяет повысить его надежность и реализовать дополнительные возможности. Например, в устройстве Microsoft Surface для обслуживания сенсора подобного типа установлено сразу пять видеокамер. Помимо регистрации прикосновений

и жестов они обеспечивают работу системы распознавания объектов. Для этого на нижнюю сторону предметов, используемых с данным устройством, наносятся миниатюрные черно-белые метки, напоминающие обозначения цифр на костяшках домино. По этим меткам программное обеспечение может определить тип объекта и автоматически выполнить ассоциированное с ним действие – открыть документ с описанием, запустить какое-либо приложение и т.д.

Оптический сенсор с видеокамерой не оказывает какого-либо влияния на качество изображения на экране. В числе других достоинств данного решения – возможность обработки нескольких касаний одновременно; использование как пальцев, так и различных предметов (причем в любых сочетаниях) для работы с графическим интерфейсом. Разрешающая способность такого сенсора может варьироваться в широких пределах в зависимости от разрешения применяемой видеокамеры и оптической системы. Кроме того, один и тот же сенсор с минимальной модернизацией можно использовать для работы с экранами различного размера.

Из-за высокой стоимости и больших габаритов оптические сенсоры на базе видеокамеры непригодны для применения в портативных устройствах. Система требует тщательной калибровки после монтажа и регулярной подстройки для обеспечения приемлемой точности.

Как уже было упомянуто, оптические сенсоры на базе видеокамеры пригодны для использования исключительно в дисплеях с обратной проекцией изображения, и это в значительной степени ограничивает сферу их применения. В настоящее время данный класс устройств является весьма немногочисленным: спрос на проекционные телевизоры стремительно сокращается, а аппараты вроде Microsoft Surface и вовсе производятся в микроскопическом количестве.

#### **9.4. Мультимедийные проекторы**

Всех нас завораживает волшебный мир кино. Атмосфера кинотеатра позволяет полностью погрузиться в действие и прочувствовать замысел режиссёра, ощутить прилив эмоций и даже в какой-то мере прожить жизнь экранных героев. Разумеется, вряд ли кто-то будет спорить, что одним из основных аспектов столь сильного воздействия является яркое, насыщенное изображение большого формата. И на сегодняшний день такую картинку можно получить лишь при помощи проектора – устройства, которое использует источник света для проецирования кадров на экран. Стоит отметить, что современные проекторы – это весьма высокотехнологичные устройства, однако истоки появления самого принципа формирования такой картинки уходят в глубину веков. Если подойти к вопросу достаточно упрощённо, то первыми зрителями можно считать первобытных людей, которые наблюдали движущиеся тени от огня на сводах пещер. Затем вспоминается знаменитый китайский театр теней, использующий схему, которую мы могли бы назвать сегодня обратной проекцией. А первые массовые устройства возникли лишь в 17 веке. Назывались они



«волшебными фонарями», изобретателем которых считают голландского учёного Христиана Гюйгенса. Устройство волшебного фонаря было очень простым: в деревянном или металлическом корпусе был размещён источник света, а изображения для проекции были нарисованы на пластинах из стекла, обрамлённых в рамки. Свет проходил через картинку и оптическую систему, расположенную в передней части аппарата, и попадал на экран.

Кстати, волшебными фонарями часто пользовались бродячие артисты, удивляющие публику невиданным световым зрелищем. Стоит отметить, что такие устройства были распространены и в дореволюционной России, где они применялись в образовательных целях. Более того, диапроектор, любимый нами с детства, является прямым наследником волшебного фонаря. Нельзя не упомянуть также об определяющей роли этого устройства в изобретении кинематографа, с появлением которого волшебный фонарь перестал быть столь популярным, положив, однако, начало всей проекционной технике.

Популярность кино вызвала бурный прогресс оборудования не только для съёмки, но и для воспроизведения, который продолжается до сих пор. Появились специализированные устройства для обучения, такие как оверхед-проекторы, которые до сих пор можно встретить в школах. Им на смену пришли первые модели мультимедийных устройств, которые можно было подключать к различным источникам видеосигнала, а значит – использовать для демонстрации фильмов вне кинотеатров. Дальнейшее развитие технологий позволило организовать просмотр, ничем не уступающий кинотеатральному, в домашних условиях. Идея домашнего кинотеатра покорила энтузиастов и любителей кино и вызвала новый всплеск интереса к индустрии производства фильмов. Помимо этого, массовый спрос на проекторы стал причиной значительного удешевления технологий и разработки по-настоящему доступных моделей. А это, в свою очередь, позволило широко использовать проекционное оборудование и в других областях, таких как образование, наука и бизнес.

#### **9.4.1. Классификация проекторов**

По функциональному назначению проекторы можно разделить на три основные группы:

- проекторы для домашнего кино, игровые проекторы (категория Home Cinema),
- проекторы для индустрии развлечений (для кинотеатральных залов и т.п.),
- проекторы для бизнеса и образования.

Первая группа ориентирована прежде всего на воспроизведение динамичного контента («живого» видео), вторая и третья группы обычно предназначены как для динамичного, так и статичного контента.

#### **9.4.2. Характеристики мультимедийных проекторов**

Выбирая проектор, прежде всего необходимо определиться с тем, какую задачу должен решать проектор, к каким источникам информации он будет

подключен, а также в каких условиях ему предстоит работать. Основными характеристиками мультимедийного проектора являются:

- разрешение матрицы и ее физический формат;
- световой поток (яркость);
- наличие сетевых интерфейсов;
- вес;
- контрастность;
- равномерность освещения;
- характеристики объектива;
- количество и типы входных и выходных разъёмов;
- источники света;
- уровень шума;
- функциональные особенности.

### **Разрешающая способность**

Данный параметр характеризует четкость изображения, создаваемого проектором, и определяется числом светящихся элементов – пикселей жидких кристаллов или микрозеркал. В предшествующие годы по разрешающей способности проекторы соответствовали стандартным видеокартам, используемым в персональных компьютерах и рабочих станциях. Однако с течением времени стал меняться формат компьютерных мониторов и особенно телевизоров, появились DVD и телевидение высокой чёткости, и все это привело к существенному увеличению вариантов разрешающей способности проекторов

В настоящее время можно встретить следующие виды разрешений (если исключить экзотические варианты):

Формат изображения 4:3 или близкий к нему: VGA (640x480), SVGA (800x600), XGA (1024x768), SXGA (1280x1024), SXGA+ (1400x1050), UXGA (1600x1200), QXGA (2048x1536).

Формат изображения 16:9, 16:10 или близкий к ним: WVGA (854x480), WSVGA (1024x576), HD 720 (1280x720), WXGA (1280x768 либо 1280x800), WXGA+ (1440x900), Full HD или HD 1080 (1920x1080), WUXGA (1920x1200), WQXGA (2560x1600), HD 2K (2048x1080), HD 4K (4096x2160 либо 4096x2400).

В каждой паре чисел первое показывает число пикселей по горизонтали, а второе – по вертикали изображения.

Формат 4:3 по-прежнему пока является основным для мобильных презентаций, а широкоформатные модели лидируют в классе домашнего и профессионального кино. Однако триумфальное распространение телевидения высокой четкости, широкоформатных ноутбуков в последнее время обозначило определенную тенденцию перехода всей индустрии на широкоформатные матрицы.

Что касается видеостандартов, то большинство проекторов поддерживают наиболее распространённые системы цветности, а новые модели, как правило, поддерживают формат HDTV.

Понятно, что с увеличением разрешения стоимость проекторов возрастает. Поэтому рекомендуется выбирать разрешение с учётом характера проецируемой информации, ориентируясь на нижеприведенную таблицу:

<b>Проецируемая информация</b>	<b>Рекомендуемое разрешение</b>
Компьютерные презентации, подготовленные с помощью Power Point, а также простая графика и крупные тексты	SVGA (800x600) (бюджетный вариант), XGA (1024x780) (более качественный вариант)
Видео и фильмы среднего качества при проецировании на экран с диагональю до 3 м	SVGA (800x600), WVGA (854x480), WSVGA (960x540)
3D контент	Full HD(1920x1080), WUXGA(1920x1200) и выше
Таблицы, подготовленные в Excel, мелкие тексты, архитектурная графика	XGA (1024x780), SXGA (1280x1024)
Работа с интерактивной доской или в интерактивном режиме	XGA (1024x780), W XGA (1365x768), UXGA (1600x1200), Full HD (1920x1080)
Видео и DVD-фильмы при проецировании на экран с диагональю более 3 м	XGA (1024x780), W XGA (1365x768)
CAD/CAM приложения, машино- и приборостроительные чертежи, географические карты и т.п.	SXGA (1280x1024), SXGA+ (1400x1050), Full HD (1920x1080)
DVD-фильмы, BluRay, телевидение высокой четкости при обеспечении высокого качества изображения.	SXGA (1280x1024), SXGA+ (1400x1050), UXGA (1600x1200), Full HD(1920x1080)

Указанное в технических характеристиках номинальное разрешение не означает, что проектор реализует картинку только одного номинального формата. У всех проекторов предусмотрена возможность через меню перестроить формат изображения. Однако такое переформатирование происходит за счёт неполного использования площади воспроизводящих элементов (матриц), что, вообще говоря, неэффективно. Поэтому целесообразно выбирать проектор, разрешение которого по формату соответствует основному назначению.

### **Световой поток (яркость)**

Световой поток мультимедийных проекторов измеряют в ANSI лм. Этот параметр был введен в 1982 году Американским Институтом Национальных Стандартов (ANSI) в качестве единицы, характеризующей среднюю величину светового потока проектора по девяти зонам, равномерно распределенным по площади экрана определённого размера.

Световой поток проекторов сегодня может достигать 37 000 ANSI лм. С другой стороны, в самое последнее время появились проекторы минимальных

размеров, в которых в качестве источников света вместо ламп используются светодиоды. Световой поток таких проекторов не превышает сотен или даже десятков лм.

Ниже в таблице приведены рекомендованные значения светового потока в зависимости от условий использования.

<b>Световой поток</b>	<b>Условия использования</b>	<b>Предельный размер экрана</b>
300-500	Помещение до 50 кв. м. Подтемнение	191x244 см
300-500	Помещение до 500 кв. м. Полная темнота	231x303 см
500-750	Помещение до 50 кв. м. Естественное или искусственное освещение	135x177 см
800-1200	Помещение до 100 кв. м. Естественное или искусственное освещение	160x212 см
800-1200	Помещение до 500 кв. м. Подтемнение	300x400 см
800-1200	Помещение до 700 кв. м. Полная темнота	376x503 см
1300-1600	Помещение до 250 кв. м. Естественное или искусственное освещение	208x272 см
1300-1600	Помещение до 500 кв. м. Подтемнение	447x599 см
Более 1600	Помещение до 1000 кв. м. Полная темнота	Максимальный размер по паспорту проектора
2000-2400	Помещение до 500 кв. м. Естественное или искусственное освещение	274x363 см
3000	Помещение до 1000 кв. м. Естественное или искусственное освещение	300x401 см

Термин «полная темнота» означает, что освещённость экрана не должна превышать 3...5 лк, т.е. окна должны быть плотно занавешены, оставлен только контрольный электрический свет, создающий полумрак. В больших помещениях допустимо включать электрические лампы вдали от экрана.

Термин «подтемнение» означает, что освещённость экрана не должна превышать 20 лк. На практике это означает, что окна вблизи экрана должны

быть плотно занавешены, яркий электрический свет отключён, особенно вблизи экрана, но в помещении достаточно светло для чтения документов.

Термин «естественное или искусственное освещение» означает, что специальные меры по затемнению помещения не предпринимается. Однако необходимо предотвращать попадание на экран прямого солнечного света и отключать электрическое освещение непосредственно перед экраном.

Для приблизительной оценки требуемой мощности светового потока проектора можно воспользоваться следующей эмпирической формулой:

$$F = S \times k,$$

где  $F$  – световой поток в ANSI лм,  $S$  – площадь экрана в кв. м,  $k$  – коэффициент, величина которого зависит от уровня освещённости помещения.

Для незатемнённых помещений этот коэффициент находится в пределах 500...800, для затемнённых – 200...350. При этом надо учитывать, что реальный световой поток любого проектора, как правило, на 10...20% меньше паспортного.

Необходимо также помнить, что при попадании на экран прямого солнечного света даже самый мощный мультимедийный проектор не сможет обеспечить качественное изображение. Для защиты от солнца необходимо использовать шторы или жалюзи. Полезно также предусмотреть возможность отключения электрического освещения в районе расположения экрана.

При выборе размеров экрана должны быть соблюдены два условия:

- расстояние от самого дальнего зрителя до экрана не должно быть больше 5-6-кратной ширины экрана,
- расстояние от самого ближнего зрителя до экрана не должно быть меньше полуторной ширины экрана.

### **Наличие сетевых интерфейсов**

Некоторые проекторы имеют возможность получать контент для вывода на экран по сети (локальной – Ethernet или же беспроводной по стандарту WiFi). Как правило, в беспроводном режиме поддерживается видеопокказ статических картинок (в режиме «слайд шоу»). Однако появились также модели, обеспечивающие возможность беспроводного приёма потокового видео. Кроме того, на рынке имеются беспроводные адаптеры, которые можно подключить к любому проектору для приёма «живого» видео. По мере совершенствования стандарта WiFi передача потокового видео без проводов становится нормой жизни.

### **Классификация по весу**

По весу выделяют следующие категории проекторов:

Стационарные	Более 18 кг
Переносные	9–18 кг
Портативные	4,5–9 кг

Ультрапортативные	2,25–4,5 кг
Микропортативные	Менее 2,25 кг
Класс Palm («с ладонь»)	Менее 1,4 кг
Класс Pico	Менее 0,5 кг
Класс Pocket	Размер мобильного телефона

В настоящее время значительная доля продаж приходится на портативные модели, так называемы пико-проекторы. Сам термин «пико-проектор» был введен в обращение специалистами американской компании Texas Instruments (TI), которые в 2007 году представили свой концепт карманного проектора для мобильных устройств, основанного на использовании специального DLP-чипа. В этом проекторе три лазерных луча направлялись на микросхему со слоем управляемых микрозеркал. Положение зеркала можно было регулировать, вследствие чего свет, отражаемый от его поверхности, приобретал один из 256 оттенков.

Разработка Texas Instruments вызвала повышенный интерес у производителей мобильных устройств. Ведь по мере того, как размеры мобильных гаджетов уменьшаются, их функциональные возможности постоянно растут. Размещение же в мобильных устройствах такого пико-проектора является оптимальным решением, которое позволяет комфортно работать с изображением. На выставках потребительской электроники в последние годы можно увидеть все больше количество мобильных устройств (мобильные телефоны и медиа устройства) со встроенными пико-проекторами.

Пико-проектор это очень небольшое по размерам устройство, сопоставимое с размерами обычного смартфона. Источником света для пико-проекторов являются особые яркие LED-светодиоды. Естественно, что чудес в плане яркости ожидать от такого портативного устройства не стоит – пико-проекторы способны демонстрировать изображение с относительно малыми яркостями. Поэтому на ярком свету картинка от проектора безнадежно теряется в фоновой засветке, при этом в затемненном помещении проблем с отображением изображения нет. Яркость пико-проекторов обычно не превышает 50 люмен, что, конечно, немного в сравнении с классическими настольными проекторами. Разрешение тоже не самое большое – 640 x 480 или 800 x 600. Правда, постепенно разрешение миниатюрных проекторов растет.

Портативная конструкция пико-проектора, кроме светодиодов, включает в себя еще и встроенный аккумулятор для пользования устройством вдали от электрической розетки, матрицу и блок видеомодуляции. Разработчики стараются снабдить свои устройства всем необходимым для работы с различными форматами видео и аудио.

В плане отображения информации многие современные пико-проекторы отличаются завидной «всеядностью». Миниатюрные проекторы оснащаются также встроенной флеш-памятью и слотами для чтения карт-памяти, чтобы можно было показать какой-либо видеоролик, без необходимости подключения проектора к компьютеру.

В современных пико-проекторах используется три основные технологии:

**DLP-технология.** В целом, конструкция пико-проектора на базе DLP-технологии аналогична конструкции обычного одноматричного DLP-проектора, только за исключением того, что вместо колеса со светофильтрами здесь применяются светодиоды. К преимуществам этой технологии относят высокую контрастность изображения и отличную цветопередачу. Главным же недостатком миниатюрных DLP-проекторов является предельно низкая яркость, поэтому для качественного отображения им требуется практически полная темнота в помещении.

**LCoS и FLCOS-технологии.** LCoS-проекторы основаны на применении ЖК-панели с зеркалом, на которую направляется свет от белого светодиода. Этот поток разделяется перед попаданием на пиксель призмой или светофильтром на красный, синий или зеленый световой луч. Чем сильнее затемнен пиксель на ЖК-панели, тем, соответственно, слабее будет отражаться световой поток от зеркала, вследствие чего этот пиксель на проецируемой картинке окажется более темным. LCoS отличается от DLP -технологии большей яркостью, но при этом проигрывает в цветопередаче и контрастности.

Логичным продолжением развития LCoS стала технология FLCOS, предусматривающая использование сегнетоэлектрических жидких кристаллов на кремнии. Большое количество современных моделей пико-проекторов построено именно на базе этой технологии. Помимо использования особых жидких кристаллов на кремнии, технология FLCOS отличается от традиционной LCoS тем, что здесь на матрицу несколько раз в секунду светят попеременно сразу три светодиода (зеленый, красный и синий), что и обеспечивает формирование для человеческого глаза цветной картинке. FLCOS-проекторы могут похвастаться более высокой яркостью, чем DLP-устройства, а также экономичностью и компактностью. В то же время они опять-таки проигрывают по цветопередаче и контрастности изображения.

**PicoP-технология.** Наконец, еще одна технология для пико-проекторов была разработана компанией Microvision. Она предполагает применение четырех компонентов – микросхемы, лазерного источника света, оптики и MEMS-зеркала (микро электромеханического устройства). Специальная микросхема управляет работой трех лазеров (красным, зеленым и синим), которые светят одновременно на зеркало, отклоняющее луч света. Лазеры обеспечивают формирование четкого изображения попиксельно. Пока лазерная технология только внедряется в миниатюрные проекторы, но у нее может быть большое будущее.

В настоящий момент пико-проекторы развиваются по двум направлениям – как самостоятельные устройства и как интегрируемые проекторы, которые встраиваются в самую разнообразную технику (от плееров до телефонов).

Преимущества миниатюрных проекторов очевидны – это портативные размеры и автономность, благодаря чему устройством можно пользоваться практически где угодно. Пико-проектор позволяет проецировать изображение на большой экран с достаточно хорошей цветопередачей. В то же время абсо-

лютно понятно, что ради малых размеров разработчикам приходится чем-то жертвовать. Это и уменьшенная матрица, и не самая лучшая оптика, которая и фокусирует изображение на экран, и отсутствие лампы подсветки, необходимой для формирования картинки требуемой яркости. Как следствие, пико-проекторы имеют и явные недостатки – низкая яркость, недостаточная для качественного отображения картинки при дневном свете и сравнительно низкое разрешение.

Пико-проектор может быть очень полезной вещью для торговых представителей, менеджеров, коммивояжеров и бизнесменов, которым по роду своей деятельности приходится много времени проводить в поездках и организовывать презентации.

### **Контрастность**

**Контрастность** – это отношение максимальной освещенности контрольного экрана к минимальной при проецировании белого и черного поля соответственно. Контрастность может быть представлена в спецификации проектора одним из двух способов. Если указана просто **Контрастность**, то этот параметр обычно измерен на основе метода On/Off, то есть измерение отношений «самого белого» и «самого чёрного» элементов изображения, которые способен воспроизводить данный проектор. Если же указана **ANSI Контрастность**, то соотношение было определено при отображении на экране шахматного поля (белых и черных квадратов) и измерения и сравнения относительной яркости каждого из них. Вариант On/Off даёт более высокие значения, тогда как вариант ANSI – несколько более точные.

Некоторые проекторы имеют так называемую динамическую или ирисовую диафрагму, установленную между источником света и объективом. Проектор несколько раз в секунду оценивает общую яркость изображения и по результатам измерений регулирует световой поток за счёт приоткрывания или закрывания отверстия динамической диафрагмы.

Динамическая диафрагма увеличивает On/Off контрастность и не влияет на показатель ANSI-контрастности.

### **Равномерность освещения**

**Равномерность освещения** показывает отношение минимальной освещенности (на периферии изображения) к максимальной (в его центре); в хороших проекторах этот показатель превышает 70%. К сожалению, производители редко размещают сведения об этом параметре в паспортных данных на аппарат.

### **Характеристики объектива**

Большинство современных мультимедийных проекторов комплектуются вариообъективами с изменяемым фокусным расстоянием (так называемые объ-



ективы с трансфокаторами, или ZOOM-объективы). Наличие ZOOM-объектива существенно упрощает подготовку к видео показам, так как позволяет менять размер изображения, не передвигая проектор.

Важнейшая характеристика объектива – так называемое проекционное соотношение – величина, равная отношению дистанции проецирования к ширине изображения. Стандартные объективы имеют проекционное соотношение в пределах 1,8...2,2, длиннофокусные – до 4...8, короткофокусные – 0,8...1,2 В последнее время появились проекторы с исключительно малыми значениями проекционного соотношения. Такие проекторы, способные создать изображения размером 80...100 дюймов по диагонали (приблизительно 180...200 см по ширине) при дистанции проецирования всего 8...30 см, они предназначены прежде всего для использования совместно с интерактивными досками и для других специальных применений.

### **Количество и типы входных и выходных разъёмов**

Проекторы могут достаточно сильно различаться составом панели соединений. Любой проектор имеет, по крайней мере, один компьютерный или видео вход для соединения с внешним источником данных. Современные проекторы имеют достаточно развитую панель соединений, включающую, как правило:

- один или два аналоговых (RGB) компьютерных входа;
- один RGB выход для параллельного подключения компьютерного монитора;
- несколько терминалов для подключения аналоговых видео источников (S-video, композитный, компонентный);
- цифровые входы DVI, HDMI, реже SDI;
- аудиовход.

Могут также присутствовать разъёмы для подключения компьютерной мыши, для управления проектором от внешнего компьютера (шины RS-232 и/или USB), для подключения внешнего аудио усилителя.

### **Источники света**

В ранних моделях мультимедийных проекторов использовались галогенные лампы накаливания, успешно применявшиеся в графопроекторах и слайд-проекторах. Однако световой мощности этих ламп было недостаточно для создания ярких изображений, да и спектр светового потока оставлял желать лучшего. Поэтому производители проекторов перешли на использование газоразрядных металлогалоидных ламп. Такая лампа представляет собой герметичную колбу из оптически прозрачного стекла с двумя электродами в торцах. Лампа наполнена инертным газом и легкоиспаряющимся металлом (обычно ртутью или натрием), который снижает электрическое сопротивление инертного газа. Металлогалоидные лампы известны давно, однако в 90-х годах компания Philips специально для применения в мультимедийных проекторах разработала

металлогалоидные лампы сверхвысокого давления (100 атмосфер и выше). Именно эти лампы используются в настоящее время в большинстве проекторов. Они обладают достаточно большим сроком службы (до от 2-х до 4-6 тысяч часов) и обеспечивают спектр, близкий к солнечному. Однако эти лампы весьма дороги, их стоимость составляет 20...35% от стоимости проектора, что весьма чувствительно при длительной эксплуатации проектора. Естественно, что разработчики продолжают поиск альтернативных источников света, прежде всего – обладающих существенно большим сроком службы. Выше уже упоминалось, что в микропроекторах вместо ламп используются светодиоды, однако световой поток в таких проекторах пока очень мал, не более 200...300 ANSI лм.

Сравнительно недавно появилась информация о создании принципиально нового источника света, разработанного фирмой Casio. Принцип действия этого гибридного источника света таков. Красный цвет создается с помощью красных светодиодов. Синий цвет обеспечивает синий лазер. Зеленый цвет получается воздействием синего лазера на фосфор. Новый гибридный источник света обеспечивает проекторам световой поток 2000...3000 ANSI лм, и обладает сроком жизни 20000 часов, что в среднем в 10 раз превышает срок жизни обычных металлогалоидных ламп в проекторах, и в 10 раз превышает мощность чисто светодиодных источников света в светодиодных проекторах.

### **Уровень шума**

Каждая модель проектора характеризуется своей шумностью, зависящей от конструкции прибора и мощности используемых вентиляторов. Уровень шума может находиться в пределах от 20 до 45 дБ. Для комфортной работы в небольших помещениях этот показатель не должен превышать 30 дБ. В больших залах, особенно если проектор установлен в изолированном помещении, требования к этому параметру снижаются.

### **Функциональные возможности**

Современные мультимедийные проекторы имеют, как правило, стандартный набор функциональных возможностей, среди которых:

- наличие экранного меню и пульта дистанционного ИК управления (иногда такой пульт может превращаться в кабельный);
- инверсия изображения по горизонтали и по вертикали; что позволяет использовать просветные экраны и потолочное крепление проектора;
- возможность регулировки яркости; контрастности; чёткости изображения;
- возможность настройки цветовой гаммы;
- возможность работы с 3D-контентом;
- возможность работы в интерактивном режиме;
- возможность подстройки под параметры входных компьютерных и видео сигналов;

- возможность дистанционного управления курсором компьютера (так называемая, инфракрасная экранная мышь);
- возможность корректировки трапециидальных искажений изображения;
- возможность выбора языка меню;
- наличие экономичного режима работы (уменьшение светового потока на 15...20%, обеспечивающее увеличение срока службы лампы в 1,5...2 раза).

Кроме того, проекторы имеют дополнительные функциональные возможности, отличающиеся в разных моделях. Можно назвать наиболее распространённые:

- возможность замены объектива и наличие сменных длиннофокусных и короткофокусных объективов;
- функция интерактивности (замена интерактивной доски);
- автонастройка изображения; автокоррекция трапециидальных искажений;
- возможность проецирования на небелую поверхность;
- функция «Off and go» – возможность быстрого отключения проектора от сети питания;
- стоп-кадр – возможность «заморозить» изображение;
- «электронная лупа» – возможность сильного (до 30 раз) увеличения выделенного участка изображения; поступающего из компьютера;
- функция «картинка в картинке» – возможность одновременного показа изображений; поступающих от двух независимых источников;
- возможность механического смещения объектива в одной или двух плоскостях;
- функция A/V MUTE – затемнение экрана и отключение звука;
- функция «занавес» – открытие или закрытие части изображения;
- встроенный слот для PC-карты; что даёт возможность проводить презентации без компьютера;
- USB вход для флеш-карты;
- лазерная указка; встроенная в пульт дистанционного управления;
- функция IRIS – автоматическая подстройка яркости изображения в зависимости от освещённости помещения;
- автоматическое управление режимом работы вентилятора в зависимости от температуры окружающей среды;
- поддержка цифровых телевизионных стандартов DVT и HDTV;
- возможность выбора формата изображения ;
- возможность механического смещения объектива; что особенно важно при сведении изображений от нескольких проекторов;
- наличие сетевого концентратора; обеспечивающего возможность включения проектора в локальную сеть;
- различные системы защиты от краж и несанкционированного использования;
- автоподсветка клавиш на панели управления;
- возможность установки собственной заставки на экране;

- сетевые возможности (управление по сети, встроенный браузер, e-mail клиент и пр.);
- фиксированные пользовательские режимы видеопозказа.

Естественно, нет такого проектора, в котором воплощены все перечисленные возможности, поэтому при выборе проектора необходимо ориентироваться на те функции, которые действительно необходимы для конкретного применения.

### **9.4.3. Основные проекционные технологии**

#### **Технология электронно-лучевых трубок (ЭЛТ)**

Несмотря на то, что проекторы, построенные на основе электронно-лучевой трубки, были и остаются достаточно редкими устройствами, для полноценного обзора их упоминание и место в истории современной проекционной техники являются весьма важными. Эти устройства можно с уверенностью назвать прародителями домашних кинотеатров, поскольку они позволяли формировать большие изображения ещё тогда, когда ни о жидких кристаллах, ни о микрозеркалах никто ничего не слышал.

Принцип действия этих устройств знаком каждому, кто помнит старые телевизоры или компьютерные мониторы. Катод, расположенный в основании электронно-лучевой пушки, испускает поток электронов, который разгоняется высоким напряжением. Затем электромагнитная отклоняющая система фокусирует пучок и изменяет направление движения заряженных частиц, в результате чего они бомбардируют внутреннюю поверхность стеклянного экрана, покрытого люминофором, который начинает светиться под действием электронов. Таким образом, электронный луч, прочерчивая каждый кадр строка за строкой, и формирует картинку на экране. Однако, поскольку в подобных устройствах применялись монохромные вакуумные элементы, для получения полноценного цветного изображения одного кинескопа недостаточно. Поэтому в ЭЛТ-проекторах устанавливаются три трубки, которые отвечают за формирование базовых цветов: красного, зелёного и синего. Далее все три изображения при помощи массивных объективов и различных аналоговых систем коррекции искажений сводятся в единое целое на экране.

Что касается качества изображения, то даже по нынешним временам его можно назвать замечательным. Во-первых, это отличная цветопередача. Во-вторых, способность воспроизводить низкий уровень чёрного, и, как следствие, демонстрировать картинку с высокой контрастностью. И, в-третьих, возможность воспроизведения практически любого входного разрешения сигнала. Кроме того, такие проекторы могут изменять геометрию картинки, оставляя постоянным количество элементов изображения. Правда, стоит отметить, что такие возможности требуются только в специальных задачах, таких как, например, совмещение нескольких изображений в авиатренажёрах.

ЭЛТ-проекторы – весьма тихие, поскольку в них практически не используются активные системы охлаждения. И при этом они могут непрерывно работать в течение сотен часов, хотя, опять же, такое преимущество для обычного домашнего кинотеатра практически не требуется. Также стоит отметить, что подобная технология проецирования изображения более чем испытана временем, ведь её история насчитывает около пятидесяти лет, а, значит, все возможные сложности производства и эксплуатации были давно уже преодолены.

К сожалению, несмотря на все усилия, яркость демонстрируемого изображения нельзя назвать рекордной. Кроме того, такие проекторы не очень подходят для формирования статических изображений, поскольку люминофор, покрывающий внутреннюю поверхность кинескопа, имеет тенденцию выгорать со временем, а неподвижные картинки, формируемые в течение длительного времени, оставляют фантомные следы, достаточно заметные на других изображениях. Также стоит отметить, что довольно сложная система совмещения трёх базовых сигналов требует периодической калибровки.

Учитывая, что современные технологии воспроизведения изображений больших форматов, подгоняемые модой на объёмную картинку и с введением стандартов сверхвысокой чёткости, развиваются с огромной скоростью, ЭЛТ-проекторы на фоне нынешних моделей выглядят эдакими динозаврами: такие же огромные, тяжёлые и дорогие.

Так проектор Varco Cine 6 (1000 ANSI люмен) стоит около \$10 000, а проектор CineMax (1250 ANSI люмен) – более \$50 000. Вес проекторов составляет от десятков до ста килограмм, так что их можно использовать только в качестве стационарных. Зато электронно-лучевые трубки служат значительно дольше, чем любые типы ламп.

### **Жидкокристаллическая просветная технология (LCD – Liquid Crystal Display)**

Принцип действия проекционных LCD-аппаратов заключается в том, что изображение, проецируемое на внешний экран, формируется при прохождении излучаемого лампой светового потока через жидкокристаллическую панель, состоящую из множества электрически управляемых элементов – пикселей. Прозрачность каждого такого элемента изменяется в зависимости от величины приложенного к нему переменного напряжения, а следовательно, и уровня освещенности участка экрана, на который проецируется данный пиксель.

Для трехматричной системы (3LCD) характерно разделение спектра света лампы на цветовые составляющие красного, зеленого и синего цветов, которые затем и формируют цветное изображение, проходя каждый через «свою» матрицу.

Если описывать технологию простыми словами, то получается, что свет от лампы проектора попадает на первое дихроичное зеркало, где разделяется на красную и зелено-синюю составляющую, последняя затем на полупрозрачном зеркале разлагается на зеленую и синюю. Таким образом, исходный спектр

лампы раскладывается на три базовых цветовых компонента. После отражения от зеркал каждый из них проходит через ЖК-матрицу, формирующую нужное для него изображение. Потом эти компоненты собираются призмой в единый пучок.

Такая схема обладает рядом преимуществ относительно использования одной цветной матрицы: более точная цветопередача, высокая контрастность и четкость картинки, большая яркость изображения при той же мощности лампы.

Сложная структура новейших ЖК-панелей, используемых в 3LCD-проекторах, позволяет точно воспроизводить 24-битный цвет (всего 16,7 млн. цветов), создавая плавные и незаметные цветовые переходы.

Кроме того, в 3LCD-проекторах нет движущихся механических частей или вращающихся двигателей в системе управления светом, что гарантирует большую надежность системы в целом, так как чем меньше движущихся частей, тем меньше возможность возникновения неисправности.

Однако у 3LCD есть и свой недостаток – появление на экране сетки, различимой только с близкого расстояния, что обуславливается наличием непрозрачных промежутков между отдельными пикселями в жидкокристаллических матрицах. Однако с переходом на полисиликоновые матрицы с более плотной структурой пикселей и разрешением XGA и выше этот недостаток становится практически незаметным, а постоянное совершенствование алгоритмов формирования цветного изображения значительно улучшает его качество по сравнению с моделями более ранней разработки.

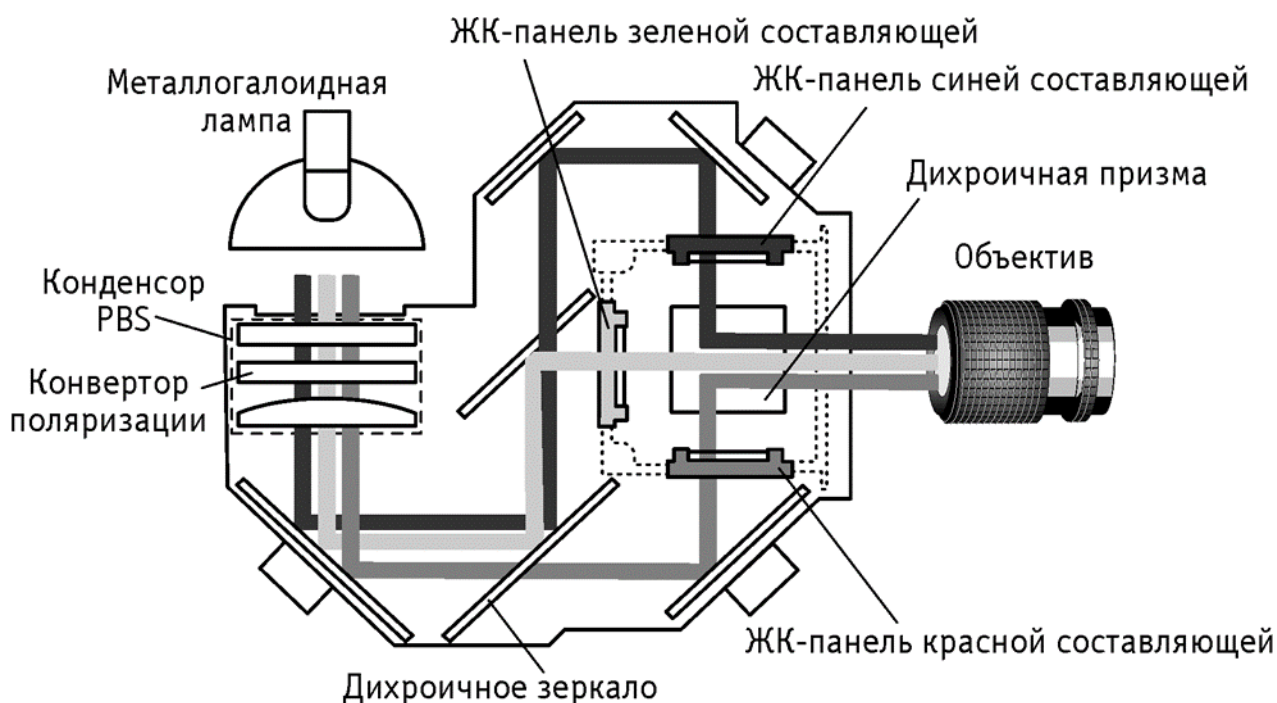


Рис. 9.23. Схема 3LCD-проектора

LCD-технология постоянно совершенствуется, создаются более компактные и легкие проекторы (к слову, уже анонсированный прототип сверхтонко-

го 3LCD-проектора весит всего 500 грамм и легко умещается в кармане). Новые неорганические ЖК-панели не теряют своих характеристик со временем – таким образом, срок службы проектора становится больше. А мультимедийные проекторы, построенные по 3LCD-технологии, естественным образом адаптированы к воспроизведению видеосигналов от компьютерных источников, а также сохраненных в цифровом формате видеофайлов. А окончательным аргументом в пользу большого и светлого будущего этой технологии выступает создание целого альянса 3LCD, в который кроме компании Epson вошли такие крупные мировые производители, как Fujitsu, Hitachi, Panasonic, Sanyo и Sony.

### **Жидкокристаллическая отражающая технология (LCoS)**

Ближайшим родственником принципа формирования изображения 3LCD является LCoS-технология, которая расшифровывается как Liquid Crystal on Silicon – «жидкий кристалл на кремнии». Итак, в чём же суть? Если говорить совсем просто, то световой поток модулируется жидкокристаллической матрицей, которая работает не на просвет, а на отражение.

Основу проекторов LCoS составляет так называемая отражательная (Reflective) жидкокристаллическая панель (R-ЖК-панель) (рис. 9.24).

Ее главное отличие от обычной жидкокристаллической матрицы состоит в том, что электроды, управляющие поляризацией ячеек, имеют квадратную форму и выполняют роль зеркал. За счет этого коэффициент отражения R-ЖК-панели для белого света достигает до 95%. По сравнению с обычной TFT-панелью, R-ЖК-панель обеспечивает более высокую яркость, четкость и контрастность изображения. Следует также учесть, что на R-ЖК-панель вместо аналогового видеосигнала подается цифровой сигнал, благодаря чему отпадает необходимость во встроенной проекционной системе. В результате существенно упрощается схема модулирующего устройства такого проектора.

Отражающие свойства матрицы определяются состоянием слоя жидких кристаллов, меняющегося под воздействием переменного электрического напряжения, которое формируется между отражающими пиксельными электродами и общим для всех пикселей прозрачным электродом. Подобные матрицы выдерживают существенное повышение температуры, что позволяет применять в проекторах, выполненных на их основе, мощные источники. На основе этого принципа формирования изображения было разработано несколько коммерческих технологий, причём каждая из них была запатентована. Одни из самых известных – это SXRD от компании Sony и D-ILA от JVC. Кстати, стоит отметить, что, несмотря на то, что обе из них активно используются и по сей день, точкой отсчёта следует считать далёкий 1972 год, когда был изобретён жидкокристаллический оптический модулятор. Технологией заинтересовались военные, и несколько лет спустя уже все командные центры ВМФ США были оснащены проекторами на основе этих устройств. Разумеется, это были полностью аналоговые аппараты и, кстати, в качестве источника изображения в них вы-

ступали электронно-лучевые трубки. Не стоит и говорить, что те проекторы были непомерно сложны и дороги.

При построении современных проекторов используются два варианта. В первом случае источником света выступают три мощных светодиода красного, зелёного и синего цветов, которые переключаются последовательно и с высокой скоростью, а на отражающей матрице синхронно формируются кадры для каждого потока. Во втором случае белый свет от лампы разделяется на составляющие непосредственно на матрице при помощи специального фильтра, а сам массив ячеек формирует уже полноцветное изображение. Подобные проекторы не получили широкого распространения по причине невысокого светового потока и сложности производства. Поэтому, как и в случае с просветными жидкокристаллическими панелями, наиболее успешной стала схема с тремя LCoS-матрицами.

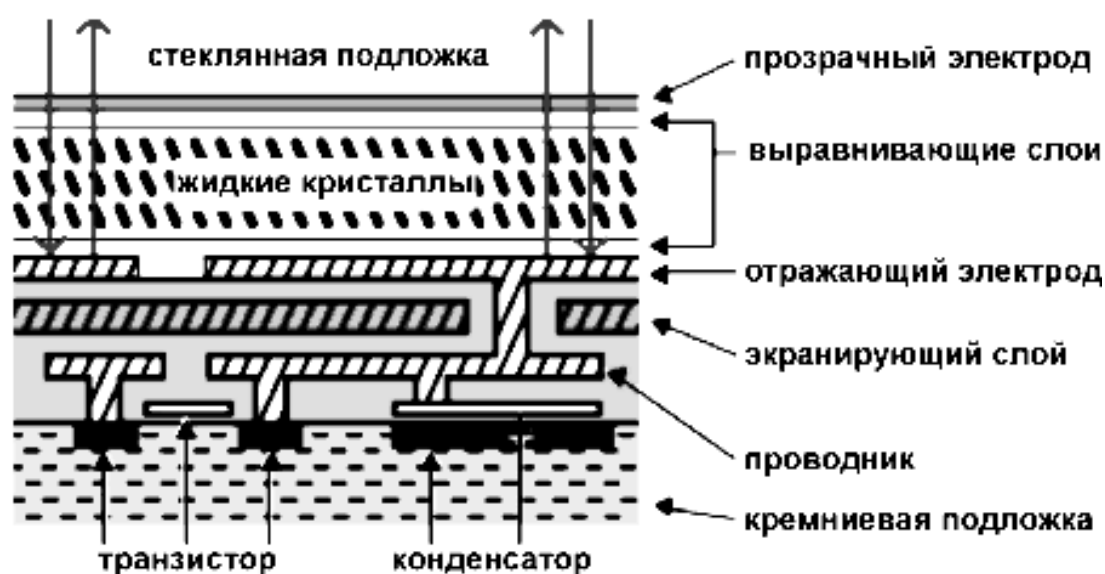


Рис. 9.24. Структура жидкокристаллической панели

Итак, свет от источника при помощи системы дихроичных и простых зеркал разделяется на три световых потока, соответствующих красному, зелёному и синему цвету. Далее каждый из них попадает на свою призму-поляризатор. Затем потоки направляются на отражающие матрицы, модулируются, формируя цветовые компоненты для базовых каналов изображения, проходят обратно через призму-поляризатор и сводятся вместе в дихроичной призме. Полученная картинка проецируется через объектив на экран.

Достоинствами этой технологии можно с уверенностью назвать замечательное качество изображения, высокую яркость и контрастность картинки, а также возможность проецирования изображений очень больших форматов. Также стоит отметить, что особенности производства отражающих матриц позволяют располагать управляющие проводники и электронику за отражающим слоем, значит, площадь покрытия пикселей гораздо больше. Иными словами, изображение выглядит гораздо более однородным, чем в случае с просветными



панелями. Кроме того, управление массивом точек в проекторах компании JVC реализовано при помощи аналоговых сигналов, что позволяет получить более плавные градиенты. А технология производства, помимо всего прочего, позволяет создавать матрицы с очень высоким разрешением, что, безусловно, будет очень актуальным в свете внедрения стандартов изображения 4К.

Что касается недостатков, то в первую очередь стоит упомянуть весьма высокую цену. Позволить такой проектор могут себе лишь весьма обеспеченные пользователи. Кроме того, такие устройства нельзя назвать компактными и лёгкими, поэтому использовать их в мобильных презентациях вряд ли получится. Их удел – большие и средние залы.

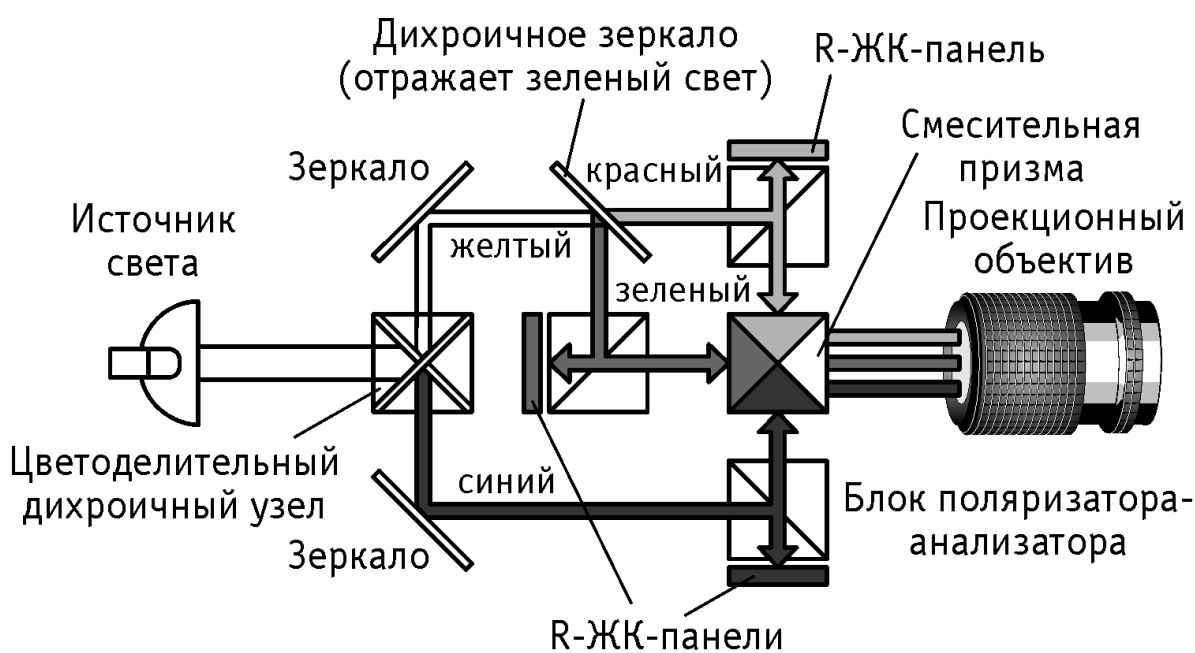


Рис. 9.25. Схема технологии D-ILA

### Микрозеркальная технология (DLP)

Четвертым, и наиболее активным игроком на рынке современных проекционных устройств, можно с уверенностью назвать DLP-технологии, которая так же, как и LCoS, работает по отражающему принципу. Её название – это аббревиатура от Digital Light Processing, что можно перевести как «цифровая обработка света». В основе этой технологии лежит специальная микроэлектромеханическая система, которая представляет собой крошечное зеркало, за положение которого отвечает столь же миниатюрная механика, управляемая при помощи электрических сигналов. Зеркало может находиться в двух положениях. В первом случае оно отражает свет, который после прохождения всего тракта формирует точку на экране. Во втором положении свет попадает на специальное светопоглощающее устройство. Стоит отметить, что благодаря очень маленькому размеру зеркало может переключаться между двумя состояниями очень быстро. Поскольку принцип работы и управления схож с бинарным (све-

та нет – логический ноль, свет есть – логическая единица), то устройства такого типа считаются цифровыми.

Для того чтобы формировать изображение, понадобится целый массив таких микрозеркал вместе с управляющей механикой, поэтому был разработан специальный микрочип, который называется DMD или Digital Micro Device – «Цифровое микроустройство».

Стоит отметить, что эта технология была разработана компанией Texas Instrumens ещё в 1987 году, и по сей день DMD-матрицы выпускаются только этой фирмой. Кстати, первый коммерческий образец проекционного устройства на основе DLP был представлен лишь в 1996 году.

Существуют две основные схемы, представленные на рынке: одночиповая и трёхчиповая. Первая – более дешёвая и, соответственно, более популярная, а вторая – более дорогая и менее распространённая.

Схема с одним DMD-чипом (рис. 9.26) работает следующим образом. Свет от источника проходит через быстро вращающееся прозрачное колесо, которое разделено на несколько цветных сегментов. В первом приближении это красный, зелёный и синий цвета. Далее окрашенный световой пучок проецируется на DMD-чип, строго синхронизированный с диском, на котором микрозеркала уже сформировали кадр для данного цвета. Отражённый поток проецируется через объектив на экран. Поскольку, как уже упоминалось, для каждого микрозеркала возможно только одно из двух положений, то оттенки цветов формируются за счёт времени, которое каждое микрозеркало проводит в состоянии отражения. А всё остальное делает наше сознание и инерционность зрения, поэтому на экране мы видим не отдельные цвета, а плавно изменяющееся изображение.

Основными достоинствами такой схемы на сегодняшний день являются высокая яркость и отличная контрастность изображения. За счёт конструкции DMD-чипов DLP-устройства также отличаются невиданным временем отклика. Поскольку здесь работает принцип отражения, то эффективность использования светового потока в таких проекторах очень высока, а, значит, для получения необходимых значений яркости требуются лампы меньшей мощности. В связи с этим сокращается энергопотребление, а также шум активной системы охлаждения. Стоит также отметить, что DMD-чипы длительное время сохраняют свои первоначальные характеристики. Кроме того, благодаря простоте конструкции такие устройства, как правило, отличаются относительно невысокой ценой и компактностью габаритов. По однородности изображения и заметности пикселей на экране DLP-технология находится как раз между 3LCD и LCoS.

Что касается недостатков, то они тоже достаточно весомые. В первых моделях проекторов цветное колесо вращалось со скоростью до 3600 оборотов в минуту, поэтому скорость вывода отдельных изображений на экран, с одной стороны, была весьма высокой, а с другой – всё же недостаточной. Из-за этого зритель периодически мог наблюдать так называемый «эффект радуги». Его суть состоит в том, что если на экране отображался яркий объект на тёмном фоне, а взгляд быстро переводился с одного края кадра на другой, то этот яркий

объект распадался на красные, синие и зелёные «фантомы». Причём в фильмах таких сцен хватало, и дискомфорт от просмотра также был ощутимым.

Для уменьшения его влияния разработчики начали раскручивать цветное колесо и увеличивать количество сегментов на диске. Сначала были всё те же красные, зелёные и синие сегменты, но затем их стало шесть, и располагались они уже напротив друг друга. Таким образом частота выводимых кадров удваивалась, и «эффект радуги» становился менее заметным. Были варианты с добавлением сегментов промежуточных цветов, однако результат был практически таким же – менее заметно, но всё же присутствует.

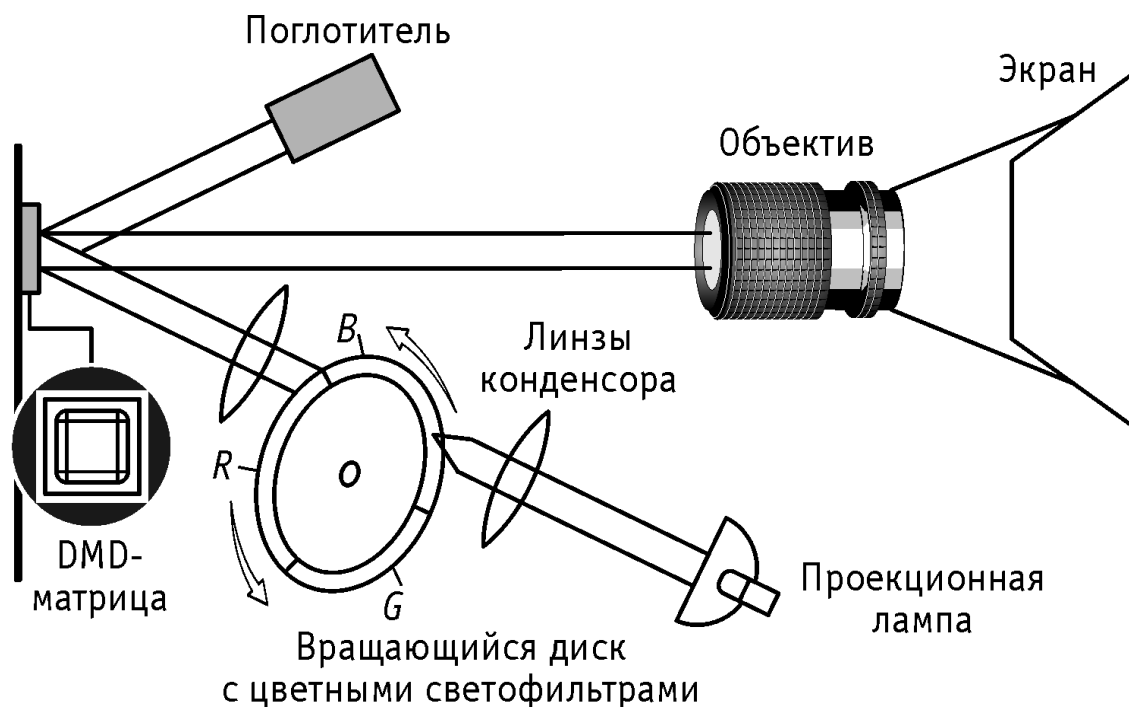


Рис. 9.26. Схема одночиповой технологии DLP

Кстати, отдельно стоит упомянуть проблему цвета и яркости в DLP-проекторах. Трёхсегментное колесо позволяло получить хорошую цветопередачу, но всё же снижало яркость, поэтому к нему начали добавлять ничем не окрашенный участок. Это позволило увеличить световой поток, но привело к выбеленным цветам с малым количеством градаций. Тогда Texas Instruments создала технологию Brilliant Color (с тем самым шестисегментным диском с дополнительными промежуточными цветами), которая и помогла исправить положение. В настоящий момент на рынке присутствуют модели с количеством отдельных сегментов на цветовом колесе, достигающим семи.

Справедливости ради стоит сказать, что существуют и двухчиповые DLP-проекторы, которые также используют цветное колесо для разделения света на две составляющие, которые представляют собой смеси красного с зелёным и красного с синим цветом. При помощи системы призм происходит выделение красной составляющей, которая направляется на один из микрозеркальных массивов. Зелёная и синяя компоненты попеременно проецируются на другой чип. Далее две DMD-матрицы модулируют соответствующие лучи, таким обра-

зом кадр красного цвета проецируется на экран постоянно, что позволяет компенсировать недостаточную интенсивность соответствующей части спектра излучения лампы. Стоит отметить, что при увеличении стоимости (за счёт использования двух микрзеркальных чипов), подобная схема полностью не решала проблему «эффекта радуги», и широкого распространения не получила. Поэтому производителям не оставалось ничего другого, кроме использования конструкции с тремя микрзеркальными чипами.

В трёхматричных проекторах (рис. 9.27) световой поток от источника света разделяется на три составляющих при помощи массива специальных призм. Затем каждый луч направляется на соответствующую микрзеркальную панель, модулируется и возвращается в призму, где происходит совмещение с другими цветовыми компонентами. Далее готовое полноцветное изображение проецируется на экран.

Достоинства такой схемы очевидны: высокая яркость и контрастность, низкое время отклика, отсутствие «эффекта радуги», что означает комфорт при просмотре. Опять же, высокая эффективность использования светового потока в таких проекторах позволяет применять лампы меньшей мощности, что, в свою очередь, снижает энергопотребление и шум активной системы охлаждения.

Основной недостаток тоже вполне очевиден: это цена. Стоимость одного DMD-чипа в отдельности весьма высока, а уж трёх – и подавно, поэтому трёхматричные модели в основном обслуживают средний сегмент домашних кинотеатров. Вторая трудность состоит в том, что из-за особенностей конструкции оптического тракта в DLP-проекторах крайне непросто сделать механический сдвиг линз, поэтому его можно встретить лишь в дорогих моделях.

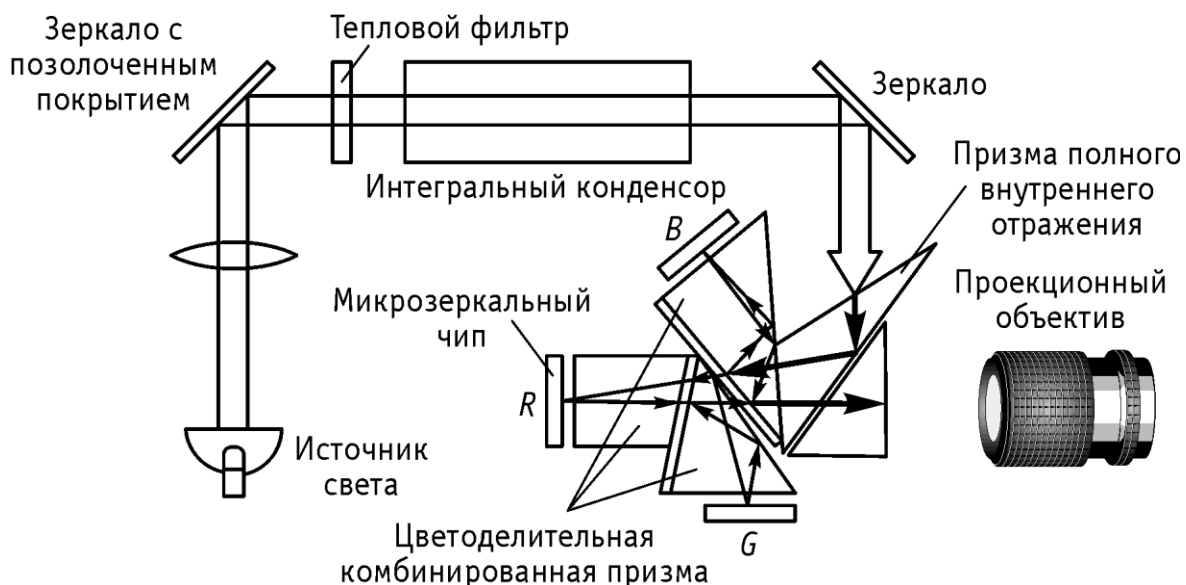


Рис. 9.27. Схема трёхчиповой технологии DLP

Возвращаясь к одночиповой схеме, стоит отметить, что современное развитие оптических полупроводниковых технологий и появление светодиодов и

лазеров синего и зелёного цветов позволило разработать модели, в которых отсутствует «эффект радуги». Самым простым вариантом стала замена газоразрядной лампы на три мощных светодиода основных цветов. Источники света могут включаться и выключаться очень быстро, поэтому такая схема позволила отказаться ещё и от цветового колеса, а также ещё больше увеличить скорость смены цветных кадров. Кроме того, удалось очень сильно уменьшить энергопотребление и габариты устройства, в том числе и за счёт более простой системы охлаждения. А меньшее тепловыделение так же положительно сказывается на работе всей электроники. Первый такой проектор появился в 2005 году и весил менее полукилограмма, при этом его светового потока было достаточно для проецирования изображения с диагональю 60 дюймов.

Следующим шагом стало использование в качестве источника света полупроводниковых лазеров. Дело в том, что применение таких источников считается весьма перспективным, благодаря отличным цветовым, временным и энергетическим характеристикам. Кроме того, свет, испускаемый лазерами, имеет ещё и круговую поляризацию, которую можно достаточно просто преобразовать в линейную и таким образом упростить конструкцию проекторов. Итак, источники когерентного излучения с длинами волн, соответствующими красному, зелёному и синему цвету, поочередно поступают на специальные дифракционные формирователи, которые обеспечивают равномерность света по всему сечению пучка. Затем, после совмещения системой дихроичных зеркал, каждый цветовой компонент проходит через оптический преобразователь, который превращает тонкий луч в широкий световой поток. Массив микрозеркал модулирует падающий свет, и полученное изображение соответствующего цвета проецируется на экран.

Самым значительным улучшением таких схем можно считать отсутствие эффекта радуги, а также замечательные результаты по цветопередаче, яркости и контрастности. Применение полупроводниковых светодиодов и лазеров в качестве источника света в проекторах позволило не только заметно снизить энергопотребление, но ещё и значительно увеличить ресурс проектора. Производители заявляют о среднем времени наработки на отказ от 10000 до 20000 часов. Кроме того, яркость источника остаётся постоянной в течение всего времени эксплуатации. Правда, доступны подобные устройства пока далеко не всем: цена инновационного продукта по-прежнему на весьма высоком уровне.

Добавим, что на рынке можно встретить модели, которые используют в качестве источника света одновременно и лазеры, и светодиоды. Если быть совсем точными, то лазер всего один – синего цвета, который, однако, отвечает за зелёную составляющую. Как такое возможно? Дело в том, что синий лазер светит на специальную пластину, покрытую люминофором, которая начинает светиться зелёным светом. Красную и синюю составляющие изображения формируют соответствующие светодиоды. Ну а дальше всё как обычно: свет с различной длиной волны попадает поочередно на DMD-чип, а затем выводится на экран.

Кроме того, у этой схемы есть вариации с цветовым колесом, но не светным, а покрытым люминофором. В первом случае красный цвет формирует светодиод, а зелёный и синий – голубой лазер, который направлен на вращающийся диск с двумя видами люминофора, которые поочередно светятся синим и зелёным светом. Во втором варианте красный светодиод отсутствует, а все три цвета формируются лазером и цветовым колесом с тремя разными люминофорами. Дело в том, что люминофор позволяет избежать так называемого пятнистого шума, а применение лазера – достичь очень насыщенных оттенков.

### **Лазерная технология (LDT)**

Ранее мы рассмотрели наиболее популярные в настоящее время технологии, широко представленные на рынке. Теперь настала пора познакомиться с совсем уж экзотическим способом формирования изображения.

В разделе про DLP-проекторы мы рассмотрели применение полупроводниковых лазеров в качестве источника света. А что если сами лазерные лучи будут формировать изображение непосредственно на экране? Этот вопрос волнует человечество уже не первое десятилетие, однако ответ на него был получен в 1991 году, после того, как была изобретена технология LDT или Laser Display Technology, что переводится как «Технология Лазерного Отображения». Рабочий прототип был представлен в 1997 году, а серийный – в 1999 году. Итак, чем же примечателен физический принцип, основанный на применении лазеров?

Прежде чем ответить на этот вопрос, стоит понять, зачем вообще понадобилось разрабатывать такую технологию. Дело в том, что проекционные устройства 90-х годов прошлого века были недостаточно хороши для воспроизведения очень ярких и при этом очень контрастных изображений с высоким разрешением. Лазеры в силу своих физических особенностей могли исправить положение.

Стоит отметить, что попытки использования когерентных источников света для формирования изображения предпринимались достаточно давно, начиная с 60-х годов. Причём первоначальная идея заключалась в том, чтобы заменить в электронно-лучевой трубке пучок электронов на лазерный луч. В этом случае конструкция значительно упрощалась, а цветопередача улучшалась. Однако в то время оказалось невозможным преодолеть некоторые технические трудности, такие, как создание лазеров, работающих при комнатной температуре, а также системы отклонения луча. Кстати, подобные работы велись и в СССР. Развитие полупроводниковых и микроэлектронных технологий позволило преодолеть вышеуказанные трудности и создать LDT-проектор, однако до массового внедрения таких устройств по-прежнему очень далеко.

Итак, как работает технология LDT? Система построена на использовании трёх лазеров базовых цветов, которые модулируются по амплитуде электрооптическими устройствами. При помощи специальной системы полупрозрачных зеркал лучи объединяются в один световой поток, который пока ещё

не является полноценной цветной картинкой. Далее сигнал по оптическому кабелю поступает на оптико-механическую систему развёртки изображения. Кадр строится по тому же принципу, что и в телевизоре, – по строкам: слева направо и сверху вниз. Развёртка изображения по одной оси осуществляется при помощи специального вращающегося барабана с двадцатью пятью специальными зеркалами, а по другой – путём отклонения луча качающимся отражателем. Стоит отметить, что лазер способен описывать на экране 48000 строк или 50 кадров в секунду, а скорость перемещения точки на экране достигает 90 км/с! Такая скорость для нашего довольно инерционного восприятия, разумеется, очень велика, что и позволяет видеть на экране плавно меняющееся изображение. После развёртки световой сигнал поступает на систему фокусировки, которая объединена с отклоняющими устройствами в проекционную головку, которая объединена с отклоняющими устройствами в проекционную головку.

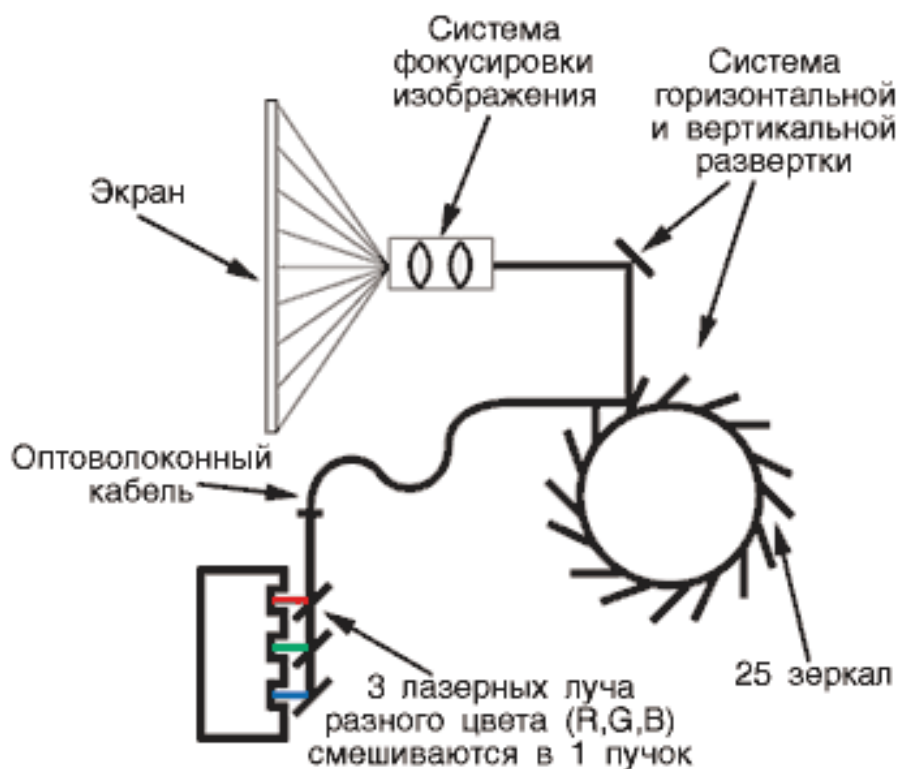


Рис. 9.30. Схема лазерной технологии LDT

Кстати, одной из особенностей системы является то, что источник света может быть удалён от проецирующего устройства на расстояние около 30 метров, что, в свою очередь, означает возможность применения очень мощных лазеров, требующих специальных систем охлаждения, а значит, – получения изображения огромной яркости.

Какими преимуществами обладает подобный принцип формирования проекции? Во-первых, как уже было сказано, это большая яркость изображения и, как следствие, возможность проецировать картинку площадью в несколько сотен квадратных метров. Кроме того, её можно проецировать не просто на плоскость, а вообще на всё, что угодно, – и изображение будет оставаться резким в каждой точке! А всё благодаря лазерам: именно они позволяют из-

бавиться от сложной системы сведения и фокусировки лучей. Более того, все остальные преимущества также обусловлены физической природой когерентного излучения.

Например, лазеры очень слабо рассеиваются, поэтому создаваемое изображение имеет очень высокую контрастность, в четыре раза превышающую возможности человеческого зрения! Кроме того, поскольку лазеры обладают высокой монохроматичностью, то картинка ещё и обладает расширенным цветовым охватом и высокой насыщенностью. Помимо этого, время работы источников излучения – десятки тысяч часов, поэтому никакие традиционные газоразрядные лампы не в состоянии полноценно конкурировать с ними. То же самое можно сказать и про энергопотребление.

Ну и самым главным достоинством лазерных проекторов является их способность создавать изображения до нескольких десятков метров.

Технология LDT ещё очень молода и не лишена некоторых недостатков. Например, всё та же цветопередача. Для окраски каждого луча применяются специальные кристаллы, которые меняют длину волны, поэтому добиться точного соответствия совсем не просто. Разработчики занимаются этим вопросом, но пока он достаточно актуален. Размеры устройства совсем не маленькие, поэтому мобильность такого проектора под силу только специальной бригаде. Ну и, пожалуй, главный недостаток технологии – это огромная цена, что в принципе неудивительно, поскольку этот продукт ещё очень далек до звания массового. Поэтому в настоящее время технология LDT может заинтересовать лишь крупные компании, которые специализируются на концертной деятельности, крупных световых шоу, а также инсталляциях для серьёзных конференций.

### **3D-проекторы**

Интерес к проецированию объёмной картинки занимает человечество практически со времен изобретения кинематографа. Вариантов реализации было предложено множество, но базовый принцип всегда оставался неизменным: для каждого глаза должно быть сформировано своё изображение.

К сожалению, разработчикам не удалось договориться о некоем едином формате, поэтому в настоящий момент на рынке главенствуют две основные технологии: поляризационная и затворная. Первая основана на разделении картинок при помощи поляризаторов. Вначале коммерческое воплощение этой идеи использовало линейную поляризацию, причём плоскости направления волн для каждого глаза были взаимно перпендикулярны. На практике всё было реализовано следующим образом. При помощи двух проекторов на экран проецируются два изображения, поляризованные для каждого глаза, специальные очки разделяют картинки, и зритель воспринимает объекты на экране как объёмные. Недостатков у такого способа формирования было несколько: необходимость использования двух проекторов, а также специального экрана, который имел повышенную отражающую способность и не менял направление поляризации. Кроме того, зрителю всегда приходилось держать голову прямо для



того, чтобы эффект трёхмерности не пропадал. Следующим шагом в развитии этой технологии была замена линейной поляризации на круговую, а также проецирование кадров для каждого глаза попеременно при помощи только одного устройства. Такой подход позволил держать голову во время просмотра произвольно, однако привёл к потере половины светового потока. Поляризационная технология при всех своих достоинствах практически не используется в домашних кинотеатрах, а применяется в основном в профессиональной сфере.

Второй вариант получения трёхмерного изображения основан на разделении кадров для каждого глаза при помощи специальных очков. Вместо линз в активных очках применяются специальные ЖК-матрицы, которые синхронизированы с проектором и перекрывают световой поток таким образом, что каждый глаз видит только предназначенные для него изображения. Поскольку, как мы уже говорили, наше восприятие достаточно инерционно, потоки воспринимаются непрерывно и складываются в единую трёхмерную картинку. Именно эта технология в настоящее время наиболее активно применяется в домашних кинотеатрах, правда, справедливости ради стоит отметить, что и в профессиональной среде она тоже достаточно популярна.

Итак, процесс получения объёмного изображения понятен, осталось разобраться, какие проекторы позволяют воспроизводить такую картинку. На современном этапе развития проекционных технологий получение трёхмерного изображения удалось реализовать на основе LCD, DLP и LCoS-систем. Правда, учитывая, что затворный способ используется в домашнем кинотеатре совсем недавно, разработчикам ещё предстоит решить много вопросов. Например, быстродействие ЖК-матриц пока не в полной мере отвечает запросам по скорости обновления и отклика.

### **Некоторые выводы**

Итак, мы познакомились с основными проекционными технологиями формирования изображения, а также рассмотрели их особенности, достоинства и недостатки. Ещё десять лет назад проекторы были весьма экзотическими средствами отображения, которые только начинали массовое наступление на сферу домашнего применения. За эти годы качество изображения достигло очень высокого уровня, многие технологические недостатки ранних моделей преодолены, а разнообразие устройств позволяет подобрать проектор на свой вкус за весьма приемлемые деньги. Даже внезапно возникшая мода на трёхмерное изображение тут же нашла отражение в выпускаемых моделях.

На сегодняшний день ситуация выглядит следующим образом. Наиболее распространённой технологией можно с уверенностью считать DLP. Проекторы, построенные на микрозеркальных панелях, встречаются как в недорогом сегменте, так и в среднем. Кроме того, эта технология является ещё и весьма перспективной, причём по нескольким причинам. Во-первых, внедрение светодиодных и лазерных источников света поможет создать массовые проекционные устройства, которые будут весьма миниатюрными и низкопотребляющими,

с большим световым потоком, отличной контрастностью, замечательным цветовым охватом и большим сроком службы. А, во-вторых, высокое быстродействие таких панелей создает великолепные возможности для внедрения высокоскоростных способов формирования трёхмерного изображения.

Самым ближайшим конкурентом DLP является технология 3LCD. Несмотря на то, что эта схема не нова, она по-прежнему весьма популярна и в дорогих проекторах, и в устройствах средней ценовой категории. Более того, несмотря на заложенные ограничения, например, по контрасту и по размеру расстояния между пикселями, каждое новое поколение матриц не перестает удивлять отличными результатами. Так что на сегодняшний день технологический предел возможностей этого способа формирования изображения ещё не достигнут.

Технология жидких кристаллов на кремнии на сегодняшний день является одной из самых качественных по параметрам картинке, однако и одной из самых дорогих, поэтому такие проекторы используются только в устройствах высшего уровня. Тем не менее, такие модели становятся доступнее с каждым годом и даже появляются в среднем ценовом сегменте, однако по этому параметру им до DLP- и LCD-проекторов пока очень далеко.

Периодически возникает вопрос возможного влияния проецируемого изображения на здоровье человека. Считается, что картинка, формируемая при помощи технологий 3LCD и LCoS, не имеет каких-либо отрицательных аспектов, поскольку транслируется на экран в сведённом виде, в то время как DLP с одним микрзеркальным чипом последовательно формирует три разноцветных изображения с высокой скоростью. Кстати, некоторые исследования показывают, что частоты смены кадров 180 Гц недостаточно для полного исключения «эффекта радуги» и связанной с ним утомляемости зрения во время длительного просмотра.

Что касается перспектив развития проекционной техники, то очень большие надежды связаны с внедрением полупроводниковых источников света, таких как светодиоды и лазеры, причём не только в сфере домашнего кинотеатра, но и в области профессиональной техники для концертов и световых шоу. Мы уже рассказывали о преимуществах, которые даёт эта технология, поэтому стоит сказать пару слов о возможных последствиях. Пока что способ формирования картинки при помощи лазерных лучей не только весьма перспективен, но и очень молод, а значит, нет практически никаких данных о возможном влиянии на здоровье человека. Тем не менее, давно известно, что лазерный луч мощностью излучения в 1 мВт может быть опасен для зрения, а, значит, при использовании такой техники должно быть полностью исключена возможность попадания прямого светового потока на зрителей. В общем, вопрос безопасности еще предстоит исследовать.

Возможно, в ближайшем будущем все усилия производителей проекционной техники могут оказаться напрасными, поскольку, как это ни парадоксально, основным конкурентом на рынке домашних кинотеатров может стать OLED-технология. Судите сами: уже сегодня никого не удивишь ЖК-

телевизорами с диагональю 1,5 метра, а модели-рекордсмены и вовсе демонстрируют картинку более 2,7 метров, при том, что средние размеры изображения в домашнем кинотеатре как раз и составляют около 3...4 метров по диагонали. Уже сейчас есть коммерческие образцы моделей OLED-телевизоров на основе гибких подложек, которые позволяют производить не только плоские, но даже вогнутые экраны.

## ГЛАВА 10. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРИНТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Постоянно мы распечатываем на работе или дома всевозможные документы от фотографий до текстов. Просто отсылаем документ на печать, а потом забираем его из принтера. А вы не задумывались, каким образом всевозможные принтеры наносят изображения и тексты на бумагу? Струйные, лазерные, матричные устройства все они работают по-разному, у каждого есть свои плюсы и минусы. Давайте разберемся, в разных технологиях печати.

А так ли сложно разобраться в способах печати? Много ли их? На самом деле, основных, то есть тех, которые используются повсеместно и непрерывно, всего лишь две: офисная и домашняя. Пугает градация? Тогда обозначим более формально: офисная в 99 процентах случаев оказывается лазерной печатью, домашняя струйной. Конечно, есть и исключения, о них поговорим подробнее при описании каждого метода печати.

Зачем нам все это знать? Дело в том, что мы привыкли выбирать принтеры по своим привычкам – был у меня всю жизнь струйный аппарат компании N, вот и куплю такой же, только посвежее. Согласитесь, такой подход к выбору техники не всегда логичен – принтер не холодильник, он устроен гораздо сложнее, да и возможности у разных моделей различны.

### 10.1. Типы принтеров

Существует пять основных типов принтеров, которые отличаются по способу нанесения изображения и материалу, который они используют в качестве краски.

- Первый и самый древний из них – матричный тип. Такие принтеры практически изжили себя, они громоздкие, печатают громко, медленно, а главное – только одним цветом. Использовать их можно исключительно для печати текстовых документов. Однако расходные материалы для них крайне дешевы, что позволяет использовать эти аппараты в офисах для заполнения различных форм и справок.

- Лазерные принтеры – довольно распространенный тип принтеров. В качестве краски такие устройства используют мелкий порошок – тонер. Такие принтеры могут печатать на любых типах бумаги, включая дизайнерский картон, самоклеющуюся и прозрачную пленку. Оттиски, сделанные лазерными принтерами, отличаются высоким качеством и долговечностью. Тонер не выгорает на солнце и не смывается водой. Идеально такие принтеры подходят для

печати мелкого текста и тонких линий, а вот фотографии получаются неестественными и «плоскими». Еще один положительный момент – это скорость печати. Здесь с лазерниками не сравнится ничто. Однако стоят такие аппараты, как, впрочем, и их обслуживание, довольно дорого.

- Струйная печать – это технология получения изображения при помощи микроскопических капель чернил, распыляемых печатающей головкой принтера на бумагу. Технология струйной печати похожа на технологию матричной печати, так как и в первом и во втором случае изображение формируется по точкам. Только при матричной печати изображение наносится ударами иголок по красящей ленте, а при струйной – распылением чернил на бумагу печатающей головкой.

- Термические принтеры – цветные принтеры высокого класса – применяются для получения цветного изображения с качеством, близким к фотографическому. В термических принтерах используют три технологии цветной термопечати: струйный перенос расплавленного красителя (термопластичная печать); контактный перенос расплавленного красителя (термовосковая печать) и термоперенос красителя (сублимационная печать).

- 3D-принтеры. 3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта.

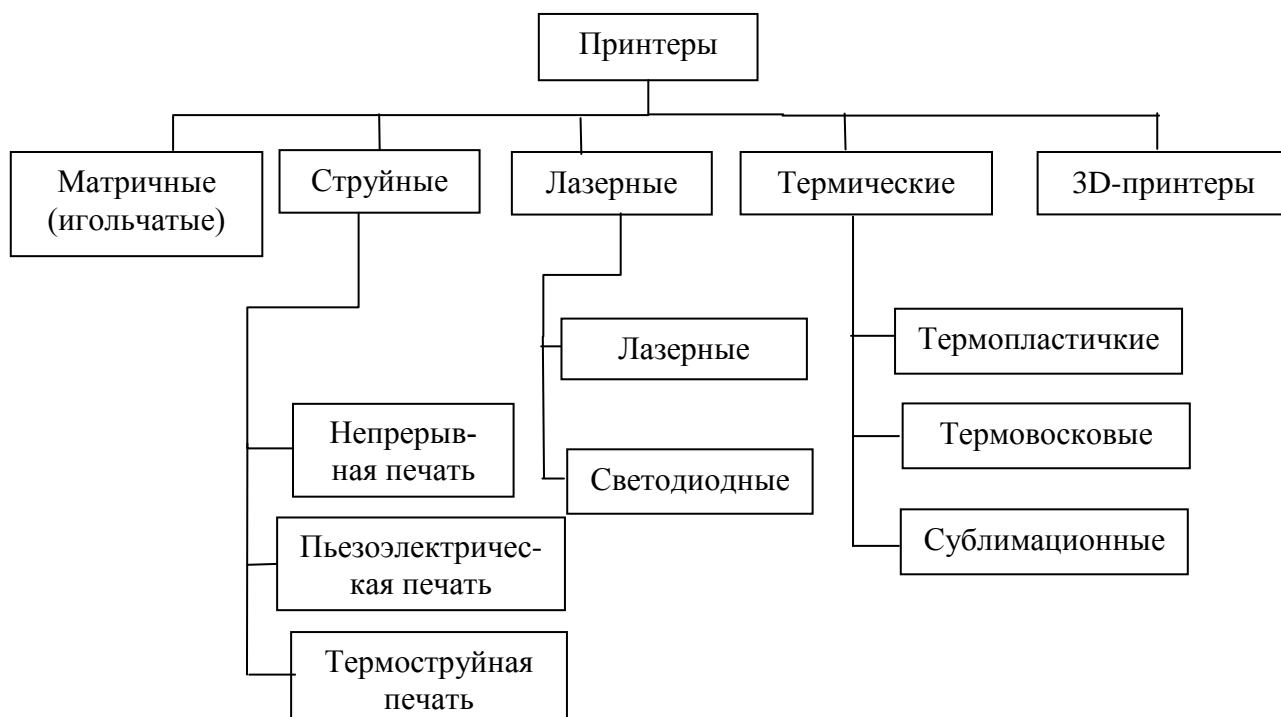


Рис. 10.1. Классификация принтеров

## 10.2. Лазерные технологии печати

В основе работы лазерного принтера лежит процесс сухой ксерографии, который, в свою очередь, базируется на электростатической фотографии. В

конце 1930-х гг. Честер Карлсон (Chester Carlson), аспирант-физик Калифорнийского технологического института, работая в патентном отделе одной из крупных американских корпораций, столкнулся с проблемой получения достаточного количества копий патентных материалов. В то время существовали только два способа копирования: фотографирование и ручная перепечатка текста на пишущей машинке с ручной же перерисовкой иллюстраций, нередко довольно сложных.

Зная о способности некоторых веществ, таких, например, как селен, накапливать электрический заряд и разряжаться под действием света, Карлсон попытался использовать это явление для переноса изображения с одного листа бумаги на другой. В 1938 г. ему это, наконец, удалось, и он запатентовал электрофотографический процесс, который впоследствии получил также название ксерографии (от греческого «ксеро» – сухой и «графо» – пишу).

В течение девяти последующих лет Карлсон безуспешно пытался заинтересовать своим изобретением крупнейшие компании, в числе которых были General Electric, Eastman Kodak, IBM, RCA, Rand. Наиболее типичным ответом ему было: «Зачем тратить деньги на разработку машины, которая будет делать то, что с успехом выполняет копировальная бумага?». И только в 1949 г. небольшая нью-йоркская компания Haloid взялась финансировать разработку коммерческого электрофотографического аппарата. Именно электрофотографический процесс назвали ксерографией, а фирма Haloid поменяла название на Xerox.

Технология лазерной печати строится на электрографическом принципе и включает в себя семь последовательных операций по созданию заданного изображения на листе бумаги. Это весьма интересный и технологичный процесс, который можно разделить на два основных этапа: нанесение изображения и его закрепление. Первый этап связан с работой картриджа, второй протекает в блоке термозакрепления (печке). В итоге за считанные секунды на белом листе бумаги мы получаем интересующее нас изображение.

Итак, что же происходит за столь короткий промежуток времени в принтере? Давайте в этом разберемся.

**Заряд.** Напомним, что тонер является мелкодисперсной субстанцией (5...30 микрон), и его частицы очень легко принимают любой электрический заряд.

В картридже ролик заряда обеспечивает равномерную передачу отрицательного заряда фотобарабану. Это происходит, когда ролик заряда прижимается к фотобарабану, и, вращаясь в одном направлении (при этом равномерно сообщая отрицательный статический заряд фотобарабану), заставляет его вращаться в другом. Раньше это делалось с помощью расположенных в непосредственной близости от него коронирующих электродов (тонких проволочек, находящихся под напряжением в несколько тысяч вольт, вокруг которых возникает коронный разряд). При коронном разряде расщепляется кислород и образуется озон, который в больших количествах считается вредным для здоровья. Но в новых принтерах озон практически не ощущается, и все запахи скорее исходят от расплавления тонера или выпаривания влаги из самой бумаги.

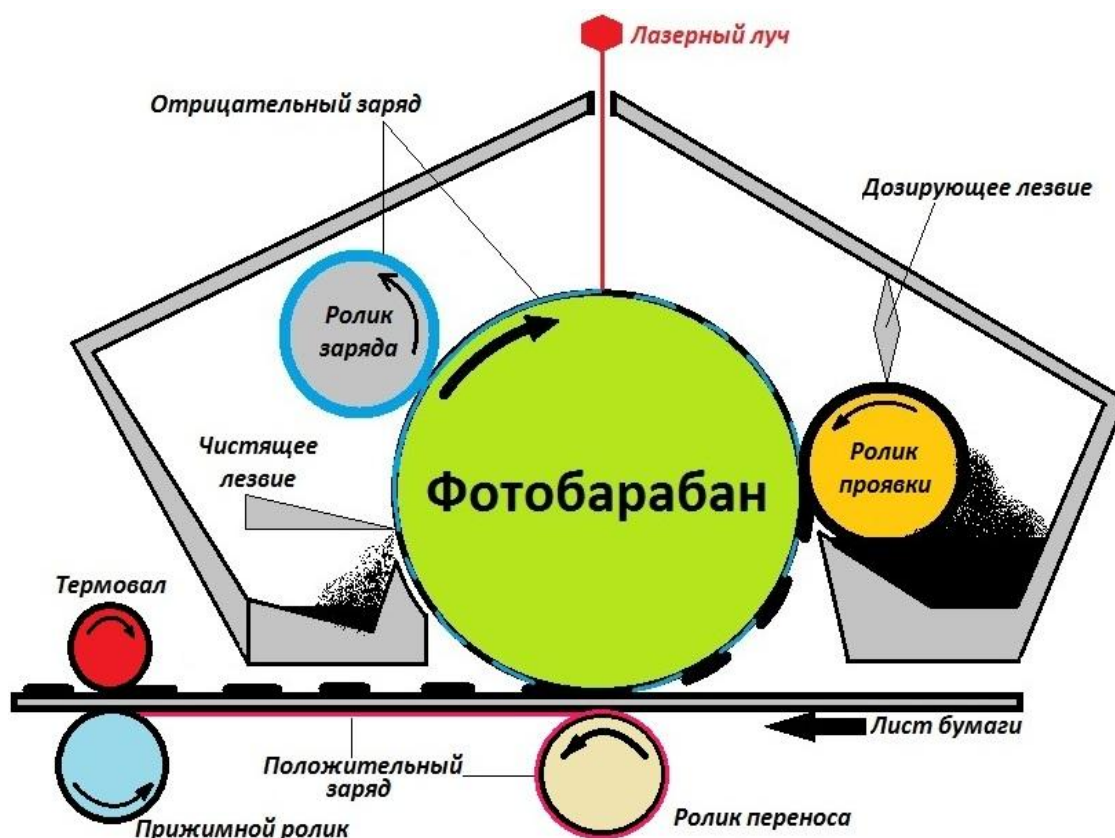


Рис.10.2. Принцип работы лазерного принтера

Сейчас большинство изготовителей лазерных печатающих механизмов используют для этого специальный валик, так называемый валик первичного заряда, которые контактным способом производят зарядку фотовала, а если нет воздушной прослойки, то отсутствует и ионизация воздуха.

Таким образом, поверхность фотобарабана имеет равномерно распределенный по площади отрицательный заряд.

Следует заметить, что процесс формирования изображения у различных производителей отличается, – полярность первичного заряда, а следовательно, и дальнейших действий, может быть противоположной.

**Экспонирование.** В следующем процессе происходит экспонирование будущего изображения на фотобарабане. Это происходит благодаря лазеру. Ла-

зерный луч при попадании на поверхность фотобарабана снимает в этом месте отрицательный заряд (точка становится нейтрально заряженной). Таким образом, лазерный луч формирует будущую картинку по заданным координатам, исключительно в тех местах, где это необходимо.

Так мы получаем экспонированную часть изображения в виде отрицательно заряженных точек на поверхности фотобарабана.

**Проявка.** Далее на экспонированное изображение на поверхности фотобарабана ровным тонким слоем с помощью ролика проявки наносится тонер. Частицы тонера принимают отрицательный заряд и формируют на поверхности барабана будущее изображение.

**Перенос.** Следующим этапом является перенос тонерного отрицательно заряженного изображения с фотобарабана на чистый лист бумаги.

Это происходит в результате соприкосновения ролика переноса изображения с листом бумаги (лист проходит между роликом переноса и фотобарабаном). Ролик переноса имеет высокий положительный потенциал, в результате чего все отрицательно заряженные частицы тонера (в виде сформированного изображения) переносятся на лист бумаги.

**Закрепление.** Закрепление выполняется сдавливанием листа с тонером между двумя валиками блока термического закрепления, в просторечии «печки». Верхний валик нагревается до высокой (100...300°C, в зависимости от материала тонера) температуры и расплавляет частицы тонера, а благодаря обеспечиваемому нижним (прижимным) валиком давлению расплавленный тонер проникает в структуру бумаги, образуя стойкое изображение. На рис. 10.2 вы видите термовал и прижимной ролик. Термовал используется в ряде аппаратов лазерного типа печати. Внутри термовала применяется галогеновая лампа, которая и осуществляет разогрев (нагревательный элемент).

Существует и другие модели аппаратов лазерного типа печати, где вместо термовала используется термопленка (как нагревательный элемент). Отличие между ними в том, что при работе галогенового нагревателя требуется больше времени. Стоит отметить тот факт, что аппараты с термопленкой весьма сильно подвержены механическим воздействиям посторонними предметами (скрепки, скобы от степлера) на листе бумаги. Это чревато выходом из строя самой термопленки.

**Очистка.** Оставшиеся на фотобарабане частицы тонера счищаются полиуретановым чистящим скребком и отправляются в емкость для неиспользованного тонера. Очистка барабана необходима, чтобы на странице не возникало «призрачных» изображений, создаваемых оставшимися от предыдущего прохода частицами тонера.

**Снятие заряда.** При последнем этапе вал фотобарабана соприкасается с роликом заряда. Это приводит к тому, что на поверхности барабана снова выравнивается «карта» отрицательного заряда (до этого момента на поверхности оставались как отрицательно заряженные места, так и нейтрально заряженные – они и были проекцией изображения). Таким образом, ролик заряда снова сообщает поверхности фотобарабана равномерно распределенный отрицательный

потенциал. Так заканчивается цикл печати одного листа, который на бумаге А4 занимает всего считанные секунды.

**Светодиодные принтеры.** Светодиодный принтер по принципу действия совсем недалеко ушел от лазерного, но технически значительно проще его (а следовательно, надежнее и, по логике, должен быть дешевле). «Под нож» был отправлен сам полупроводниковый лазер с системой зеркал и вращающейся призмой и схема развертки луча. Никуда не делся и фотобарабан, поскольку технологический принцип – сухой электростатический перенос – остался тем же. Устройства подачи бумаги, расплавления тонера, растривания изображения также принципиально не изменились.

Для засветки фотобарабана применяется матрица из нескольких тысяч сверхминиатюрных светодиодов, распаянных на узкой линейке, установленной на небольшом расстоянии от барабана. Количество светодиодов напрямую зависит от разрешения принтера и может достигать 1200 штук на дюйм.

Для того чтобы получить световые точки весьма малого размера (для полупроводниковых лазеров такой проблемы не существует в принципе), применяется оптическая система из кусочков оптоволокна, смонтированных аналогично светодиодам в матрицу, которая обеспечивает попадание света точно в необходимое место на фотобарабане. Благодаря тому, что источник света неподвижен и всегда расположен перпендикулярно поверхности фотобарабана, даже при более низком, чем у лазерного, разрешении LED-принтер производит более четкие отпечатки.

Светодиодный принтер в сравнении с лазерным имеет и более высокое быстродействие. Почему? Дело в конструкции. Схема развертки лазерного принтера должна была успевать прогнать луч по поверхности и повернуть фотобарабан так, чтобы переносимое изображение не было искаженным. При высокой скорости печати «благодаря» постстрочной обработке информации могут появиться геометрические неточности – наклон строк. Чтобы избавиться от них нужно либо снижать разрешение, либо ставить второй лазер со своей схемой развертки и распараллеливать задачи обоих источников света. Это экстенсивный путь, ведущий к дополнительным затратам и усложнению и так непростого устройства. В LED-принтерах конструктивно ограничений на скорость печати нет. Светодиоды имеют очень высокое быстродействие, матрица с ними расположена параллельно фотобарабану, а включить лишнюю тысячу светодиодов, повернув после этого вал, и зажечь другую группу светодиодов можно очень быстро.

А как же недостатки? В любом современном устройстве они есть, не стал исключением и светодиодный принтер. Существующими способами производства оказывается невозможно изготовить не то что две совершенно одинаковые LED-матрицы, а даже два отдельных светодиода, поэтому двух идентичных светодиодных принтеров не существует.

Тем временем две технологии, светодиодная и лазерная, существуют параллельно. Как это часто бывает, годами отработанный в деталях лазерный



принтер пока не собирается сходить со сцены и уступать место светодиодному собрату.

Если говорить о производителях LED-принтерах, первая компания, которая приходит на ум, – OKI. Эта японская фирма специализируется именно на светодиодных принтерах, являясь их самым известным производителем. Не все знают, но печатающие устройства с матричными светодиодами в основе выпускают и Xerox, и Panasonic, и Kyocera. Но производителей традиционных лазерных принтеров намного больше. Их устройства прочно заняли корпоративную нишу, и только время сможет показать, какая из технологий более конкурентоспособна. Не последнюю роль в распространении той или иной технологии играет цена конечного устройства, а монохромные лазерники сейчас подешевели просто до неприличия, и светодиодные собратья снова оказались в роли догоняющих.

Стоит вспомнить давнюю ошибку руководства OKI, которое, представляя новые принтеры в России, позиционировало их как «самые дешевые принтеры для работы», предлагая типично домашнюю модель принтера OkiPage 4W. При высоких нагрузках недорогой принтер с ресурсом 2500 листов в месяц отправлялся на тот свет очень быстро.

Не стоит забывать и о расходных материалах, прежде всего о тонере. Заботясь о качестве отпечатков, OKI еще в 1996 году для своих любимых светодиодных принтеров запатентовала так называемый сферический тонер. Микроскопическая частичка такого порошка представляет собой полимерную шарообразную оболочку, в которой заключено мягкое красящее содержимое. Когда такой тонер попадает в печку, «скорлупа» расплавляется и раздавливается. При этом тонер не «рассыпается» по поверхности бумаги, что отчетливо видно по плавным краям букв и на отпечатанных рисунках. Поскольку в нашей стране заправка принтеров производится в промышленных масштабах, никто в такие «мелочи» не вдавался, и картриджи LED-принтеров, особенно эксплуатируемые в офисах, засыпали обычным молотым порошком, что приводило не только к ухудшению качества печати, но и выходу из строя самих устройств, любящих сыпучий тонер. Попытка сэкономить не самым лучшим образом добила репутацию светодиодных принтеров, хотя, если пользоваться оригинальным тонером, ресурс LED-принтеров не хуже такового у лазерных, а стоимость отпечатка даже ниже. OKI, кстати говоря, дает пожизненную гарантию на свои устройства. В связи с бурным развитием светодиодных технологий и, как следствие, удешевлением полупроводниковых источников света, скорее всего, производство светодиодных принтеров в ближайшее время станет интенсифицироваться. Нет никаких видимых причин, кроме экономических, изготавливать технически более сложные устройства, когда управляющая электроника и светодиоды стоят так дешево. Применительно к нашей стране будущее светодиодных принтеров станет светлым только тогда, когда их покупка будет выгодна большим компаниям, а это, в свою очередь, произойдет только в том случае, если будет найдена отработанная система перезаправки картриджей с гаранти-

рованным снижением стоимости печати, не «убивающая» принтер столь быстро.

**Принципы работы цветной лазерной печати.** Все, что говорится о технологии черно-белой лазерной печати (использование принципа сухого электростатического переноса, процесс формирования изображения) вполне можно соотнести с тем, что происходит в цветных лазерных принтерах. Поэтому нет смысла еще раз останавливаться на этом. Рассмотрим только те технологические приемы и решения, которые используются именно для создания цветного изображения.

В создании любого цветного отпечатка используются четыре основных цвета: черный, желтый, пурпурный и голубой. В цветных лазерных принтерах, соответственно, установлено четыре картриджа. Для создания полноцветного изображения лазерный принтер формирует четыре изображения-полуфабриката. Каждое из них окрашено в свой цвет. Эти изображения накладываются друг на друга на бумаге и создают полноцветный отпечаток.

На сегодняшний день существуют две технологии создания цветного изображения: однопроходная и многопроходная.

▪ **Однопроходная технология печати.** Для использования однопроходной технологии в лазерном принтере должно быть четыре отдельных печатающих механизма. Они располагаются в один ряд и последовательно создают полноцветное изображение на бумаге за один проход. Бумага движется по «конвейеру» на транспортном ремне. Каждый из четырех фотобарабанов пропускает лист бумаги под собой и переносит на нее тонер. В результате на бумаге создается полноцветное изображение за один проход.

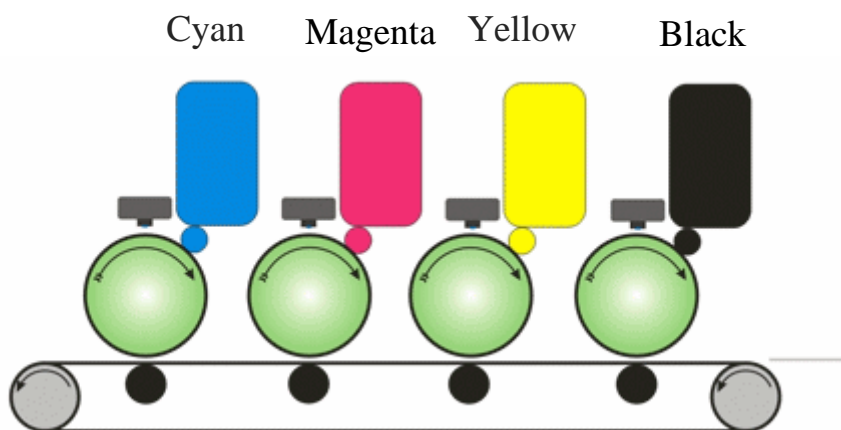


Рис. 10.3. Однопроходная технология печати

Фактически однопроходный принтер – это четыре монохромных лазерных принтера с одним общим блоком управления.

Главное преимущество однопроходных принтеров очевидно и вытекает из его конструкции: скорость цветной печати почти в четыре раза выше, чем многопроходного. Кроме того, учитывая прямое прохождение бумаги через печатающий механизм и отсутствие промежуточных носителей, появилась воз-

возможность использовать бумагу высокой плотности и большой длины. Это позволяет печатать баннеры длиной до одного метра.

Однопроходная технология позволяет увеличить и скорость черно-белой печати. Когда однопроходный цветной принтер печатает черно-белое изображение, «цветные» барабаны поднимаются над бумагой и не участвуют в этом процессе. «Черный» барабан при этом получает возможность вращаться быстрее.

Однопроходная технология получила свое развитие после того, как вместо довольно громоздких оптико-механических лазерных систем появилась возможность использовать светодиодные линейки. Недостатки однопроходных принтеров тоже очевидны: громоздкость (за счет четырех печатающих механизмов) и высокая цена.

▪ **Многопроходная технология печати.** При использовании многопроходной технологии для формирования цветного изображения используется промежуточный носитель (ремень переноса изображения). На него поочередно при каждом из четырех проходов принтера «наносится» изображение одного цвета. После того как все четыре изображения сформированы, полноцветная картинка переносится на бумагу обычным способом (как в черно-белом варианте).

Эта технология давно хорошо отлажена. Первые полноцветные копировальные аппараты и принтеры использовали именно такую технологию. В настоящее время она используется в самых дешевых и массовых моделях принтеров. Многопроходные лазерные принтеры отличаются высокой скоростью черно-белой печати и низкой себестоимостью черно-белых отпечатков.

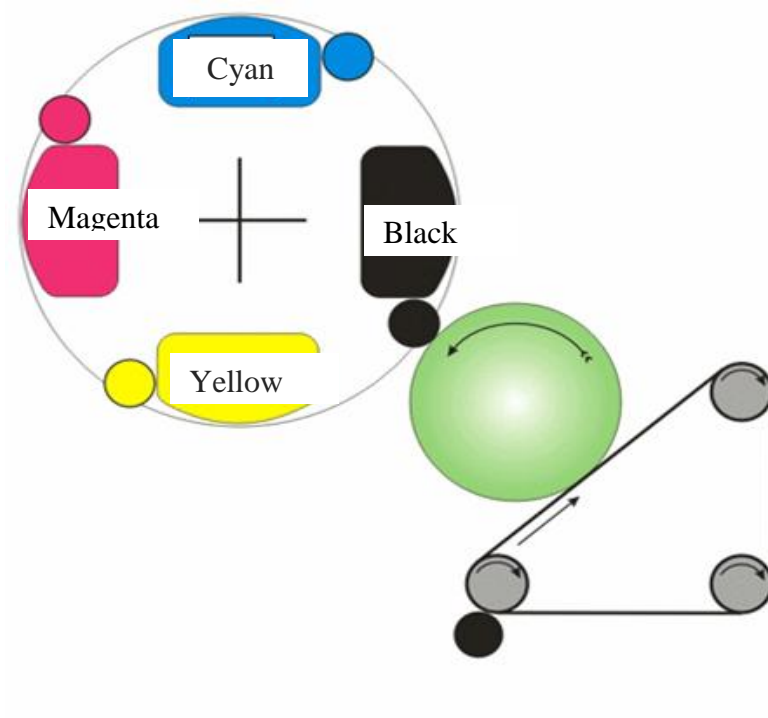


Рис. 10.4. Многопроходная технология печати

На сегодня эта технология используется в основном в самых младших моделях цветных лазерных принтеров, что позволяет делать их весьма дешё-

выми. Надо принять во внимание то, что в технических характеристиках многопроходных принтеров ресурсы ремня переносов и фотобарабана указаны для черно-белой печати. Чтобы получить реальную картину, нужно заявленный ресурс разделить на четыре.

Главный недостаток многопроходной технологии – невысокая скорость при цветной печати. Чтобы сформировать полноцветное изображение механизму необходимо совершить четыре прохода. Рециркуляция тонера, успешно применяемая в черно-белых лазерных принтерах, не может быть реализована в цветных, так как при использовании нескольких цветных картриджей тонеры разных цветов в процессе работы могут смешаться между собой, что при рециркуляции неизбежно приведет к искажению цвета изображения.

Одним из путей улучшения качества цветной печати является использование переменного размера точки, что позволяет увеличить количество оттенков. Для создания этой модификации инженерам не было нужды даже пальцем шевелить, поскольку решения уже существовали в монохромной печати. К примеру, REt, детище Hewlett-Packard, позволяет варьировать размер точки за счет модуляции мощности лазерного излучения и соответственно частичного снятия заряда с фотопроводящего барабана (аналог этой техники для цвета называется ImageREt 1200). Вместе с приходом эры цвета аналогичные методики появились и в арсеналах Apple (PhotoGrade), Lexmark (ColorGrade), Xerox (Intelligent Colour 2.0) и Tektronix. Хотя многие производители и объявили о реализации полноцветной печати (8-битовая градация насыщенности для каждого из четырех образующих цветов), тем не менее специалисты утверждают, что речь идет максимум о 3- или 5-битовых градациях.

В последнее время появилась интересная методика, получившая название Direct-to-Drum. Используя эту методику, можно забыть о проблеме совмещения отпечатков разных цветов, которая была весьма специфичной для лазерной цветной технологии. Смысл ясен из названия: цветное изображение формируется прямо на поверхности фотопроводящего барабана, то есть тонеры разного цвета смешиваются на барабане, а затем разом переносятся на бумагу. В процессе участвуют специальные магнитные частички порошка-проявителя, которые налипают на вращающийся магнитный валик и «доставляют» на себе тонер к барабану. Право на Direct-to-Drum принадлежит компании Hewlett-Packard, однако некоторые другие фирмы также используют аналогичные модификации.

Заслуживает внимания новая технология качественной светодиодной печати HiQ LED, разработанная специалистами Xerox совместно с компанией Nippon Electric Glass Co Ltd.

Разработчики оснастили систему передовым управляющим чипом ASIC и снабдили ее новыми светодиодными головками. Всё это позволяет выполнять печать поистине впечатляющего качества. Каждая из четырех печатающих головок состоит из светодиодной линейки с плотностью диодов 1200 штук на дюйм и самофокусирующейся линзовой решетки. Общее количество светодиодов в одной линейке – 14,5 тысяч. Свет, излучаемый диодами, проходит через линзовые решетки и формирует скрытое изображение на барабане фоторецеп-

тора. Решетки состоят из групп линзовых элементов с однородными оптическими характеристиками, которые накладываются друг на друга и формируют изображения с высоким разрешением.

Чип ASIC, расположенный на плате светодиодной линейки, осуществляет контроль интенсивности светового потока и точности синхронизации каждого светодиода в каждой из четырех печатающих головок. Благодаря чему обеспечивается автоматическое, точное совмещение цветов при печати. Кроме того, чип ASIC позволяет проводить автокоррекцию светодиодной линейки – постоянную корректировку работы каждого светодиода в линейке. Это позволяет избежать изгибов, перекосов и неравномерного свечения, которые могли бы серьёзно навредить конечному результату.

#### Светодиодная система формирования изображения

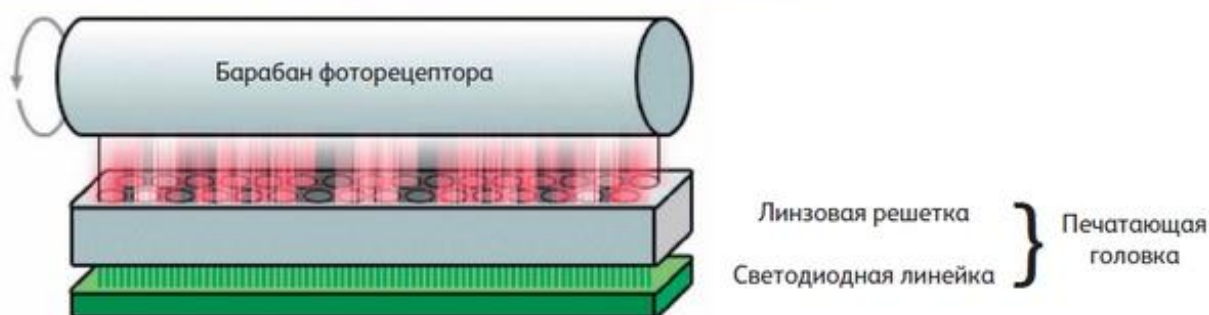


Рис. 10.5. Технология HiQ LED

Улучшенное качество печати достигается за счет высокого разрешения в 1200 dpi и внушительной глубины цвета (16 уровней яркости), что обеспечивает широкий цветовой охват. Технология HiQ LED позволяет получать яркие, четкие изображения с выдержанными полутонами и плавными линиями. Даже самые взыскательные пользователи будут приятно удивлены столь внушительным качеством печати.

Также в аппаратах, созданных с помощью технологии HiQ LED, используется инновационная разработка компании Xerox – так называемые EA-тонеры. Их применение позволяет повысить чёткость изображений и значительно снизить расход смеси. Кроме того, такая краска в два раза дольше сохраняет свою яркость, не выцветая. Есть хорошие новости и для тех, кто чутко относится к проблемам экологии. В процессе производства EA-тонеров выделяется на 65% меньше углекислого газа, чем при изготовлении обычных тонеров.

Иными словами, принтеры, созданные на базе технологии HiQ LED, имеют целый ряд преимуществ:

- доступная цена, как самих устройств, так и печати;
- пониженный уровень шума и вибрации;
- исключительное качество цветной и чёрно-белой печати;
- простота и высокая надежность устройства;
- компактный, эргономичный дизайн;

- высокая скорость печати;
- удобство эксплуатации.

Технология HiQ LED – новое и перспективное предложение на рынке, способное составить серьёзную конкуренцию привычной лазерной печати.

### 10.3. Струйные технологии печати

Струйные принтеры сегодня одни из наиболее популярных среди потребителей. Причем в большинстве случаев такой принтер покупается в качестве периферии к домашнему компьютеру. На то есть свои резоны, и в первую очередь низкая цена и возможность печати цветных документов. Между тем, как утверждают продавцы ряда салонов компьютерной техники, большинство пользователей имеет более чем смутное представление о принципах струйной печати. Если с работой матричных или лазерных принтеров их владельцам все более-менее ясно, то про струйные принтеры они, как правило, только и могут сказать, что картинка там формируется путем разбрызгивания по бумаге мелких капель чернил.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие технологии струйной печати: непрерывная, пьезоэлектрическая, воздушно-пузырьковая и термоструйная.

**Непрерывная струйная печать.** Краситель, находящийся под давлением, поступает в сопло и разделяется на капли путем создания быстрых колебаний давления, получаемые с помощью какого-либо электромеханического средства. Колебания давления вызывают соответствующую модуляцию диаметра и скорости выходящий из сопла струи красителя, которая разделяется на отдельные капли под воздействием сил поверхностного натяжения.

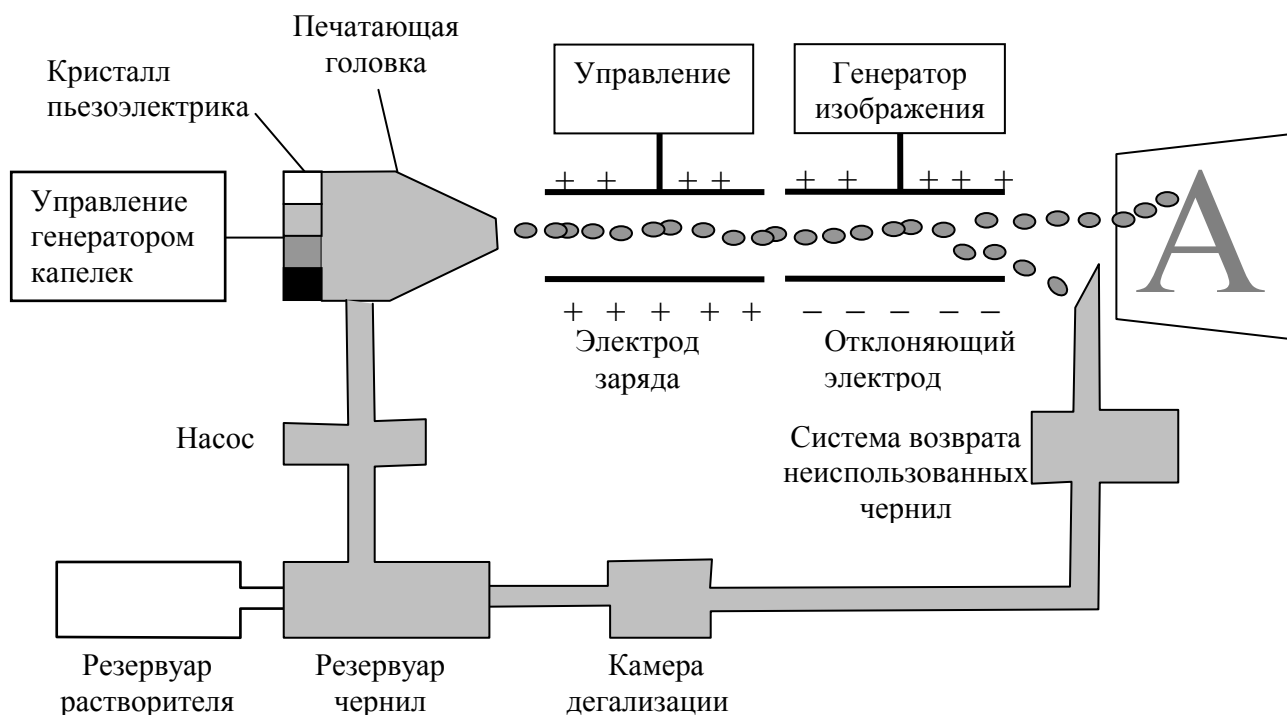


Рис. 10.6. Схема устройства непрерывной струйной печати

Этот метод позволяет достигать очень большой скорости создания капель: до 150 тыс. штук в секунду для коммерческих систем и до миллиона штук для специальных систем. Для управления потоком капель используется электростатическая система отклонения. Вылетающие из сопла капли проходят через заряженный электрод, напряжение на котором меняется в соответствии с управляющим сигналом. Поток капель попадает затем в пространство между двумя отклоняющимися электродами, имеющими постоянную разность потенциалов. В зависимости от полученного ранее заряда отдельные капли изменяют свою траекторию по-разному. Этот эффект позволяет управлять положением печатаемой точки, так и ее наличием или отсутствием на бумаге. В последнем случае капля отклоняется настолько, что попадает в специальный улавливатель.

Устройства непрерывного действия характеризуются, во-первых, как уже отмечалось, очень высокой производительностью сопел; во-вторых, используют только электропроводные чернила; в-третьих, имеют сложную систему рециркуляции чернил, так как без нее подобная технология принесла бы разорение пользователям из-за невероятного расхода дорогих чернил; в-четвертых, скорость печати в них относительно невысока; в-пятых, расстояние между соплом пишущей головки и поверхностью, на которой создается изображение, достаточно велико. На них совершенно неразличимы глазом точки, из которых оно сформировано. Однако за это приходится расплачиваться малой скоростью получения изображения, высокими эксплуатационными расходами (дорогие чернила и сложность в обслуживании) и, наконец, дороговизной самого оборудования.

Подобные системы позволяют печатать точки диаметром от 20 микрон до одного миллиметра. Типичной является точка размером 100 микрон, что соответствует объему капли в 500 пиколитров. Основное применение такие системы нашли на рынке промышленной печати, в системах маркировки товаров, массовой печати этикеток, медицине и пр.

**Пьезоэлектрическая технология.** В основе пьезотехнологии лежит свойство некоторых кристаллов, называемых пьезокристаллами, деформироваться под действием электрического напряжения; то есть этот термин определяет электромеханическое явление. Это физическое свойство позволяет использовать некоторые материалы для создания миниатюрного «чернильного насоса», в котором смена положительного напряжения на отрицательное будет вызывать сжатие небольшого объема чернил и энергичный выброс его через открытое сопло. Размер капли определяется физическими характеристиками эжекционной камеры и давлением, создаваемым в этой камере за счет деформации пьезокристалла. Пьезоэлектрическая технология печати используется в струйных принтерах Epson.

Изменение размера капли осуществляется путем изменения величины напряжения, а частота выброса под действием пьезоэффекта зависит от частоты электрических импульсов, которая, в свою очередь, определяется временем возвращения камеры в «спокойное» состояние, когда она заполнена чернилами и готова к следующему рабочему циклу. Пьезотехнология отличается высокой

надежностью, что очень важно, потому что печатающая головка, по чисто экономическим причинам, не может быть частью сменного картриджа с чернилами, а обязательно должна быть жестко соединена с принтером. Дело в том, что производство печатающих головок для пьезоэлектрической технологии оказывается слишком дорогим в пересчете на одну головку, так в принтерах Epson стоимость печатающей головки может составлять до 70% от общей стоимости всего принтера. Выход из строя такой головки требует серьезного сервисного обслуживания.

Стационарная печатающая головка в определенной мере экономически выгодна, потому что ее не приходится менять. Однако это преимущество частично обесценивается тем, что существует опасность проникновения воздуха в систему при смене картриджа. При этом сопла закупориваются, качество печати ухудшается, и для восстановления нормальной работоспособности системы требуется провести несколько циклов очистки. Еще одно существующее пока ограничение для пьезосистем касается использования чернил на основе красителей (dye based inks): при использовании пигментных чернил, которые имеют более высокое качество, но при этом обладают и более высокой плотностью, также возникает опасность закупорки сопел.

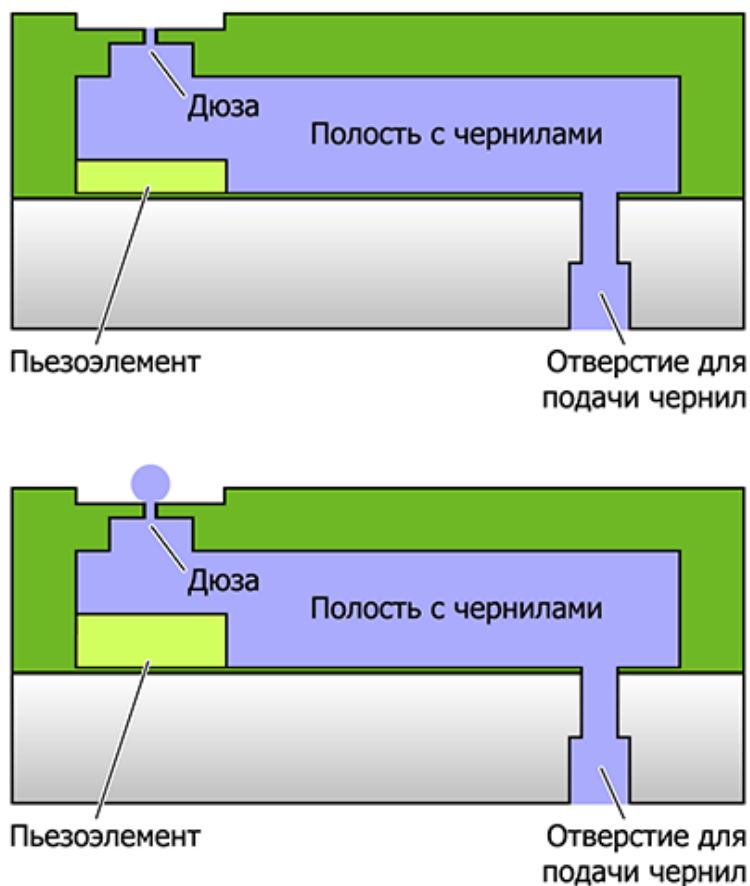


Рис. 10.7. Принцип работы пьезоэлектрической печатающей головки

С другой стороны, пьезотехнология сталкивается с некоторыми чисто физическими ограничениями. Например, большие геометрические размеры элек-



трехмеханической эжекционной камеры означают, что плотность размещения сопел по вертикали должна быть меньше, чем у термических аналогов. Это не только ограничивает перспективы дальнейшей разработки, но означает также, что для получения более высокого разрешения и однородности при высококачественной печати требуется несколько проходов печатающей головки по одной и той же странице.

Следующим шагом в улучшении качества печати является появление технологии PhotoRealism. Право на использование названия PhotoRealism принадлежит Canon, чего нельзя сказать о технологии, которая не является новым словом в полиграфии. Просто специалисты японского гиганта учли одну из общеизвестных особенностей человеческого восприятия фотографий. Человек судит о качестве изображения в первую очередь исходя из достоверности воспроизведения светлых оттенков, а именно светлые оттенки недоступны для обычного печатающего механизма, построенного на струйной технологии. Дело в том, что если для насыщенных полутонов растровая методика работает хорошо – точек в матрице много, они сливаются, образуя обманчиво сплошную закраску, то чтобы изобразить светлые участки, приходится оставлять незакрашенными слишком большое количество точек растра. Отдельные его элементы становятся легко различимыми, цельное изображение превращается в россыпь точек. Чтобы избежать этого эффекта, в Canon решили к четырем базовым цветам (СМΥК) добавить светлые варианты голубых и пурпурных чернил. Теперь, используя чернила разной насыщенности, можно создавать практически плавные переходы от темных к светлым тонам.

**Термоструйная и пузырьково-струйная технологии.** Разработка термической технологии струйной печати началась еще в 1984 году. Первопроходцами тогда стали компании HP и Canon. Но дело шло медленно, и придти к необходимым результатам долгое время не удавалось. Только в 90-х годах удалось наконец добиться приемлемого уровня качества, скорости работы и стоимости. Позже к HP и Canon с целью дальнейшей работы над термическими принтерами присоединилась компания Lexmark, что и привело к созданию сегодняшних принтеров с высоким разрешением.

Как видно из названия, в основе термического (правильнее сказать, электротермического) формирования струи лежит увеличение температуры жидких чернил под действием электрического тока. Это повышение температуры обеспечивается нагревательным элементом, который находится в эжекционной камере. При нагревании некоторая часть чернил испаряется, в камере быстро нарастает избыточное давление, и из эжекционной камеры через прецизионное сопло выбрасывается маленькая капелька чернил. В течение одной секунды этот процесс многократно повторяется.

Самое главное для успеха данной технологии – это максимально точно подобрать конфигурацию эжекционной камеры, а также диаметр и точность сопла. На поведение чернил при нагревании и выбросе их из сопла наряду с характеристиками самих чернил (их вязкостью, поверхностным натяжением, способностью к испарению и др.) оказывают влияние также характеристики кана-

ла, ведущего к соплу, и точки выхода в сопло. Большое значение для обеспечения правильного выброса чернил из сопла имеют также характер изменения чернильного мениска в сопле после эжекции и повторное заполнение эжекционной камеры.

Рассмотрим поподробнее этапы формирования и выброса капли. Формирование термической чернильной струи начинается в печатающей головке картриджа. Электрический импульс порождает на нагревательных элементах тепловой поток, эквивалентный более чем двум млрд ватт на квадратный метр. Это примерно в 10 раз больше, чем поток на поверхности Солнца.

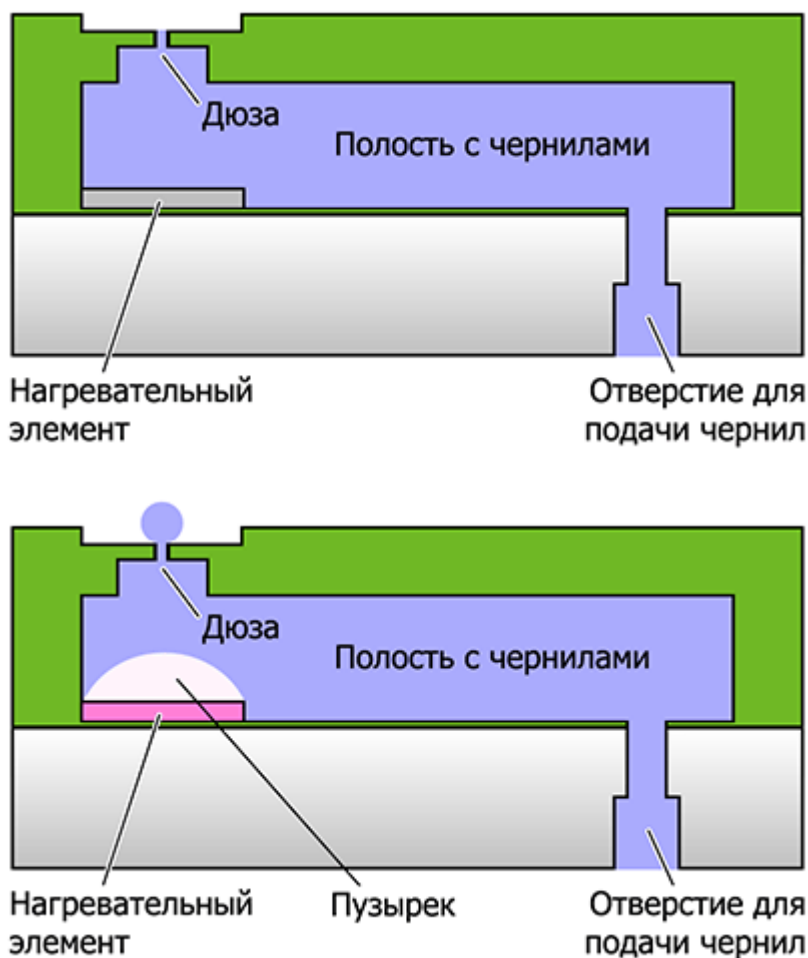


Рис. 10.8. Принцип работы термоструйной печатающей головки

Однако поскольку длительность теплового импульса составляет всего 2 миллионных доли секунды, то, хотя температура в это время увеличивается со скоростью 300 млн градусов в секунду, поверхность нагревательного элемента успевает за это время нагреться лишь примерно до  $600^{\circ}\text{C}$ . Поскольку нагревание идет чрезвычайно быстро, в реальности температура, при которой чернила уже не могут существовать в виде жидкости, достигается лишь в слое толщиной менее одной миллионной доли миллиметра. При такой температуре (примерно  $330^{\circ}\text{C}$ ) тонкий слой чернил начинает испаряться, и происходит выталкивание пузырька из сопла. Пузырек пара образуется при очень высокой температуре, и поэтому давление пара в нем составляет порядка 125 атмосфер, т.е. в че-

тыре раза больше давления, создаваемого в современных бензиновых двигателях внутреннего сгорания. Такой пузырек, обладающий громадной энергией, действует как поршень, выбрасывающий чернила из сопла на страницу со скоростью 500 дюймов в секунду. Образующаяся при этом капля весит всего 18 миллиардных долей грамма. По командам, поступающим от драйвера принтера, несколько сотен сопел могут активизироваться одновременно в любых сочетаниях.

Резервуары, из которых чернила подаются в печатающую головку, можно условно разделить на два конструктивных типа. Во-первых, широко используется моноблочная система, объединяющая встроенный чернильный резервуар и эжекционный блок. Она обладает тем преимуществом, что при каждой смене чернильного резервуара заменяется и печатающая головка, что способствует поддержанию высокого качества печати. Кроме того, она проще по конструкции, и в ней легче выполняются замены. Во второй, конструктивно более сложной системе печатающая головка отделена от резервуара для чернил, и здесь заменяется только этот резервуар при его опорожнении. Пена в резервуаре для чернил играет роль губки, впитывающей жидкие чернила, так что чернила непрерывно подаются к печатающей головке, и при этом нет ни нежелательной утечки из картриджа под действием силы тяжести, ни истечения чернил из самой печатающей головки. На основании моноблочного картриджа находятся электрические контакты и печатающая головка – ключевой элемент всего процесса струйной печати; чернила подаются к печатающей головке через совокупность каналов, идущих от резервуара. Изготовление печатающей головки – это сложный процесс, осуществляемый на микроскопическом уровне, где точность измерений определяется микронами. Основные материалы, используемые для изготовления эжекционной камеры, канала для подачи чернил, электронной управляющей схемы и нагревательных элементов, подобны материалам, используемым в полупроводниковой промышленности, где тончайшие проводящие металлические и изолирующие слои проходят прецизионную лазерную обработку. Такая технология требует больших инвестиций и в разработку, и в производство, и это одна из главных причин того, что в данной сфере решаются действовать очень немногие компании.

Печатающая головка представляет собой совокупность множества микрокомплектов, состоящих из эжекционных камер и связанных с ними сопел, расположенных в шахматном порядке с целью увеличения вертикальной плотности сопел. При таком расположении сопел их число на расстоянии примерно 1,27 см может достигать 208, как это имеет место, например, в черных картриджах моделей Lexmark Z, так что удается достичь разрешения в 1,44 млн точек. Качество печати определяется многими факторами, но главные из них – это размер точки, вертикальная плотность точек и частота выброса капель через сопло; именно эти показатели являются основными критериями для дальнейшей работы над печатающими головками, будь то головки термического или пьезоэлектрического типа. Термические головки имеют некоторые преимущества по сравнению с электромеханическими, поскольку ключевая технология

их изготовления подобна той, которая применяется при изготовлении микропроцессорных чипов и других изделий полупроводниковой электроники. Стремительный прогресс в этих областях идет на пользу термической технологии, и можно ожидать, что в ближайшие годы будут достигнуты еще более высокие разрешения и более высокая скорость печати.

Термическая струйная печать имеет несколько преимуществ по сравнению с конкурирующей с ней пьезотехнологией. Например, простота конструкции и тесная аналогия с производством полупроводников: это означает, что предельная себестоимость в производстве здесь будет ниже, чем для конкурирующей технологии. Конфигурация эжекционных камер позволяет располагать сопла ближе друг к другу, что дает возможность достигать более высокого разрешения.

Принцип пузырьково-струйной печати Canon Bubble-Jet, изобретённый в конце 70-х, до гениального прост. В каждой дюзе, тончайшем канале, в котором формируются капельки чернил, расположен микроскопический нагреватель. Электрические импульсы, подаваемые на него, заставляют чернила вскипать с образованием воздушных пузырьков, и эти пузырьки с каждым импульсом выталкивают равные объёмы чернил из дюзы. Нагрев прекращается, пузырёк исчезает, в дюзу втягивается новая порция чернил, и она готова к новому циклу!

Однако понадобилось около 8 лет, чтобы первый пузырьково-струйный принтер стал доступен пользователям. В 1981 году перспективная технология Canon Bubble-Jet впервые была представлена на выставке Canon Grand Fair и сразу приковала к себе внимание специалистов. Но лишь в 1985-ом появилась первая коммерческая модель монохромного принтера Canon BJ-80, а первый полноцветный ВJ-принтер ВJС-440 (формата А2, с разрешением 400 точек на дюйм) появился в 1988 году.

Hewlett-Packard, которую всегда причисляли к лидерам рынка принтеров, тоже сделала вклад в совершенствование струйной технологии, предложив две модификации исходного процесса: PhotoREt II, ColorSmart II.

- PhotoREt II применяется для увеличения цветового диапазона каждой точки изображения в отдельности. При печати по этой технологии получается малый размер капли, что позволяет «выстреливать» в одну точку до шестнадцати порций чернил разных цветов. Это не избавляет от необходимости растривания, однако существенно уменьшает размер матрицы. Качество изображений получается отличным, а при печати текста используется вторая часть этой технологии – REt (Resolution Enhancement technology), то есть учитывается возможность генерации капель малых объемов, следовательно, текстовые распечатки тоже выигрывают в качестве.

- Что касается ColorSmart II, то это куда менее революционное нововведение, которое реализуется чисто программно и применяется для оптимизации цветов исходного изображения на этапе его обработки драйвером принтера. Функция SmartFocus, являющаяся неотъемлемым атрибутом этой технологии, улучшает цветовую гамму изображений низкого разрешения (например, фотографий из Internet) и повышает качество растривания.

Примечательно, что, обладая одной и той же технологией и обменявшись лицензиями, компании Hewlett-Packard и Canon не успокоились и продолжают активно конкурировать друг с другом. Основные пути, ведущие к победе над соперником, – повышение качества (разрешения) печати и снижение ее себестоимости. Понимаете, кто от этого выигрывает? Несмотря на очевидное сходство, между пузырьковыми струйными головками этих компаний есть и существенное отличие. Hewlett-Packard устанавливает нагревательный элемент в торце сопла, при этом для подачи чернил используется специальный резервуар внутри головки. У головок Canon нагреватель расположен сбоку, а чернила текут через ствол сопла по прямой. Это позволяет уменьшить размер головки. Боковое расположение дает возможность увеличить площадь нагревателя, усилить избыточное давление и, следовательно, сообщить капельке большую кинетическую энергию.

Конструкция современных пузырьковых головок допускает использование быстро сохнувших чернил, благодаря чему капельки не успевают впитаться в бумагу или растечься – они просто моментально высыхают. Благодаря увеличению скорости, с которой из сопел выстреливаются капельки, можно увеличить зазор между головкой и бумагой. Большой зазор позволяет применять бумагу худшего качества, неровную или более плотную.

#### 10.4. Термические принтеры

Термические принтеры – цветные принтеры высокого класса – применяются для получения цветного изображения с качеством, близким к фотографическому. Их применение весьма ограничено. В термических принтерах используют три технологии цветной термопечати: струйный перенос расплавленного красителя (термопластичная печать); контактный перенос расплавленного красителя (термовосковая печать) и термоперенос красителя (сублимационная печать).

▪ **Термопластичная печать.** Термопластичная печать, или технология Phast Change Ink-Jet, основана на получении изображения нанесением на бумагу каплей расплавленного воскообразного красителя. Для этого восковые стерженьки для каждого первичного цвета красителя постепенно расплавляются при температуре 90 градусов специальным нагревательным элементом. Расплавленные красители попадают в отдельные резервуары, откуда подаются насосом в пьезоэлектрическую печатающую головку. Капли воскообразного красителя мгновенно застывают на бумаге, обеспечивая хорошее сцепление. Термопластичная печать исключает просачивание и растекание красителей, что позволяет получить высокое качество изображения, невысокую стоимость одной копии даже при двухсторонней печати. Однако скорость печати невысока.

▪ **Термовосковая печать.** Термовосковая печать, или технология Termal Wax Transfer, реализуется в принтерах с термопереносом. Принцип действия такого принтера в том, что термопластичное красящее вещество, представляющее собой краситель, растворенный в воске, наносится на тонкую лавсановую

пленку толщиной 5 мкм. Пленка перемещается лентопротяжным механизмом, конструкция которого аналогична конструкции лентопротяжного механизма матричного принтера. На бумагу краситель переносится в том месте, где нагревательными элементами (аналогами сопел в струйных принтерах и игл в матричных) обеспечивается температура 70...80 градусов. Для получения цветного изображения применяется метод СМΥК, то есть выполняются четыре прохода: по одному проходу для нанесения каждого первичного цвета и один – для черного цвета. В связи с этим скорость цветной печати принтеров с термопереносом 1...2 страницы в минуту. Стоимость выведенной на печать страницы с изображением выше, чем у струйных принтеров, поскольку используется специальная бумага. Преимуществом принтеров с термопереносом является получение высококачественных цветных изображений с воспроизведением до 16,7 млн цветов как на бумаге, так и на пленке.

▪ **Сублимационная печать.** Метод состоит в том, что при печати чернилами либо красящими лентами, частицы красящего вещества мгновенно нагреваются печатной головкой и смешиваются при переходе в газовое состояние, глубоко проникая в структуру запечатываемого материала.

Стремясь добиться фотореалистичных результатов, многие фотографы считают, что сублимационная печать даёт наилучшее качество из всех возможных технологий цифровой печати. Хотя с этим можно и не согласиться, учитывая великолепное качество печати лучших на сегодняшний день струйных принтеров, тем не менее, сублимационная печать, несомненно, занимает своё достойное место.

Одна из главных причин столь высокого качества сублимационной печати станет ясна, если понять сам процесс и сравнить его с технологией струйной печати. Струйные принтеры наносят на лист бумаги чрезвычайно малые капли чернил, а изображение создаётся строка за строкой. Тем, у кого есть струйный принтер, знакомо, как строка за строкой из принтера появляется готовая картинка. Размер точек, образующих отпечаток, меньше диаметра человеческого волоса, а наносятся они с очень высокой точностью. В настоящее время на лучших принтерах достигается разрешение 4800x2400 точек на дюйм.

Отпечатки с лучших струйных принтеров неотличимы на глаз от обычных фотографий. Но при разглядывании в микроскоп можно увидеть их истинную структуру, так как точки становятся различимы. Под микроскопом отпечаток, сделанный сублимационным методом, будет выглядеть более похожим на обычную серебросодержащую фотографию. На нём будут видны плавные тональные переходы, трудно достижимые любыми другими цифровыми методами печати.

Внутри сублимационного принтера находится рулон длинной прозрачной плёнки, которая похожа на листы цветного целлофана разного цвета, склеенные между собой по краям. В этой плёнке заключены слои твёрдого красителя трёх основных цветов, применяемых в печати: бирюзового, малинового и жёлтого. Процесс печати идёт при нагревании. Сначала печатающая головка нагревается, проходя вдоль плёнки. Это приводит к испарению красителя, мгновенно пе-

реходящего из твёрдого состояния в газообразное, минуя жидкое. Такой переход называется сублимацией (возгонкой), что и дало название методу печати.

Под действием той же высокой температуры открываются поры на специальном покрытии бумаги, позволяя парам красителя проникать под поверхность. При понижении температуры поры закрываются, и пары красителя возвращаются в твёрдое состояние. Проведя пальцем по отпечатку, можно нащупать безупречно гладкую поверхность.

Печатающая головка собрана из миниатюрных прецизионных нагревательных элементов, каждый из которых может нагреваться с высокой точностью. Чем сильнее нагрет элемент, тем больше красителя испаряется и поглощается бумагой. Сублимационный принтер работает, нанося за один раз слой красителя одного цвета. Наблюдение за его работой завораживает: на большинстве моделей бумага прокатывается под печатающей головкой взад-вперёд при нанесении каждого цвета, позволяя видеть процесс печати на разных стадиях, когда в результате добавления слоя за слоем отпечаток постепенно приобретает окончательный вид.

Некоторые принтеры делают заключительный проход, чтобы нанести на отпечаток защитный слой. Он может служить для многих целей: как от защиты от износа и отпечатков пальцев, так и для продления срока службы отпечатка путём его защиты от ультрафиолетового излучения, вызывающего выцветание.

Первое преимущество сублимационной печати – в том, что отпечатанное изображение выглядит очень гладким и имеет тот же вид, что и классическая серебрясодержащая фотография. Это происходит оттого, что по краям каждого пикселя обеспечивается плавный переход, а не каёмка между красителем и бумагой, как бывает при чернильной печати. Поэтому сублимационный принтер может иметь намного более низкое разрешение, чем его струйные собратья, и при этом достигать сравнимых по качеству результатов. В этом смысле сублимационный принтер с разрешением 300 точек на дюйм можно сравнить со струйным принтером с разрешением 1200 точек на дюйм.

Второе преимущество – это стойкость к выцветанию. Поскольку краситель проникает в бумагу, получающийся отпечаток очень устойчив к выцветанию с течением времени, что повышает популярность этой технологии среди фотографов.

Третье преимущество сублимационной печати – глубина цвета. Меняя степень нагрева, можно получить широкий набор оттенков каждого цвета. Смешивая в разных сочетаниях оттенки бирюзового, малинового и жёлтого, можно получить миллионы цветов.

Обычно большим недостатком сублимационных принтеров считается то, что они более сложны в изготовлении и дороже, чем их струйные аналоги. Но технологии идут вперёд, сублимационные принтеры сильно подешевели, и многие из них стали вполне доступны любителям. А по цене в расчёте на один отпечаток они тоже стали сравнимы со струйными принтерами, да и скорость печати вполне приемлема.

Существенный недостаток термосублимационной печати – низкая механическая устойчивость оттиска, что определяется поверхностным характером наложения краски (практически без адгезии – проникновения в поры материала).

К числу самых известных производителей сублимационных принтеров относят Mitsubishi, Toshiba и Sony.

## 10.5. Плоттеры

Задача вывода из вычислительных машин информации, представленной в графической форме, возникла одновременно с их появлением, и ее решение сделало возможным создание систем автоматизированного проектирования. Устройства, выполняющие в этих системах функции вывода графической информации на бумажный и некоторые другие виды носителей, называются графопостроителями, или плоттерами (от англ. plotter) – термин, который, как и многие другие англоязычные термины, уже почти вытеснил свой русскоязычный аналог.

Первый плоттер появился в Америке в 1981 году и сразу же заслужил прозвище «умное устройство». Неудивительно, ведь плоттер позволил в считанные минуты получать графическое изображение, ранее производимое с большими затратами времени, финансов и усилий. Ширина инновационного прибора на тот момент равнялась 40 сантиметрам. Но, несмотря на такой формат плоттера, он сумел произвести революцию на рекламном рынке. Новинку сразу же стали стараться купить производители широкоформатной рекламы – плакатов, растяжек, бигбордов. Заинтересовались устройством и инженеры, поскольку печать на плоттере позволяла получить сверхкачественные масштабные чертежи. С тех пор прошло много лет, и этот аппарат существенно изменился – его габариты уменьшились, а возможности расширились. Неизменно одно – огромная популярность умного устройства.

Сегодня плоттер – это устройство для печати графической информации на широкоформатном носителе. В наши дни печать на плоттере – привычная часть полиграфической сферы, велики возможности этого прибора и в области инженерного проектирования. А в рекламном деле такое устройство, как плоттер, необходимо особенно остро. Более того, печатающий плоттер – это один из нескольких технических китов, на которых держится современная рекламная сфера.

Разновидности плоттеров: планшетные, перьевые, струйные, электростатические, плоттеры на основе термопередачи, лазерные.

▪ **Планшетные плоттеры.** В планшетных плоттерах носитель неподвижно закреплён на плоском столе. Закрепление либо электростатическое, либо вакуумное, либо механическое за счёт притягивания прижимающих бумагу пластинок к электромагнитам, смонтированным в поверхность стола. Специальной бумаги для планшетных плоттеров не требуется.



▪ **Перьевые плоттеры.** Перьевые плоттеры – это электромеханические устройства векторного типа, и на перьевом плоттере традиционно выводят графические изображения. Перьевые плоттеры создают изображение при помощи пишущих элементов, обобщенно называемых перьями, хотя имеется несколько видов таких элементов, отличающихся друг от друга используемым видом жидкого красителя. Пишущие элементы бывают одноразовые и многоразовые. Перо крепится в держателе пишущего узла, который имеет одну или две степени свободы перемещения.

▪ **Струйные плоттеры.** Струйная технология имеет ряд достоинств. Сюда можно отнести простоту реализации, высокое разрешение, низкую потребляемую мощность и относительно высокую скорость печати. Струйные плоттеры (широкоформатные принтеры) классифицируются на инженерные, для наружной, для внутренней рекламы. Некоторые из инженерных могут быть применены для печати внутренней рекламы, однако заявки вида «плоттер предназначен как для наружных, так и для внутренних работ» обычно являются спекуляциями производителя и/или продавца.

На рынке струйных инженерных плоттеров доминируют устройства фирмы Hewlett-Packard. Достаточно широко представлены также Canon, Epson, Encad. Рынок струйных интерьерных плоттеров видимого лидера не имеет и на территории бывшего СССР развит слабо.

▪ **Электростатические плоттеры.** Электростатические, как и струйные плоттеры, используют жидкие красители. Электростатическая технология основывается на создании скрытого электрического изображения (потенциального рельефа) на поверхности носителя. При этом в качестве носителя используется специальная электростатическая бумага, рабочая поверхность которой покрыта тонким слоем диэлектрика, а основа пропитана гидрофильными солями, позволяющими получить требуемую влажность и электропроводность. Для записи информации используют записывающие головки, представляющие собой блоки тончайших электродов. Потенциальный рельеф появляется при осаждении на поверхность диэлектрика свободных зарядов, образующихся при возбуждении электродов высоковольтными импульсами напряжения. Когда бумага проходит через проявляющий узел с жидким намагниченным тоном, его частички остаются на заряженных участках бумаги. Полная цветовая гамма получается за четыре цикла создания скрытого изображения и прохода носителя через четыре проявляющих узла с соответствующими тонерами. Отличительные особенности данного типа плоттеров – скорость, надежность, качество и производительность. Немаловажно и то, что изображение, полученное на электростатическом плоттере, весьма устойчиво и не выгорает под действием ультрафиолетовых лучей, а стоимость электростатической бумаги находится на уровне стоимости высококачественной типографской.

Данный тип плоттеров относится к числу дорогостоящих, поэтому такие устройства приобретаются пользователями, имеющими оправданно высокие требования к производительности и качеству, и для достижения максимальной эффективности используются как сетевые устройства, в связи с чем имеют в

стандартной комплектации адаптер сетевого интерфейса. Их применяют при высокой степени автоматизации проектных работ в солидных организациях и в геоинформационных системах.

Электростатические плоттеры можно было бы считать идеальными устройствами, если бы не высокая стоимость и необходимость тщательного обслуживания. Среди лидеров на рынке этих устройств фирмы Versatec, Calcomp и Venson, их цена составляет от 30 до 150 тысяч долларов.

- **Плоттеры прямого вывода изображения.** Изображение в плоттерах прямого вывода изображения создается на специальной термобумаге (бумаге, пропитанной теплочувствительным веществом) длиной (на всю ширину плоттера) «гребенкой» миниатюрных нагревателей. Термобумага, которая обычно подается с рулона, движется вдоль «гребенки» и меняет цвет в местах нагрева. Изображение получается высококачественным, но, увы, только монохромным.

- **Плоттеры на основе термопередачи.** Отличие этих плоттеров от плоттеров прямого вывода изображения состоит в том, что в них между термонагревателями и бумагой размещается «донорный цветоноситель» – тонкая лента, обращенная к бумаге красящим слоем, выполненным на восковой основе с низкой температурой плавления. На донорной ленте последовательно нанесены области каждого из основных цветов размером, соответствующим листу используемого формата. В процессе вывода информации бумажный лист с наложенной на него донорной лентой проходит под печатающей головкой, которая состоит из тысяч мельчайших нагревательных элементов. Воск в местах нагрева расплавляется, и пигмент остается на листе. За один проход наносится один цвет. Все изображение получается за четыре прохода. Таким образом, на каждый лист цветного изображения затрачивается в четыре раза больше красящей ленты, чем на лист монохромного.

Ввиду дороговизны каждого отпечатка, получаемого с их помощью, эти плоттеры в основном применяются рекламными агентствами для создания пилотных версий плакатов и транспарантов для красочных презентаций. Кроме того, плоттеры на основе термопередачи используются в составе средств автоматизированного проектирования для высококачественного вывода объектов трехмерного моделирования, а также в системах картографии, требующих высокого качества воспроизведения цветов. Наибольшее распространение имеют устройства небольшого формата А3-А4, что переводит их в категорию принтеров.

- **Лазерные плоттеры.** Эти плоттеры базируются на электрографической технологии, в основу которой положены физические процессы внутреннего фотоэффекта в светочувствительных полупроводниковых слоях селеносодержащих материалов и силовое воздействие электростатического поля. Электрофотографические (лазерные) плоттеры бывают только инженерными, в связи с монохромностью получаемого изображения. Польза единственной полноцветной модели для печати рекламы подвергается сомнению в связи с недостаточной для рынка шириной печати в 914 мм. Как правило, эти плоттеры продаются в комплекте со сканерами (иногда такой сканер является неотъемлемой частью

принтера) под названиями «инженерная система», «репрографический комплекс» и прочими, в зависимости от предпочтений производителя и продавца.

Основными производителями лазерной инженерной техники являются KIP, Ricoh, Ose, Xerox, суммарно занимающие более 90 % рынка. Их техника также продается под другими торговыми марками, принадлежащими либо самому производителю (например, бренды Gestetner и Rex-Rotary принадлежат Ricoh), либо крупному дилеру (Utax или MB, например), либо даже прямому конкуренту (в случае наличия у него временных проблем с производством).

▪ **Сольвентные плоттеры.** Сольвентные плоттеры сочетают в себе всю функциональность струйных плоттеров и долговечность отпечатков, характерных для технологии сольвентной печати. Сольвентные плоттеры незаменимы при изготовлении наружной рекламы, например, виниловых самоклеющихся пленок, баннеров и многого другого. Сольвентные чернила – пигментные быстро сохнущие чернила на основе сольвента, которые имеют очень хорошую адгезию к широкому спектру недорогих материалов, не имеющих специального покрытия для печати. Эти чернила были специально разработаны для красочной, фотореалистичной печати изображений, устойчивых к УФ-излучению и воздействию погодных условий. Они обеспечивают качественную печать на бумаге, самоклеющейся виниловой пленке, ПВХ тканям, сеткам и др. материалах, имеют широкий цветовой охват, чистые и яркие цвета, равномерные тональные переходы. Срок службы изображений при их эксплуатации под открытым небом – до 2-х лет без дополнительной ламинации.

Кроме функции принтера плоттер может обладать и режущими свойствами, великолепно справляясь с вырезанием самоклеющегося винила, термопленки, магнитного винила, фотобумаги и массы других листовых и рулонных материалов. Появившись чуть позже, чем его старший брат принтер-плоттер, режущий каттер (от английского слова cutter – резчик, скульптор, гравёр), сыграл в полиграфии и рекламе едва ли не большую роль. Ведь он сделал возможным идеально точное вырезание крупных и сложных аппликаций, символов, текстов, узоров. Такой простой и недорогой расходный материал, как пленка для плоттера, сегодня позволяет получать фигурное изображение любого масштаба, начиная от наклейки на автомобиль и заканчивая рекламной надписью во всю длину или высоту небоскрёба.

Сегодня режущие плоттеры принято делить на такие виды:

▪ Планшетный плоттер. Это устройство в виде плоского стола, где фиксируется разрезаемый материал. Нож для плоттера вставляется в специальную каретку,двигающуюся по поверхности стола.

▪ Лазерный плоттер, цена которого несколько выше, поскольку вместо ножа для резки применяется сверхточный лазер.

▪ Плоттер рулонный, работающий с наиболее популярными видами материалов для рекламного производства, то есть рулонными материалами: самоклеющейся виниловой пленкой, самоклеющейся бумагой и т.д.

К основным эксплуатационным и конструктивным характеристикам плоттеров, на которые следует обратить внимание, относятся: точность, формат

оригинала, размер рабочего поля, скорость прорисовки, программное обеспечение, наличие памяти. Важнейшим параметром любого графопостроителя является скорость перемещения носителя или же скорость, с которой происходит печать. Данные параметры во многом зависят от разновидности интерфейса устройства. Не меньшее значение имеет такой параметр, как точность. Именно точность графопостроителя определяет способность к воспроизведению мелких объектов и тонких линий. Это напрямую зависит от его разрешения. Размер рабочего поля показывает возможный рабочий размер изображения. Этот показатель особенно важен для рулонных устройств.

Графопостроители могут быть изготовлены в настольном или напольном исполнениях. К ним могут подключаться дополнительные устройства, такие как фальцовщики, устройства подачи листового носителя, приёмный стол или накопитель для документов.

Даже несмотря на то, что на сегодняшний день САПР занимает свое почетное место как неопределимый и проверенный инструмент конструирования, но все равно большее количество информации, которая производится различными компаниями, составляют чертежные проекты, которые выполнены от руки.

Наиболее весомые игроки этой сферы – Roland, Canon, Mimaki, Graphtec, Epson, HP. Это многолетние производители печатающих плоттеров, чей авторитет на мировом рынке бесспорен. Взглянем на их продукцию пристальнее. Прежде всего, заметим: плоттер HP и плоттер Epson – это устройства особого типа, ориентированные на отдельный рынок. Эти бренды давно заняли собственную нишу и не ставят перед собой задачу конкурировать с более профессиональными производителями. Оба упомянутых плоттера относятся к классу soho (home office/small office) и подходят для применения в небольшом офисе или дома. Постоянную высокую нагрузку эти устройства выдержать не смогут, а вот для домашних нужд или потребностей небольшой фирмы они вполне подойдут. Вот почему и HP, и Epson – это плоттер, цена которого почти всегда будет ниже стоимости аналога другой марки. Если же эксплуатировать домашние модели в режиме non-stop – это грозит им скорым износом узловых элементов, а затем и вовсе выходом из строя. Поэтому если перед вами стоят серьёзные полиграфические задачи – не стоит экономить на печатающем устройстве.

В отличие от моделей класса soho, оборудование марок Mimaki и Roland – плоттеры, рассчитанные на бесперебойную работу и высокую производительность. Эта техника разработана таким образом, чтобы её можно было эксплуатировать полный рабочий день, не опасаясь за узловые детали или состояние печатной головки.

## 10.6. Технологии 3D-печати

В настоящее время в России не существует официального стандарта терминов, связанных с 3D-печатью. В результате, многие из них являются разносящимися переводами оригиналов, несколько сбивающих читателя с толку. Кроме того, сами производители 3D-принтеров зачастую стараются монополизиро-

вать части рынка, внося достаточно незначительные изменения в существующие технологии ради получения патента, и снабжая «новинки» новыми названиями, тем самым лишь усугубляя неразбериху.

В этом разделе мы постараемся разъяснить все нюансы мира 3D-печати: применяемые технологии, принцип их действия, варианты терминологии и так далее.

3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели. Фактически, 3D-печать является полной противоположностью таких традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала (так называемое «субтрактивное производство»).

Хотя технология 3D-печати появилась еще в 80-х годах прошлого века, широкое коммерческое распространение 3D-принтеры получили только в начале 2010-х. Первый дееспособный 3D-принтер был создан Чарльзом Халлом, одним из основателей корпорации 3D Systems. В начале 21 века произошел значительный рост продаж, что привело к резкому падению стоимости устройств.

3D-печатные технологии используются для прототипирования и распределенного производства в архитектуре, строительстве, промышленном дизайне, автомобильной, аэрокосмической, военно-промышленной, инженерной и медицинской отраслях, биоинженерии (для создания искусственных тканей), производстве модной одежды и обуви, ювелирных изделий, в образовании, географических информационных системах, пищевой промышленности и многих других сферах.

Трехмерная печать позволяет уравнивать стоимость производства одной детали и массового производства, что представляет угрозу для масштабных экономик. Влияние 3D-печати может оказаться подобным внедрению мануфактуры. В 1450-х никто не мог предсказать последствия внедрения печатного станка, в 1750-х никто не воспринимал всерьез появление парового двигателя, а транзисторы 1950-х казались любопытным новшеством. Но технология продолжает развитие и, вероятнее всего, окажет влияние на каждую научную и производственную отрасль, с которой она соприкоснется.

На сегодняшний день бытовая 3D-печать в основном привлекает внимание энтузиастов и любителей, в то время как практическое применение достаточно ограничено. Тем не менее, 3D-принтеры уже использовались для печати работающих механических часов, шестеренок для деревообрабатывающих станков, украшений и пр. Вебсайты, связанные с домашней 3D-печатью, зачастую предлагают дизайны крючков, дверных ручек, массажных инструментов и т.д.

Применяется 3D-печать и в любительской ветеринарии и зоологии – в 2013 году 3D-печатный протез позволил поднять на ноги утенка, а стильные 3D-печатные раковины приходятся по душе ракам-отшельникам. 3D-принтеры

достаточно широко применяются для бытового производства бижутерии – ожерелий, колец, сумочек и пр.

Один из пионеров 3D-печати, исследовательская компания Organovo, проводит лабораторные исследования и развивает производство функциональных трехмерных образцов человеческих тканей для использования в медицинских и терапевтических исследованиях. Для биопечати компания использует 3D-принтер NovoGen MMX. Organovo считает, что биопечать позволит ускорить тестирование новых медицинских препаратов перед клиническими испытаниями, что позволит экономить время и средства, вкладываемые в разработку лекарств. В долгосрочной перспективе Organovo надеется адаптировать технологию биопечати для создания трансплантатов и применения в хирургии.

Наиболее широкое применение 3D-печати ожидается в производстве слуховых аппаратов и стоматологии. В марте 2014 года хирурги из Китая использовали 3D-печать для реконструкции лица мотоциклиста, получившего серьезные травмы в дорожной аварии.

Китай выделил почти \$500 млн на развитие 10 национальных институтов по разработке технологий 3D-печати. В 2013 году китайские ученые приступили к печати живых хрящевых, печеночных и почечных тканей с помощью специализированных 3D-биопечатных принтеров. Исследователи из Университета Ханчжоу Дианци даже разработали для этой сложной задачи собственный 3D-биопринтер, получивший название Regenovo. Один из разработчиков Regenovo, Сюй Минген, заявил, что принтеру требуется менее часа для производства небольшого образца печеночной ткани или четырех-пяти дюймового образца ушного хряща. Сюй предсказывает появление первых полноценных печатных искусственных органов в течение следующих 10...20 лет. В том же году исследователи из бельгийского Университета Хасселта успешно распечатали новую челюсть для 83-летней женщины. После вживления имплантата пациент может нормально жевать, разговаривать и дышать.

Ниже представлены существующие на сегодняшний день технологии 3D-печати:

- технология многоструйного моделирования (MJM);
- цветная струйная печать (CJP);
- цифровая светодиодная проекция (DLP);
- струйная трехмерная печать (3DP);
- выборочное лазерное спекание (SLS);
- выборочная лазерная плавка (SLM);
- стереолитография (SLA);
- выборочное тепловое спекание (SHS);
- изготовление объектов методом ламинирования (LOM);
- электронно-лучевая плавка (EBM);
- прямое лазерное спекание металлов (DMLS);
- производство электронно-лучевой плавкой (EBF<sub>3</sub>);
- моделирование методом послойного наплавления (FDM).

▪ **Технология многоструйного моделирования (MJM).** Технология многоструйного моделирования (MJM) – фирменный метод аддитивного производства, запатентованный компанией 3D Systems. Технология используется в линейке профессиональных принтеров ProJet.

Технология MJM позволяет осуществлять высокоточное прототипирование с высоким уровнем детализации

Технология много струйного моделирования сочетает черты таких методов 3D-печати, как струйная трехмерная печать (3DP), моделирование методом послойного наплавления (FDM/FFF) и стереолитография (SLA). Построение слоев производится с помощью специальной печатной головки, оснащенной массивом сопел. Количество сопел в существующих моделях принтеров варьируется от 96 до 448.

Печать производится термопластиками, восками и фотополимерными смолами. В первых двух случаях материалы затвердевают за счет постепенного охлаждения. В случае печати фотополимерами, каждый нанесенный слой обрабатывается ультрафиолетовым излучателем для полимеризации (затвердевания).

Технология позволяет добиваться исключительно высоких показателей точности, сравнимых с лазерной стереолитографией (SLA) – минимальная толщина наносимого слоя может составлять 16 микрон, а разрешение печати в горизонтальной плоскости достигает 750x750 dpi.

Ранние модели MJM принтеров использовали обычные термопластики. Развитие и совершенствование фотополимерных материалов привело к постепенной замене термопластиков фотополимерными смолами и восками.

Принтеры ProJet используют ассортимент материалов марки VisiJet, включающий в себя воски и фотополимерные смолы с различными механическими свойствами. Так, VisiJet DentCast используется в качестве отливочного воска в стоматологии, VisiJet X служит в качестве альтернативы популярному ABS-пластику, VisiJet Crystal применяется для создания высокоточных литейных мастер-моделей и т.д.

Технология MJM используется в различных отраслях, требующих создания высокоточных прототипов и готовых изделий. Среди областей применения можно назвать стоматологию, ювелирное дело, промышленный и архитектурный дизайн, разработку электронных компонентов и пр.

▪ **Цветная струйная печать (CJP).** Цветная струйная печать (CJP) – разновидность струйной трехмерной печати (3DP), фирменная технология компании 3D Systems.

Как и в случае с трехмерной струйной печатью (3DP), технология CJP подразумевает нанесение тонких слоев порошкообразных расходных материалов, с последующим выборочным нанесением связующего полимера. Отличительной особенностью технологии является использование разноцветных связующих элементов, что позволяет создавать комплексные цветные 3D-модели.

В качестве расходных материалов используются пластики с разнообразными механическими свойствами, имитирующими резину, ударопрочные термопластики и другие материалы.

В мультфильме ParaNorman использовались куклы, изготовленные с помощью цветной струйной печати (CJP)

Технология цветной струйной печати (CJP) применяется в основном для прототипирования изделий сложной геометрической формы и цветовой гаммы, а также для производства мелкосерийных партий готовых изделий.

Метод применяется в медицине, промышленном дизайне, образовании, архитектурном дизайне и даже в кукольной мультипликации.

Ввиду относительно высокой стоимости CJP принтеров, данная технология пока не получила широкого бытового распространения и используется в основном в профессиональной среде. В то же время, технология CJP гораздо более доступна, чем использование таких высокоточных методов быстрого прототипирования, как выборочное лазерное спекание (SLS), и более универсальна в отношении создания цветных моделей, чем лазерная стереолитография (SLA).

▪ **Стереолитография (SLA).** Стереолитография (SLA или SL) – технология аддитивного производства моделей, прототипов и готовых изделий из жидких фотополимерных смол. Отвердевание смолы происходит за счет облучения ультрафиолетовым лазером или другим схожим источником энергии.

Термин «стереолитография» был придуман в 1986 г. Чарльзом В. Халлом, запатентовавшим метод и аппарат для производства твердых физических объектов за счет последовательного наслоения фотополимерного материала. Патент Халла описывал применение ультрафиолетового лазера, проецируемого на поверхность емкости, заполненной жидким фотополимером. Облучение лазером ведет к затвердеванию материала в точках соприкосновения с лучом, что позволяет вычерчивать контуры заданной модели слой за слоем. В 1986 году Халл основал собственную компанию, 3D Systems, для коммерческого продвижения новой технологии. На сегодняшний день 3D Systems является одним из мировых лидеров среди компаний-разработчиков и поставщиков технологий аддитивного производства.

Метод основан на облучении жидкой фотополимерной смолы лазером для создания твердых физических моделей. Построение модели производится слой за слоем. Каждый слой вычерчивается лазером согласно данным, заложенным в трехмерной цифровой модели. Облучение лазером приводит к полимеризации (затвердеванию) материала в точках соприкосновения с лучом. Стереолитография позволяет создавать модели высокого разрешения.

Главным преимуществом стереолитографии можно считать высокую точность печати. Существующая технология позволяет наносить слои толщиной 15 микрон. Точность изготовления достаточно высока для применения в производстве прототипов стоматологических протезов и ювелирных изделий. Скорость печати относительно высока, если учитывать высокое разрешение подобных устройств: время построения одной модели может составлять лишь



нескольких часов, но в итоге зависит от размера модели и количества лазерных головок, используемых устройством одновременно. Относительно небольшие настольные устройства могут иметь область построения от 50 до 150 мм в одном измерении. В то же время существуют промышленные установки, способные печатать крупногабаритные модели, где изделия измеряются уже в метрах. Готовые изделия могут обладать различными механическими свойствами в зависимости от заложенных характеристик фотополимера: существуют имитаторы твердых термопластиков, резины и других материалов.

Стереолитография позволяет создавать детали высокой сложности, но зачастую имеет высокую стоимость за счет относительно высокой цены расходных материалов. Один литр фотополимерной смолы может стоить от \$80 до \$120, в то время как стоимость устройств может варьироваться от \$10 000 до \$500 000. Высокая популярность технологии способствует разработке более доступных моделей, таких как FORM 1 от компании Formlabs или Pegasus Touch от FSL3D с заявленной стоимостью в \$2 400 и \$3 500 соответственно.

▪ **Цифровая светодиодная проекция (DLP).** Цифровая светодиодная проекция (DLP) – может рассматриваться как вариант стереолитографической 3D-печати.

Метод использует цифровые светодиодные проекторы (DLP), позволяя снижать себестоимость устройств. В отличие от лазерных установок, сканирующих поверхность материала одним или несколькими лазерными головками, DLP принтеры проецируют изображение целого слоя до затвердевания полимерной смолы, после чего наносится новый слой материала и проецируется изображение нового слоя цифровой модели.

О преимуществах того или иного метода сложно судить. DLP-печать появилась совсем недавно, но уже демонстрирует прекрасные результаты, сопоставимые по точности и производительности с оригинальной технологией лазерной стереолитографии (SLA).

С момента появления DLP-принтеры составляют прямую конкуренцию устройствам, работающим по технологии SLA. DLP-принтеры применяются в стоматологии, ювелирной промышленности, свободном дизайне и в производстве сувениров.

Как и стандартные стереолитографические устройства, DLP-принтеры имеют высокие показатели точности печати – минимальная толщина слоя может достигать 15 микрон с использованием существующих установок. Минимальная толщина слоя, наносимого более доступными FDM-принтерами, как правило, составляет не менее 50 микрон. Практически же, разрешение находится в обратной зависимости от скорости наслоения – технология позволяет достигать и более высоких показателей точности ценой снижения скорости печати. Расходные материалы, а именно фотополимерные смолы, имеют широкий диапазон механических характеристик: возможны имитаторы в диапазоне от твердых пластиков до резины. Как правило, печать осуществляется материалом одного цвета, но ограничений палитры не существует. Основным недостатком метода DLP, как и SLA, является относительно высокая стоимость расходных

материалов – порядка \$80-160 за один литр жидкого полимера. Для сравнения, килограмм пластиковой нити для FDM печати можно приобрести за \$35. В итоге, пользователь должен найти правильный баланс между качеством и себестоимостью печати.

▪ **Струйная трехмерная печать (3DP).** Струйная трехмерная печать (3DP) – один из старейших методов аддитивного производства. Эта технология была разработана в Массачусетском технологическом институте в 1993 году. Технология получила коммерческое распространение в 1995 году с помощью компании Z Corporation, приобретенной корпорацией 3D Systems в 2012 году.

Первые устройства использовали в качестве расходного материала гипс, что обуславливает обиходное название технологии – «гипсовая трехмерная печать». Печатные головки экструдировали воду, склеивающую материал. Со временем технология прогрессировала и теперь включает возможность добавки различных агентов: красителей, уплотнителей и пр.

В настоящее время помимо гипса используются самые разные материалы, включая пластики, песчаные смеси и даже металлы. Технология способна создавать трехмерные модели из любого порошкового материала, а добавление красителей в связующий материал позволяет осуществлять цветную печать.

Практичность же моделей зависит от последующей обработки. Например, изделия, созданные из металлического порошка, будут обладать видом, схожим с необработанными металлическими изделиями. С другой стороны, их прочность будет напрямую зависеть от связующего материала и, как правило, будет невысока. Для улучшения механических свойств можно прибегнуть к обжигу с помощью гончарных печей. Во избежание деформации моделей обжиг, как правило, подразумевает не спекание, а выплавку изначального связующего материала с пропиткой более твердой субстанцией. Например, возможна выплавка или выжигание связующих пластиков с одновременной пропиткой стальной модели медью или бронзой.

Готовые изделия будут обладать высокой долговечностью, но их механические характеристики все равно не будут достаточными для применения в качестве функциональных прототипов деталей механизмов. Как правило, модели, изготовленные по технологии 3DP, используются в качестве сувениров, украшений или макетов – любых моделей высокой геометрической сложности, не подверженных высоким механическим нагрузкам.

Технология 3DP пользуется широкой популярностью и применяется в самых различных отраслях, зачастую теряя свое оригинальное обозначение. Так, в сфере биопечати используется вариант технологии, известный как «капельная/струйная печать» или DOD (Drop on Demand). Этот метод применяется для послойного нанесения живых клеток с целью построения органических тканей.

Одним из наиболее ярких методов применения 3DP стало создание кондитерских принтеров ChefJet, строящих трехмерные съедобные модели из сахаросодержащих продуктов, склеивая частицы материала водой, наподобие оригинальных «гипсовых» принтеров.

**Выборочное лазерное спекание (SLS).** Технология выборочного лазерного спекания (SLS) была разработана Карлом Декардом и Джозефом Биманом из Университета Техаса в Остине в середине 1980-х. Исследования финансировались Агентством передовых оборонных исследовательских проектов США (DARPA). Впоследствии, Декард и Биман были вовлечены в компанию DTM, образованную для продвижения технологии SLS на рынок. В 2001 году DTM была выкуплена конкурирующей компанией 3D Systems. Последний из патентов по технологии SLS был заявлен 28 января 1997 года. Его срок действия истек 28 января 2014 года, что делает технологию общедоступной.

Технология (SLS) подразумевает использование одного или нескольких лазеров (как правило, углекислотных) для спекания частиц порошкообразного материала до образования трехмерного физического объекта. В качестве расходных материалов используются пластики и металлы.

Специфика технологии позволяет создавать детали практически неограниченной сложности из различных материалов

Так как плотность изделия зависит не от продолжительности облучения, а от максимальной энергии лазера, в основном используются пульсирующие излучатели. Перед началом печати расходный материал подогревается до температуры чуть ниже точки плавления, чтобы облегчить процесс спекания.

Компания New Balance использует технологию SLS при создании обуви для профессиональных атлетов

Некоторые SLS-устройства используют однородный порошок, производимый с помощью барабанно-шаровых мельниц, но в большинстве случаев используются композитные гранулы с тугоплавким ядром и оболочкой из материала с пониженной температурой плавления.

В сравнении с другими методами аддитивного производства, SLS отличается высокой универсальностью в плане выбора расходных материалов. Сюда входят различные полимеры (например, нейлон или полистирол), металлы и сплавы (сталь, титан, драгоценные металлы, кобальт-хромовые сплавы и др.), а также композиты и песчаные смеси.

Технология SLS получила широкое распространение по всему миру благодаря способности производить функциональные детали сложной геометрической формы. Хотя изначально технология создавалась для быстрого прототипирования, в последнее время SLS применяется для мелкосерийного производства готовых изделий. Достаточно неожиданным, но интересным применением SLS стало использование технологии в создании предметов искусства.

▪ **Выборочное тепловое спекание (SHS).** Технология SHS основана на плавке слоев термопластического или металлического порошка с помощью теплового излучателя.

По окончании формирования слоя рабочая платформа передвигается вниз на дистанцию, соответствующую толщине одного слоя, после чего новый слой порошка наносится с помощью автоматизированного ролика, а затем проводится спекание нового слоя по контурам, заданным цифровой трехмерной моделью.

Лучше всего технология SHS подходит для производства недорогих функциональных прототипов. Относительно невысокие энергетические затраты позволяют создавать настольные SHS-принтеры – такие, как Blueprinter.

Выборочное тепловое спекание (SHS) схоже с выборочным лазерным спеканием (SLS) – единственное существенное различие заключается в использовании тепловой печатающей головки вместо лазерной. Такое решение позволяет снизить стоимость и габариты устройств, вплоть до возможности создания настольных принтеров. С другой стороны, энергетическая отдача SHS-принтеров мала по сравнению с SLS устройствами, что ограничивает выбор материалов.

Как правило, в качестве расходных материалов используются пластики или достаточно легкоплавкие металлы. В последнем случае модели зачастую требуют дополнительного обжига для повышения прочности.

▪ **Изготовление объектов методом ламинирования (LOM).** Метод подразумевает последовательное склеивание листового материала (бумаги, пластика, металлической фольги) с формированием контура каждого слоя с помощью лазерной резки. Объекты, производимые этим методом, обычно подлежат дополнительной механической обработке после печати. Толщина наносимого слоя напрямую зависит от толщины используемого листового материала.

Компания Mcor Technologies использует вариант технологии, получивший название «Выборочное ламинирование» или SDL. Этот метод предусматривает нанесения клея только в местах, входящих в состав расчетной модели, что облегчает процесс удаления лишнего материала. В отличие от стандартной технологии на основе лазерной резки, SDL использует механическую резку с помощью лезвия из карбида вольфрама. Это позволяет несколько снизить стоимость устройств.

Бумажные модели приближаются по физическим характеристикам к древесине, что позволяет проводить соответствующую механическую обработку. Разрешение печати несколько уступает таким высокоточным методам, как стереолитография (SLA) или выборочное лазерное спекание (SLS). Технология допускает производство достаточно крупногабаритных моделей.

▪ **Электронно-лучевая плавка (EBM).** Электронно-лучевая плавка (EBM) схожа с выборочной лазерной плавкой (SLM), главное отличие заключается в использовании электронных излучателей (электронных пушек) вместо лазеров в качестве источников энергии для плавки. В основе технологии лежит использование электронных пучков высокой мощности для сплавления металлического порошка в вакуумной камере с образованием последовательных слоев, повторяющих контуры цифровой модели. В отличие от технологий спекания, электронно-лучевая плавка позволяет создавать детали особо высокой плотности и прочности.

Этот метод производства деталей произвольных форм позволяет создавать металлические модели высокой плотности из металлического порошка. Готовые изделия практически не отличаются от литых деталей по механическим свойствам. Устройство считывает данные с файла, содержащего трехмер-

ную цифровую модель, и наносит последовательные слои порошкового материала. Контуры слоев модели вычерчиваются электронным пучком, плавящим порошок в местах соприкосновения. Плавка производится в вакуумных рабочих камерах, что позволяет работать с материалами, чувствительными к оксидации – например, с чистым титаном.

Расходные материалы состоят из чистого металлического порошка без связующего наполнителя, а готовые модели не отличаются пористостью. Таким образом, не требуется обжигание напечатанной модели для достижения необходимой механической прочности. Этот аспект позволяет классифицировать ЕВМ в одном ряду с выборочной лазерной плавкой (SLM) и отдельно от технологий выборочного лазерного спекания (SLS) и прямого лазерного спекания металлов (DMLS), зачастую требующих обжига после печати для достижения максимальных прочностных характеристик. В сравнении с SLS, SLM и DMLS, ЕВМ обладает более высокой скоростью построения за счет более высокой мощности излучателей и электронного, а не электромеханического, отклонения пучков.

Электронно-лучевая плавка проводится при повышенных фоновых температурах, достигающих порядка 700...1000°С, что позволяет создавать детали, не страдающие от остаточного механического напряжения, вызываемого градиентом температур между уже охлажденными и еще горячими слоями. Кроме того, полная плавка расходного порошка позволяет производить монолитные изделия – отсюда максимальная прочность и отсутствие необходимости обжига.

Использование в качестве расходных материалов титановых сплавов позволяет применять технологию ЕВМ для производства медицинских имплантатов. Начиная с 2007 года две европейские компании, Adler Ortho и Lima Corporate, а также американская компания Exactech используют технологию ЕВМ для производства ацетабулярных чашек (имплантатов тазобедренного сустава). Технология получила применение в аэрокосмической отрасли: Boeing, Lockheed Martin и NASA используют ЕВМ для производства деталей реактивных и ракетных двигателей, а также несущих элементов конструкции летательных аппаратов.

▪ **Прямое лазерное спекание металлов (DMLS).** Технология производства металлических изделий DMLS разработана компанией EOS из Мюнхена.

Процесс включает использование трехмерных моделей в формате STL в качестве чертежей для построения физических моделей. Трехмерная модель подлежит цифровой обработке для виртуального разделения на тонкие слои с толщиной, соответствующей толщине слоев, наносимых печатным устройством. Готовый «построечный» файл используется как набор чертежей во время печати. В качестве нагревательного элемента для спекания металлического порошка используются оптоволоконные лазеры относительно высокой мощности – порядка 200 Вт. Некоторые устройства используют более мощные лазеры с повышенной скоростью сканирования для более высокой производительности.

Как вариант, возможно повышение производительности за счет использования нескольких лазеров.

DMLS позволяет создавать цельные металлические детали сложной геометрической формы. Порошковый материал подается в рабочую камеру в количествах, необходимых для нанесения одного слоя. Специальный валик выравнивает поданный материал в ровный слой и удаляет излишний материал из камеры, после чего лазерная головка спекает частицы свежего порошка между собой и с предыдущим слоем согласно контурам, определенным цифровой моделью. После завершения вычерчивания слоя процесс повторяется: валик подает свежий материал, и лазер начинает спекать следующий слой. Привлекательной особенностью этой технологии является очень высокое разрешение печати – в среднем около 20 микрон. Для сравнения, типичная толщина слоя в любительских и бытовых принтерах, использующих технологию FDM/FFF, составляет порядка 100 микрон.

Технология практически не имеет ограничений по геометрической сложности построения, а высокая точность исполнения минимизирует необходимость механической обработки напечатанных изделий.

Технология DMLS обладает несколькими достоинствами по сравнению с традиционными производственными методами. Наиболее очевидным является возможность быстрого производства геометрически сложных деталей без необходимости механической обработки. Производство практически безотходно, что выгодно отличает DMLS от субтрактивных технологий. Технология позволяет создавать несколько моделей одновременно с ограничением лишь по размеру рабочей камеры. Построение моделей занимает порядка нескольких часов, что несоизмеримо более выгодно, чем литейный процесс, который может занимать до нескольких месяцев с учетом полного производственного цикла. С другой стороны, детали, произведенные лазерным спеканием, не обладают монолитностью, а потому не достигают тех же показателей прочности, что и отлитые образцы, или детали, произведенные субтрактивными методами.

На данный момент установки DMLS применяются только в профессиональной среде из-за высокой стоимости. DMLS активно используется в промышленности ввиду возможности построения внутренних структур цельных деталей, недоступных по сложности традиционным методам производства.

Технология DMLS применяется для производства готовых изделий малого и среднего размера в различных отраслях, включая аэрокосмическую, стоматологическую, медицинскую и др. Типичный размер области построения существующих установок составляет 250x250x250 мм, хотя технологических ограничений на размер не существует – это лишь вопрос стоимости устройства.

Северо-западный политехнический университет Китая использует DMLS системы для производства элементов конструкции самолетов. Исследования, проведенные EADS, также указывают на снижение себестоимости и отходов при использовании технологии DMLS для производства сложных конструкций в единичных экземплярах или мелкими партиями.

В качестве расходных материалов могут использоваться практически любые металлы и сплавы в порошковой форме. На сегодняшний день успешно применяется нержавеющая сталь, кобальт-хромовые сплавы, титан и прочие материалы.

▪ **Производство электронно-лучевой плавкой (EBF<sub>3</sub>).** Технология EBF<sub>3</sub> нацелена на аддитивное производство комплексных моделей с пониженным по сравнению с традиционными методами расходом материалов и практическим отсутствием необходимости механической обработки. NASA надеется использовать EBF<sub>3</sub> для производства металлических частей в условиях отсутствия гравитации. Метод использует электронные пучки высокой мощности для последовательного наплавления материалов в форме металлической проволоки. Технологические особенности электронно-лучевой плавки, наряду с экологичностью и эффективностью, делают процесс привлекательным для использования в космосе.

Концепция EBF<sub>3</sub> основана на постройке «практически готовых форм» («Near-net-shape» в англоязычной терминологии). Это означает, что изделия создаются на основе трехмерных цифровых моделей с настолько высокой точностью, что механическая обработка и доводка изделий практически не требуется. Современные производственные методы с использованием программного управления основываются на обработке трехмерной цифровой модели для создания алгоритмов, используемых в машинной обработке. Алгоритмы служат для определения траектории движения режущих инструментов в процессе создания готового изделия из болванки. В случае с EBF<sub>3</sub> процесс имеет прямо противоположное направление: те же самые цифровые модели используются для выработки производственных алгоритмов, регулирующих не удаление лишней массы, а нанесение необходимого материала. Технология использует электронные излучатели высокой мощности в вакуумной камере для плавки металла. Электронный пучок передвигается по рабочей поверхности, повторяя контуры цифровой модели, в то время как металлическая проволока постепенно подается в точку фокусирования пучка. Расплавленный материал немедленно застывает, формируя прочные слои заданной модели. Процесс повторяется до построения цельной модели, требующей лишь минимальной обработки внешней поверхности. Технология EBF<sub>3</sub> позволяет создавать объекты размером от нескольких миллиметров до нескольких метров. Практические ограничения по объему построения накладываются физическими размерами вакуумной рабочей камеры и количеством доступного расходного материала.

▪ **Моделирование методом послойного наплавления (FDM).** Технология FDM подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков.

Технология печати методом послойного наплавления (FDM) была разработана С. Скоттом Трампом в конце 1980-х и представлена на рынке компанией Stratasys, начиная с 1990. На данный момент технология получает все большее

распространение среди энтузиастов, создающих принтеры с открытым исходным кодом, а также коммерческих компаний, ввиду истечения срока действия оригинального патента. В свою очередь, широкое распространение технологии привело к существенному снижению цен на 3D-принтеры, использующие данный метод производства.

Изделие, или «модель», производится выдавливанием (экструзией) и нанесением микрокапель расплавленного термопластика с формированием последовательных слоев, застывающих сразу после экструдирования.

Пластиковая нить разматывается с катушки и скармливается в экструдер – устройство, оснащенное механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для плавки материала и соплом, через которое осуществляется непосредственно экструзия. Нагревательный элемент служит для нагрева сопла, которое в свою очередь плавит пластиковую нить и подает расплавленный материал на строящуюся модель. Как правило, верхняя часть сопла наоборот охлаждается с помощью вентилятора для создания резкого градиента температур, необходимого для обеспечения плавной подачи материала.

Моделирование методом послойного наплавления (FDM) применяется для быстрого прототипирования и быстрого производства. Быстрое прототипирование облегчает повторное тестирование с последовательной, пошаговой модернизацией объекта. Быстрое производство служит в качестве недорогой альтернативы стандартным методам при создании мелкосерийных партий.

Среди используемых материалов числятся полифенилсульфон, поликарбонат и полиэфиримид. Эти материалы ценятся за термостойкость. Некоторые варианты полиэфиримида, в частности, обладают высокой огнеупорностью, что делает их пригодными для использования в аэрокосмической отрасли.

FDM является одним из наименее дорогих методов печати, что обеспечивает растущую популярность бытовых принтеров, основанных на этой технологии. В быту 3D-принтеры, работающие по технологии FDM, могут применяться для создания самых разных объектов целевого назначения, игрушек, украшений и сувениров.

## **ГЛАВА 11. ТРЕХМЕРНАЯ ГРАФИКА И АНИМАЦИЯ**

Статичная графика и фотография не всегда удовлетворяют своих зрителей. Они только косвенно передают движение, а движение – это жизнь. Только в XIX веке появились предвестники анимации – различные устройства, позволяющие совместить или «оживить» неподвижные картинки.

Одно из таких устройств – тауматроп, представляло собой диск, на одной стороне которого была нарисована птица, на другой – клетка. Если диск вращать очень быстро, то мы увидим птичку, сидящую в клетке. Два рисунка физически разделены, но в нашем восприятии они сливаются в единое целое. Тауматроп, изобретенный в 1825 году английским врачом Джоном Парисом, основан на устойчивости зрительного образа на сетчатке глаза. Зрительное впечатление вызывается световым раздражением сетчатки глаза. С прекращением



раздражения зрительное впечатление исчезает не сразу, а продолжается приблизительно 0,1 секунды. Другими словами, если достаточно быстро и незначительно изменить расположение или форму объекта, то глаз будет воспринимать это как движение. Это явление и легло в основу анимации и кино.

Быстрое изменение видимого изображения является основным принципом анимации. Для создания объекта, движущегося через экран с одновременным изменением формы, нужно в каждом кадре изменить форму объекта и сдвинуть его на несколько пикселей в заданном направлении. При быстром воспроизведении отдельные изменения сливаются, и вы видите движение.

Но создание анимационных фильмов оборачивается для их создателей кропотливым трудом. Чтобы Чебурашка или Винни Пух бегали по экрану в течение одной минуты, и их движения были плавными, требуется 1440 подробных рисунков. Каждый из них приходится рисовать вручную на листе прозрачной пленки, чтобы потом наложить на фон. Пятнадцатиминутный мультфильм может состоять из 30 тысяч рисунков, и над его созданием группа из 20 опытных мультипликаторов, художников и редакторов трудится не меньше месяца.

Компьютер позволил упростить и резко ускорить процесс «оживления». Следуя инструкциям оператора, он может нарисовать и помочь раскрасить до 80% изображений, входящих в мультфильм. Так, при помощи компьютера художнику удастся раскрасить до 500 листов пленки в день, по сравнению с 35...40 листами, которые он сделал бы вручную. Теперь пятнадцатиминутный фильм можно закончить менее чем за неделю.

Компьютерная анимация экономит время художника многими способами. Введенное в компьютер изображение можно по желанию увеличивать, уменьшать или размножать. Процесс, называемый раскадровкой, позволяет мультипликатору рисовать только ключевые кадры движения. Современной компьютерной программе достаточно этой информации, чтобы нарисовать все промежуточные кадры.

Применение компьютера упростило и процесс раскрашивания. Прикоснувшись устройством указания к экрану, художник мгновенно заполняет цветом участок рисунка. Если цвет не понравился, его можно заменить. При традиционной мультипликации для этого потребовалось бы очистить изображение от старой краски и нанести новую.

Компьютер не только упростил создание традиционной анимации, но и привнес новые элементы: объем и глубину. Появились трехмерные изображения (3D-изображения) и объемная анимация, которая нашла широкое применение в различных сферах деятельности человека.

Трехмерная графика характеризуется многоаспектной интеграцией: пользователю необходимо обладать знаниями в областях проектирования, освещения, перемещения объектов и камер, декорирования объемных моделей, использования звуковых и визуальных эффектов, сценарных и покадровых разработок, не считая чисто технических сложностей.

В силу такой специфики трехмерной графики (а именно ее чрезвычайной сложности) данная глава стоит особняком: в ней представлена только краткая информация о составляющих элементах этой области: пространствах, моделировании объектов, их текстурировании, анимации, освещении и визуализации.

Заметим, что, не смотря на то, что глава разбита на разделы, эта разбивка довольно условна. Очень часто трудно разделить процессы создания 3D-изображений от их последующей анимации и тем более визуализации.

## 11.1. Трехмерная графика

Наряду с программами традиционной 2D-графики в последнее десятилетие широчайшее распространение и популярность получили программы 3D-моделирования, анимации и визуализации. При этом такие известные программные решения, как 3D Studio MAX или Maya являются, по сути, гибридными графическими пакетами. С одной стороны, они предоставляют дизайнеру возможность манипулирования 2D- и 3D-векторными объектами, с другой, результатом работы является растровое изображение – отдельный кадр или видеоролик.

В силу специфики 3D-моделирования и возможности работать с анимацией такие программы занимают особое место в линейке графических программ. Если попытаться классифицировать пакеты 3D-графики с точки зрения их целевой функции, можно выделить следующие занимаемые ими сегменты рынка: визуальные спецэффекты для кино- и видеоиндустрии; телевизионная реклама; интерактивные игры; промышленный и архитектурный дизайн; научная, медицинская и судебная визуализация; компьютерные тренажеры и обучающие программы.

### 11.1.1. Рабочее пространство

Определение «трехмерная» в названии этой главы заставляет пристальнее взглянуть на рабочее пространство, которым оперируют соответствующие программные средства. Понятно, что традиционная 2D-плоскость рисунка (как, например, в графических редакторах CorelDRAW, Adobe Illustrator или Macromedia FreeHand) для этой цели не подходит. В данном случае потребуется такое описание рабочего пространства, в котором можно создавать не только геометрическую форму моделируемых трехмерных объектов, но и их взаимное расположение, как в статике, так и в движении.

**Системы координат.** Все программы 3D-графики, прежде всего, позволяют использовать **декартову (картезианскую) систему координат** (рис. 11.1).

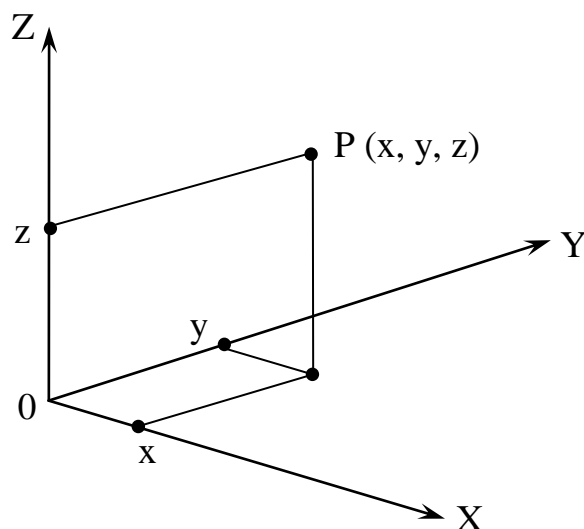


Рис. 11.1. Картезианская система координат

В этой системе координат положение произвольной точки  $P$  в пространстве задается тремя вещественными числами (координатами), обозначающими перпендикулярные проекции этой точки на три фиксированные, взаимно перпендикулярные линии, называемые осями координат.

Обычно эти три оси координат обозначаются как ось  $X$  (абсцисса), ось  $Y$  (ордината) и ось  $Z$  (аппликата), а отложенные на них координаты точки записываются как  $(x, y, z)$ .

Точка с координатами  $(0, 0, 0)$  называется **началом системы координат**.

Реже, но все же достаточно часто, используются две другие системы координат: **полярная цилиндрическая** и **полярная**.

В цилиндрической системе координат (рис. 11.2) положение точки в пространстве также описывается тремя координатами  $(r, \theta, z)$ :

- $R$  – это расстояние от начала координат (точки  $0$ ) до проекции точки  $P$  на плоскость  $XY$ ;
- $\theta$  – это угол между фиксированной плоскостью  $XY$  и полуплоскостью, проходящей через точку  $P$  и ось  $Z$ ;
- $z$  – расстояние от точки  $P$  до плоскости  $XY$ .

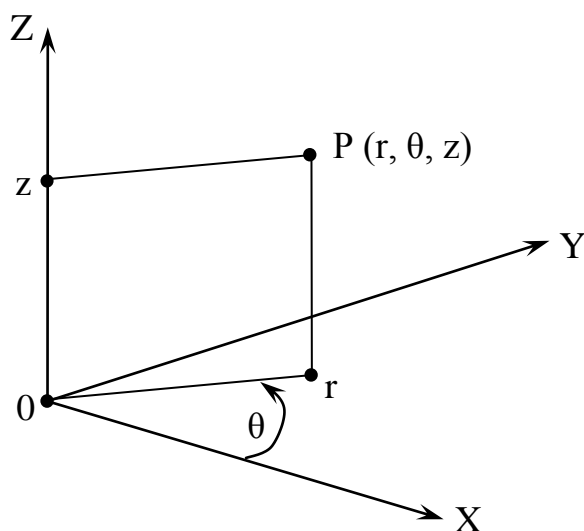


Рис. 11.2. Цилиндрическая система координат

В сферической системе координат (рис. 11.3) положение точки в пространстве задается тремя координатами  $(r, \theta, \phi)$ :

- $r$  – расстояние от начала координат;
- углом  $\theta$  (азимут) между фиксированной плоскостью  $XY$  и полуплоскостью, проходящей через точку  $P$  и ось  $Z$ ,
- углом  $\Phi$  (зенит) между фиксированной полярной полуосью  $OZ$  и лучом, проведенным через начало координат (точку  $0$ ), и точку  $P$ .

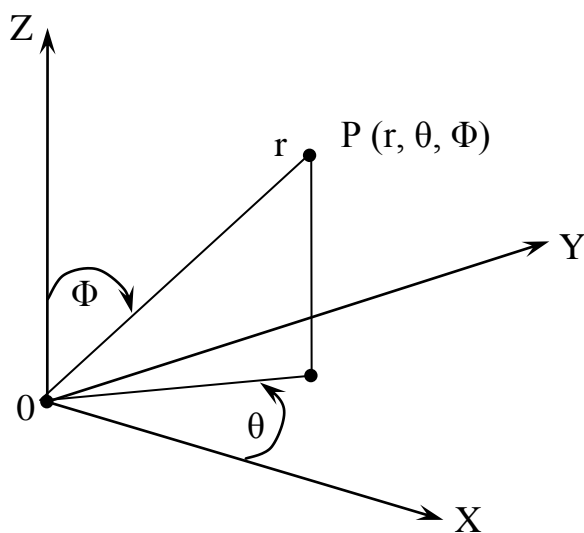


Рис. 11.3. Сферическая система координат

Отметим, что координаты точки могут быть взаимнооднозначно пересчитаны из одной системы координат в другую.

Например, пересчет из полярной сферической системы координат в декартовскую будет выглядеть так:

$$x = r \sin \Theta \cos p;$$

$$y = r \sin \Theta \sin p;$$

$$z = r \cos \Theta.$$

**Типы пространств.** В зависимости от задачи и этапа работы (например, исходное моделирование формы объекта или последующее размещение уже готовых объектов на «сцене») можно выбирать различные типы пространств и связанных с ними координатных систем.

Чаще всего программы трехмерного моделирования предоставляют следующие варианты пространств:

- **Пространство объекта (Object space)** предназначено для моделирования (описания) формы объекта в его собственной (локальной) системе координат безотносительно того, где он будет размещен на сцене, как ориентирован или масштабирован. У каждого объекта существует своя собственная система координат.

- **Мировое пространство (World space)** используется для размещения объектов на сцене, осуществления различного рода трансформаций (перемещения, поворота и масштабирования объектов), описания освещения сцены, вычисления столкновений между объектами при моделировании динамики их движения и т. п. Это единое пространство для всех объектов.

- **Видовое пространство (View space)** ассоциировано с виртуальным наблюдателем (обычно камерой) или определенной проекцией сцены (например, фронтальным видом) и описывает ту часть сцены, которая доступна для просмотра и работы в видовом окне (viewport). Это своего рода точка зрения.

- **Экранное пространство (Screen space)** – это D-пространство (плоскость), в котором отображаются аксонометрические или перспективные проекции 3D-объектов на плоскость поверхности монитора.

- **UVW-параметрическое пространство (UVW parametric space)** используется при математическом моделировании сложных кривых и поверхностей (например, NURBS-объектов) или для задания UVW-координат текстурирования поверхностей (UVW mapping coordinates).

### 11.1.2. Моделирование объектов

В первом приближении все создаваемые трехмерные объекты можно разделить на геометрические и негеометрические.

Первые из них используются для моделирования фактической «начинки» сцены: персонажей, предметов, другими словами, – объектов вещественного мира. Вторые же применяются для придания сцене реалистичности (скажем, правильного освещения), для моделирования физических сил, действующих на объекты (например, гравитации или порывов ветра), для реализации других утилитарных целей (например, повышения точности построений, измерения расстояний и т.п.).

Другими словами, геометрические объекты будут присутствовать в визуализированном кадре явно (как кривые или поверхности), а негеометрические – опосредствованно (в виде бликов, теней, ускорений и т. п.).

## Геометрические объекты

Весьма проблематично в кратком обзоре возможностей трехмерной графики исчерпывающе рассказать обо всем многообразии инструментов моделирования, используемых в различных программах. Поэтому оставляем за собой право выбрать один из самых распространенных и мощных 3D-пакетов и на его примере обсудить основные типы объектов и технологии их моделирования. В качестве программы 3D-моделирования и анимации выберем уже упоминаемый пакет 3D Studio MAX компании Discreet. Вот краткий перечень типов геометрических объектов, которые могут быть созданы в этой программе.

- **Сплайновые кривые (Spline curves)** (рис. 11.4) – это кривые (Безье или NURBS), смоделированные таким образом, что они могут служить заготовками для построения поверхностей (экструзии, тела вращения или лофтинга) или их можно использовать в качестве траектории движения. Для кривых Безье определен, в частности, набор примитивов (например, окружность или текст), которые впоследствии могут быть конвертированы в явное описание формы. При отображении на экране и при финальной визуализации кривые аппроксимируются линейными отрезками с заданной точностью.



Рис. 11.4. Сплайновые кривые

- **Полигональные объекты (Polygonal objects)** (рис. 11.5) – это полигональные примитивы, описываемые наборами динамически изменяемых параметров (например, длин, радиусов) или полигональные сетки, определяемые как наборы граней, ограниченных ребрами, попарно соединяющими вершины. Использование примитивов существенно облегчает дизайнеру (и программе!)

манипулирование формой объекта, однако служит определенным ограничением при построении сложных полигональных поверхностей. При визуализации таких 3D-примитивов (например, сфер или цилиндров) их форма аппроксимируется гранями с заданной точностью (речь идет о так называемой «сегментации»). Так как поверхность полигонального объекта представляет собой, в конечном счете, набор плоских граней, то для придания ей визуальной гладкости применяют различные алгоритмы сглаживания (smoothing). Ввиду относительно малой затратности вычислительных ресурсов компьютера при интерактивной визуализации таких объектов данная технология моделирования широко используется при создании 3D-игр.

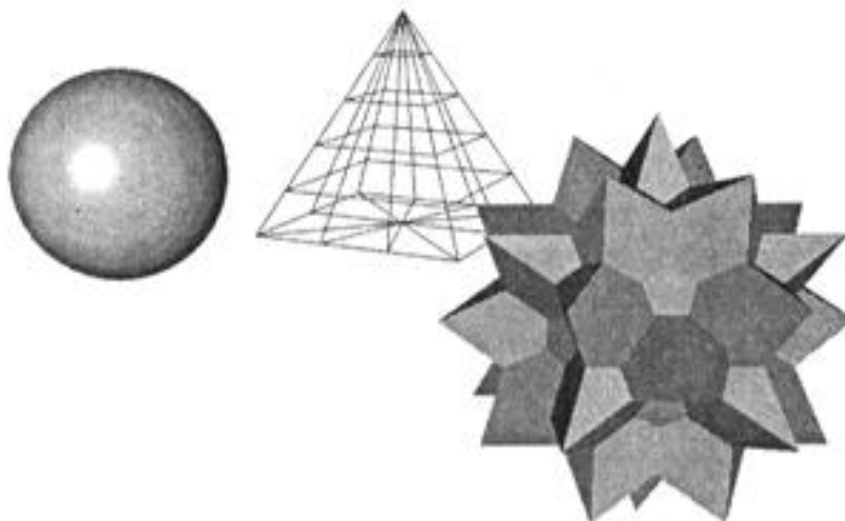


Рис. 11.5. Полигональные объекты

▪ **Поверхности Безье (Bezier patches)** (рис. 11.6) – это математически гладкие поверхности, описываемые расположением вершин Безье. Эти вершины определяют их кривизну при помощи дополнительных управляющих точек на концах касательных к поверхности векторов. Подобные поверхности требуют большей нагрузки для вычислительной системы, зато позволяют моделировать сложные криволинейные формы объектов.

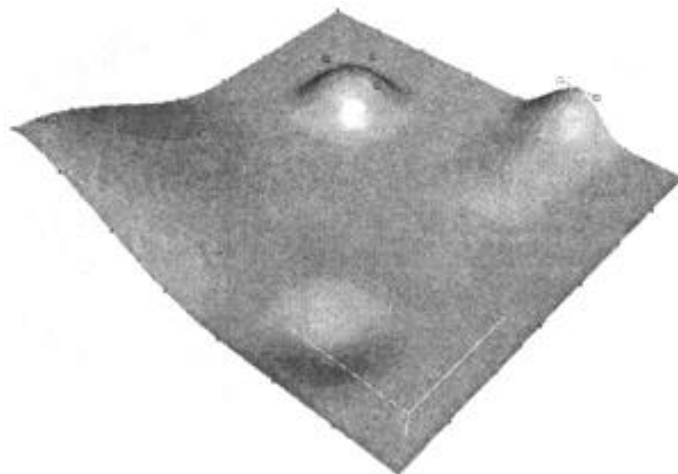


Рис. 11.6. Поверхность Безье

▪ **NURBS-поверхности (Non-Uniform Rational B-splines surfaces)** (рис. 11.7) – это наиболее универсальный и эффективный способ моделирования неоднородных криволинейных поверхностей. Такие поверхности описываются в особом четырехмерном пространстве, в котором каждая управляющая вершина, кроме трех координат  $x$ ,  $y$  и  $z$ , имеет еще и дополнительную весовую характеристику. Изменяя положение и относительный вес вершины, можно предельно точно управлять формой объекта.

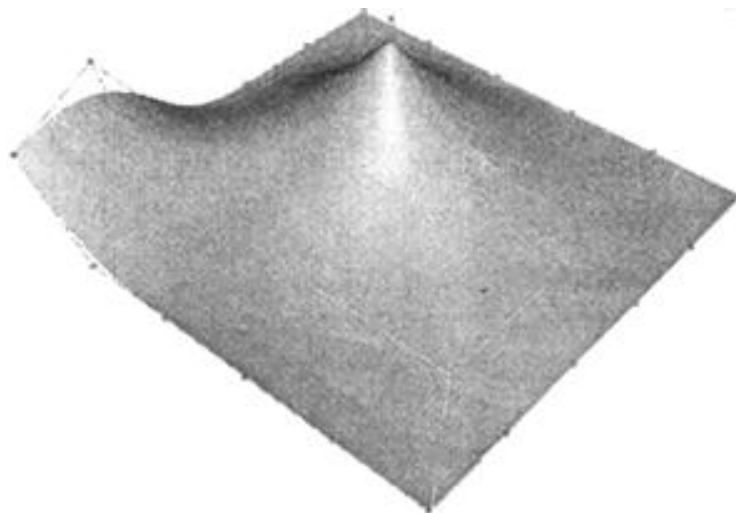


Рис. 11.7. NURBS-поверхность

▪ **Составные объекты (Compound objects)** (рис. 11.8) представляют собой комбинацию (или, если угодно, композицию) двух или более смоделированных заранее заготовок. В зависимости от того, какое именно составное тело создается, заготовками могут служить кривые или объемы (поверхности). Типичными примерами составных объектов служат: лофт-объекты – тела, построенные по сплайновым сечениям; булевы объекты – результаты булевских операций (объединения, вычитания или пересечения) между объемами; морфобъекты – анимационные объекты, изменяющие свою форму за счет интерполяции положения вершин поверхности между базовым и целевыми объектами.

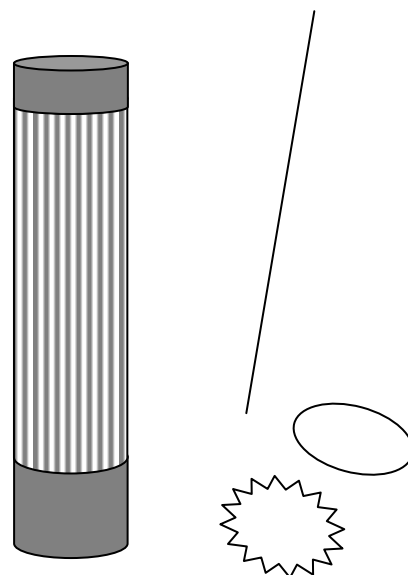


Рис. 11.8. Составной объект и его элементы



▪ **Системы частиц (Particle systems)** (рис. 11.9) – это объекты-эмиттеры, генерирующие по заданному алгоритму частицы с определенной формой, начальной скоростью, сроком «жизни» и другими характеристиками. Такие анимационные объекты используются для моделирования дождя, пузырьков газа в жидкости, осколков взрывающихся снарядов и тому подобных образцов объективной реальности.

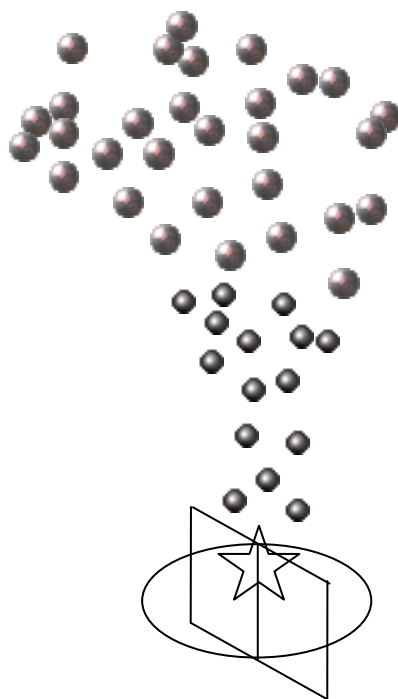


Рис. 11.9. Система частиц

▪ **Динамические объекты (Dynamics objects)** (рис. 11.10) позволяют моделировать объекты, реагирующие на приложенные к ним внешние силы: пружины и амортизаторы. Используются при моделировании динамики движения объектов, когда пружина, например, сама растягивается под воздействием подвешенного на ней груза.

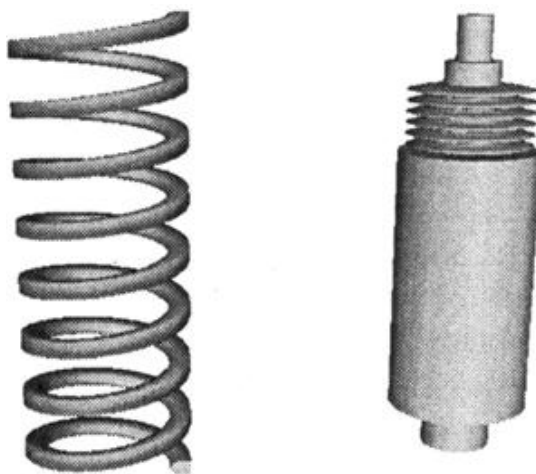


Рис. 11.10. Динамические объекты

## Негеометрические объекты

Продолжая рассматривать программу 3D Studio MAX в качестве примера, кратко опишем инструментарий создания негеометрических объектов. Внимания заслуживают следующие типы объектов.

- **Источники света (Light objects)** (рис. 11.11) используются при моделировании наружного и внутреннего освещения. Различные типы источников реализуют различные алгоритмы распространения света: всенаправленные лучи из точечного источника; сфокусированный луч из прожекторного источника; параллельные лучи из направленного источника. Кстати, последний тип чаще всего используется при моделировании солнечного света. При этом испускаемый источниками свет может быть по-разному окрашен, он может затухать на определенном расстоянии, а также порождать тени от объектов. К сожалению, большинство 3D-программ не моделируют корректно рассеянный свет, что напрямую сказывается на фотореалистичности итоговой визуализации.

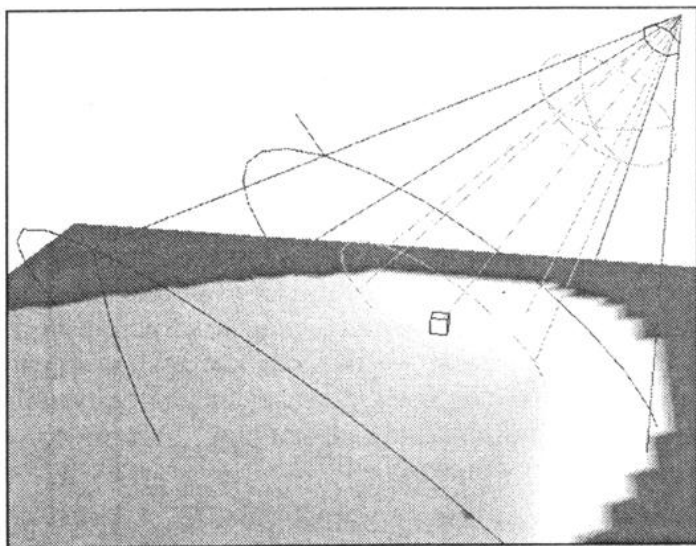


Рис. 11.11. Пример организации освещения

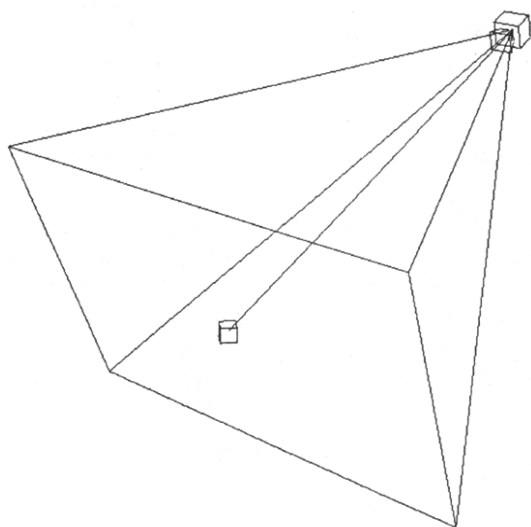


Рис. 11.12. Пример установки камеры

- **Камеры (Cameras)** позволяют полностью контролировать отображение объектов в плоскости кадра (рис. 11.12). Важнейшей характеристикой является фокусное расстояние объектива камеры, определяющее ее поле зрения (field of view – FOV). Оба этих параметра взаимосвязаны и измеряются в миллиметрах и градусах соответственно. Еще одной важной характеристикой камеры являются плоскости отсечения, ограничивающие видимую по глубине часть сцены (фотографы определяют этот параметр как «глубину резкости»).

- **Системы сочленений (Bones systems)** (рис. 11.13) – это структуры, состоящие из иерархически связанных «костей», описывающих сложную кинематику движения моделируемого объекта (например, человека). Обычно они применяются при использовании инверсной кинематики (inverse kinematics – IK), как метода манипулирования связанными структурами объектов. Оставаясь невидимыми при визуализации, они являются своеобразной арматурой (скелетом) анимируемого объекта или нескольких объектов.

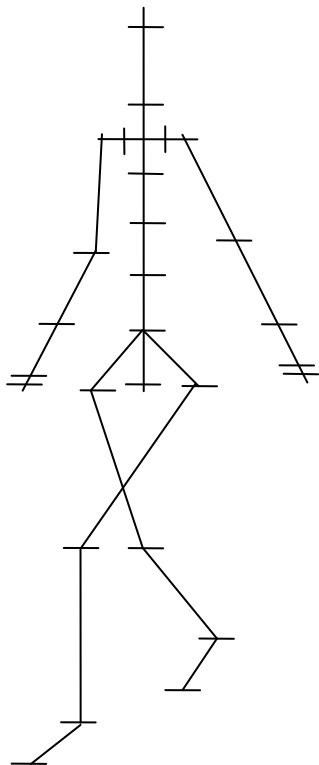


Рис. 11.13. Пример сочленений

- **Искривители пространства (Space warps)** (рис. 11.14) реализуют динамические воздействия внешних сил на объекты, это – своеобразные силовые поля, влияющие на определенные объекты. Примерами могут служить волновая деформация поверхности или ударная волна, разбрасывающая фрагменты объекта в пространстве.

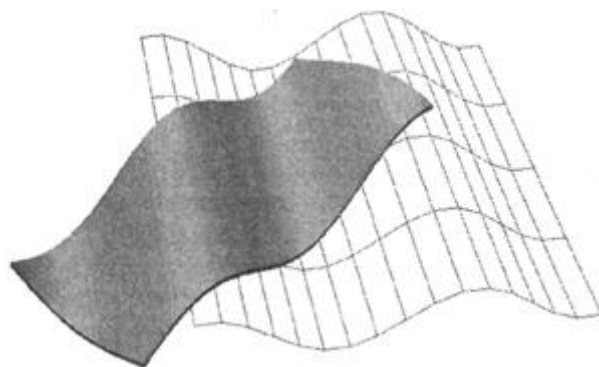


Рис. 11.14. Искривитель пространства

### 11.1.3. Материалы и карты

Материалы определяют визуальные свойства поверхностей, то есть описывают то, как поверхность объекта взаимодействует с освещением сцены. Раз-

личные программы используют разные наборы параметров описания свойств материалов. В качестве примера для данного случая можно рассмотреть пакет Lightscape. В нем, в частности, замечательно реализовано описание характеристик материала. Эта программа является одной из немногих, где используется физически корректная технология моделирования материалов.

Взаимодействие материала со светом определяют следующие свойства поверхностей:

- цвет (color);
- прозрачность (transparency);
- глянец (shininess);
- коэффициент преломления (refractive index).

Цвет и прозрачность определяют прямое (direct) и не прямое (indirect) рассеянное освещение (diffuse lighting), вычисляемое при итоговой визуализации с помощью алгоритма излучательности (radiosity).

Коэффициент преломления и глянец (полированность) материала определяют блики (highlights) и зеркальные отражения (specular reflections) на поверхности. Блики и отражения просчитываются при визуализации с помощью алгоритма трассировки лучей (ray tracing).

**Цвет.** Выбирая цвет материала, необходимо ответить на следующие вопросы:

- Какой у материала цветовой тон (hue), то есть какого он собственно цвета (красного, зеленого или какого-либо другого)?
- Какая у него насыщенность (saturation), то есть как сильно окрашен отраженный свет? Высокая насыщенность делает цвета более глубокими, а меньшая насыщенность ведет к исключению цвета (переход к ахроматическим цветам).
- Какова его яркость (value), то есть как много света отражает материал? Этот параметр влияет также на характеристику зеркальности поверхности.

**Прозрачность.** Значение прозрачности определяет, какая часть светового потока проходит через материал. Чем меньше значение этого параметра, тем сильнее падающий на поверхность свет рассеивается и ослабляется при прохождении через прозрачный материал.

**Глянец.** Глянец материала определяет характерный вид отражения и бликов на поверхности объекта. При визуализации на материалах с высокой гляцевостью будут получены более четкие зеркальные отражения и более резкие блики.

**Коэффициент преломления.** Коэффициент преломления определяет характер изменения света при прохождении им границы между двумя разными средами (обычно каким-нибудь материалом и воздухом).

Эта характеристика влияет на силу бликовости материала или, в случае прозрачных материалов (например, воды или стекла), на величину искривления (преломления) формы объектов, находящихся сзади.

Если коэффициент преломления равен 1, падающий свет без потерь (отражений) проникает в материал. Для непрозрачного объекта это означает, что

его поверхность будет выглядеть абсолютно матовой, для прозрачного – что преломления будут отсутствовать.

Важно помнить, что для получения финальной визуализации фотореалистического качества нужно, помимо прочего, очень корректно задавать свойства материала. В программе Lightscape это помогают сделать шаблоны материалов с различными физическими свойствами. Использование таких шаблонов существенно ускорит работу и избавит от большинства нелепых ошибок (например, металл никогда не окажется прозрачным).

## Текстурирование материалов

Использование текстурных карт (декоративных узоров, maps) позволяет придать материалам дополнительную реалистичность (например, вид вымощенной плиткой мостовой или портмоне из крокодиловой кожи).

В качестве карт могут быть использованы изображения, сохраненные в файлах различных форматов (BMP, TIF, JPG, EPS и некоторых других), либо процедурные текстуры, являющиеся наборами правил быстрого построения нужного узора.

Типичным примером применения карт при моделировании материалов является описание их с помощью текстурирования цвета поверхности или ее рельефа (bump mapping).

**Управление текстурированием.** Для точного управления текстурированием обычно требуется дополнительно указать способ проецирования («переноса») текстуры на поверхность объекта и режим отображения на ней.

Основные способы проецирования текстур следующие:

- **ортографический** (orthographic) – когда текстура проецируется на плоскость, описанную тремя точками (такой способ очень часто называют планарным проецированием (planar));
- **цилиндрический** (cylindrical) – это «заворачивание» объекта в текстуру, проецируемую на цилиндр, описанный двумя полюсами (верхним и нижним) и линией шва (соединения кромок текстуры);
- **сферический** (spherical) – способ, аналогичный предыдущему, но проецирование происходит на сферу, заданную верхним полюсом, центром и швом;
- **зеркальный** (reflection) – применяется для имитации отражений на поверхности объекта (работает подобно сферическому проецированию);
- **UV-координатный** (object UV) (рис. 11.15) – использует задаваемые в вершинах объекта параметрические координаты текстурирования поверхности. Применяется при текстурировании объектов со сложной топологией. Возможны следующие режимы отображения текстуры:
  - черепичный (tile) – многократным повторением текстуры по поверхности;
  - зеркальный (flip) – с реверсивным переворотом текстуры при ее повторении;

- с усечением (clip) – «этикеточный» режим, при котором текстура не повторяется более одного раза на поверхности;
- с увеличением (expand) – перекрытие всей поверхности объекта одной копией текстуры.



Рис. 11.15. UV-координатный способ проецирования текстур

Следует обратить внимание, что обычно обеспечивается возможность независимого управления отображением текстуры в вертикальном и горизонтальном направлениях. Например, достаточно легко смоделировать цоколь стены повторением нужной текстуры только по горизонтали.

**Дополнительные свойства материалов.** В зависимости от конкретной программы трехмерного моделирования предлагается различная совокупность дополнительных свойств материалов. Например, пакет 3DStudio MAX позволяет моделировать динамику твердых тел, что приводит в этом случае к необходимости задать коэффициент упругости материала и коэффициенты силы трения покоя и трения скольжения.

## 11.2. Анимация

Как указывалось в начале главы, базовым принципом компьютерной анимации (как, собственно говоря, и любой другой) является быстрая смена последовательности кадров, фиксирующих промежуточные фазы движения, перед глазами наблюдателя.

Под движением подразумевается как непосредственно перемещение или поворот объекта в пространстве сцены, так и любое изменение его формы, цвета и т. п.

Различают две основных области компьютерной анимации: 2D-анимация (традиционная двухмерная анимация) и 3D-анимация (основанная на трехмерном компьютерном моделировании объектов).

В 2D-анимации используются традиционные методы покадровой (или cel-анимации). Термин cel соответствует в традиционной мультипликации отдельному изображению (например, отдельной фазе движения персонажа), нарисованному на прозрачной пленке. Каждое новое cel-изображение содержит изменение по сравнению с предыдущим, что, собственно, и воспринимается как

движение. Когда множество *cel*-изображений следуют одно за другим с определенной скоростью, то создается анимационное перемещение объекта. *Cel*-изображения могут перемещаться над фоном по пути, определенному пользователем. Для некоторых случаев можно генерировать кадры между определенными начальной и конечной точками. Этот процесс называется твинингом (*tweening*) или созданием промежуточных кадров.

Можно применять к компьютерным изображениям **морфинг**. Морфинг заключается в плавном преобразовании одного объекта в другой, причем, чем незаметнее процесс этого преобразования и чем необычнее взятые объекты, тем сильнее данный прием срабатывает. Сейчас функция морфинга есть почти во всех программах.

3D-анимация начинается с создания трехмерных компьютерных моделей объектов. Этот процесс больше похож на работу скульптора, нежели художника. В типичном трехмерном пространстве объекты существуют как геометрические объекты, у которых составляющие их линии имеют привязку к координатам. В общем случае создается сцена из геометрических объектов, имеющих грани. Каждая грань представляет собой плоский объект с бесконечно малой толщиной. В распоряжении пользователя имеется также набор типовых трехмерных тел (шар, конус, пирамида и т. д.), возможность придать объем плоским изображениям с помощью разнообразных приемов, а также дополнительные библиотеки, содержащие детально проработанные объекты реального мира. Так создается каркасная модель будущей сцены.

После этого наступает очередь поверхностного описания объекта. Кроме обычной раскраски, поверхность может быть покрыта двумерными изображениями (текстурами), соответствующими внешнему виду того или иного материала. В дополнение к этому, существует возможность добавить и другие свойства поверхности, такие как глянец, прозрачность, отражение. Можно просто выбрать характеристики поверхности из библиотек материалов или создать материалы, не существующие в обычном физическом мире.

Далее можно приступить к расстановке источников света и камер в трехмерном мире. С помощью правильной расстановки источников света можно добиться более реалистичного вида объектов трехмерной сцены. Расстановка камер чем-то напоминает аналогичный процесс на съемочной площадке. Здесь также можно задать траектории перемещения объектов, входящих в сцену, или их составных частей.

Большинство анимационных программ реализуют метод ключевой анимации (*keyframe animation*) объектов, заимствованный из традиционной мультипликации. Суть этого метода состоит в разделении кадров на ключевые (*keyframes*) и промежуточные (*tweens*). В ключевых кадрах художник-аниматор фиксирует ключевые (критически важные, опорные) фазы анимации объекта, например, положение спортсмена непосредственно перед прыжком или верхнюю точку полета волейбольного мяча. В промежуточных кадрах сама программа интерполирует остальные фазы анимации объекта, используя при этом дополнительную информацию, полученную от аниматора. Таким образом, за-

давая ключевые кадры для параметров объекта и определяя типы интерполяции между ними (линейная, скачкообразная, с ускорением и т. п.), мы получаем в свое распоряжение очень простой и достаточно мощный анимационный инструментарий.

С другой стороны, ключевая анимация не всегда является оптимальным выбором. Например, если необходимо «заставить» объект совершить сложный пируэт в пространстве, то, наверное, проще нарисовать для него нужную сплайновую траекторию, чем определять десятки (а то и сотни!) ключевых кадров. Такая, не требующая установки большого количества ключевых кадров, анимация называется **параметрической** (parametric animation). Обычно она реализована как набор предустановленных анимационных эффектов, plug-in-модулей, например, случайного изменения параметра или движения по траектории. Достаточно задать время начала и завершения такого эффекта, настроить его параметры, а обо всем остальном позаботится анимационная программа.

### 11.3. Визуализация

Итоговая визуализация (rendering) – заключительный этап работы со сценой, в своем роде, момент истины.

К этому этапу сцена будет содержать информацию о геометрии объектов, их материалах и освещении. Задача модуля визуализации состоит в том, чтобы вычислить цвет каждого пикселя итогового изображения, основываясь на информации о моделях и выбранном положении виртуального наблюдателя (камеры).

В большинстве пакетов работы с трехмерной графикой используются следующие режимы визуализации:

- **Wire Frame** – режим проволочного каркаса, в котором при визуализации объекта отображаются только ребра образующих его поверхностей.

- **Hidden Wire Frame** – режим проволочного каркаса с удалением невидимых граней, аналогичен предыдущему режиму, но только ребра поверхностей, закрываемые другими поверхностями и из-за этого невидимые, не отображаются.

- **Flat Shading** – плоский режим обработки полутонов, при этом цвет каждой грани определяется в зависимости от угла источника света и области просмотра. Сглаживание в этом режиме не применяется.

- **Gouraud** – сглаживающая обработка полутонов по методу Гуро, при этом грани всех объектов сглаживаются, но не отображаются тени от объектов, и не используются карты рельефа материалов.

- **Phong** – сглаживающая обработка полутонов по методу Фонга, лучший из методов визуализации, хотя и самый медленный. В отличие от предыдущего режима, основанного только на вершинах каждой лицевой поверхности, по этому методу визуализации обчисляется правильный цвет каждого пикселя.



Помимо основных режимов, в вашем распоряжении имеются опции для настройки визуализации, позволяющие улучшить качество изображения. Среди них:

**Anti-aliasing (Сглаживание)** – позволяет с помощью специальных алгоритмов сгладить ступенчатые края границ объектов;

**Bump maps (Карты рельефа)** – позволяют создавать рельеф на поверхности объекта и сделать материал в окончательной анимации более гладким и естественным. Спектр их применения довольно широк: от чеканной поверхности монеты до кирпичной кладки;

**Image mapping (Покрывтие изображением)** – позволяет учесть влияние свойств материала на процесс рассеяния света, падающего на объект от источника.

Цвет каждой точки на поверхности отрисовываемого объекта вычисляется исходя из физических свойств материала и освещающего его света. Для описания того, как поверхность отражает или пропускает свет, существует два основных алгоритма тонирования (shading algorithms). Они называются **алгоритмами локального (local illumination)** и **глобального освещения (global illumination)**.

▪ **Локальное освещение.** Алгоритмы локального освещения описывают, как каждая поверхность отражает или пропускает свет. Эти математические алгоритмы вычисляют интенсивность, цвет и дальнейшее (после отражения или прохождения насквозь) распределение света, упавшего на поверхность объекта. Простейшие из таких алгоритмов рассматривают только свет, непосредственно пришедший от источников освещения к тонируемой поверхности.

Однако алгоритмы локального освещения не позволяют получать корректные итоговые изображения, так как не учитывают более сложные взаимодействия поверхностей и освещения сцены. Вот только некоторые из них:

- поверхности могут блокировать часть падающего на них света и отбрасывать тени на другие поверхности;
- в блестящих поверхностях могут присутствовать отражения других объектов;
- на поверхностях могут возникать рефлекссы;
- прозрачные поверхности позволяют видеть объекты, находящиеся за ними.

▪ **Глобальное освещение.** Алгоритмы просчета глобального освещения при визуализации корректно учитывают прохождение света между поверхностями, что решает поставленные проблемы. Чаще всего используются два алгоритма: алгоритм трассирование лучей (ray tracing) и алгоритм просчета излучательности (radiosity).

**Алгоритм трассирования лучей** отслеживает в обратном направлении прохождение лучей света от глаза наблюдателя через каждый пиксель итогового изображения к поверхностям визуализируемых объектов. В случае пересечения трассируемого луча с поверхностью происходит одна из следующих ситуаций.

Если поверхность не зеркальная и не прозрачная, за ней образуется тень. Цвет самой поверхности в точке пересечения вычисляется с учетом характеристик источников освещения.

Для зеркальных поверхностей делается оценка дальнейшего прохождения отраженного света; для прозрачных – пропущенного света.

В последних двух случаях оценка дальнейшего прохождения луча повторяется при последующих пересечениях с поверхностями, но не более определенного количества раз (итераций).

**Алгоритм обратного трассирования лучей** является очень мощным и гибким. Он позволяет точно просчитывать такие характеристики глобального освещения, как тени, зеркальные отражения, преломления света в прозрачных материалах.

Однако он имеет два существенных недостатка: высокая сложность и, как следствие, малая скорость вычислений; подмена просчитанного непрямого освещения (indirect lighting) на «абстрактный» окружающий свет (ambient light), что приводит, например, к отсутствию рефлексов на поверхностях.

**Алгоритм просчета излучательности** фундаментально отличается от алгоритма трассирования лучей. Вместо вычисления цвета каждого пикселя итогового изображения этот алгоритм просчитывает интенсивность каждой точки пространства сцены. Поверхности всех объектов разбиваются на элементы (небольшие по площади) и для каждого из них вычисляется, сколько света он излучает на остальные элементы. Этот алгоритм, изобретенный в 1960-е годы, был значительно модернизирован в 1988 году и получил название **алгоритма излучательности с последовательной детализацией** (progressive refinement radiosity). Это новшество означает, что мы сможем наблюдать за улучшением качества и детализации изображения при прогрессивном разбиении поверхностей на более мелкие элементы.

Полученное таким образом изображение сцены является корректным с точки зрения отражений света между поверхностями (diffuse interreflections), но имеет и свои неустранимые недостатки: большие затраты памяти при вычислениях; отсутствие в полученном изображении отражений и преломлений света в прозрачных поверхностях.

Так как ни один из вышеизложенных алгоритмов не может полностью решить проблему корректного вычисления глобального освещения, в профессиональных пакетах 3D-визуализации они используются совместно. Примером удачного сочетания этих алгоритмов для финальной визуализации может служить уже упоминавшаяся программа Lightscape.

#### **11.4. Глоссарий терминологии в трехмерной графике и видео**

Статьи и новости, посвященные современной 3D-графике, как ничто другое насыщены специальными терминами и определениями. Зачастую даже весьма опытный пользователь ПК с трудом может объяснить разницу между каким-нибудь блендингом и рендерингом. Не говоря уж о новичках, которые

совершенно теряются в этой словесной неразберихе и поэтому практически всегда быстренько перематывают статьи на последнюю страницу, к графикам и выводам, совершенно не понимая физики описываемого процесса и причин преимущества или недостатка того или иного графического ускорителя.

Содержание данного раздела не стоит воспринимать как руководство к немедленному его изучению «от корки до корки», тем более что в короткие сроки это сделать просто нереально. Достаточно будет того, что, читая тот или иной новый материал по 3D-графике и встретив слово с незнакомым смыслом, вы заглянете в этот краткий терминологический справочник. Предполагается, что этот своеобразный «помощник по 3D-терминологии», постоянно находящийся под рукой, со временем займёт своё законное место среди других материалов в специальном справочном разделе.

Сказать, что этот глоссарий создаётся впервые и «на ровном месте», было бы ошибкой. По сути, это очередная версия глоссария, представленного нашим читателям ещё в 2009 году (Г. П. Катунин. Аудиовизуальные средства мультимедиа: Учебное пособие / СибГУТИ. Новосибирск, 2009. 742 с.), теперь дополненная значительным объёмом информации и «почищенная» от неактуальных нынче терминов. Впрочем, даже в сегодняшнем виде 3D-глоссарий вряд ли можно назвать источником исчерпывающей информации о 3D-терминах – столь велико их количество, да и представленные определения не всегда близки к идеальным. Поэтому глоссарий будет постоянно пополняться новыми словами и более точными (а порой просто скорректированными) определениями, в том числе, не без помощи наших читателей. Автор с удовольствием и благодарностью примет любую критику, а также предложения, дополнения и уточнения терминологии нашего 3D-глоссария. Также приветствуются любые пожелания по организации и удобствам пользования глоссарием.

**2D.** Сокращение, означающее «двухмерный». Этот термин означает «плоскую» компьютерную графику. Такие приложения для компьютеров, как текстовые процессоры, программы электронных таблиц или в других приложениях, которые имеют дело с печатной или простой графикой (например, изображениями или рисунками), обычно называются двухмерной средой, даже если они включают простые трехмерные элементы, например, кнопки.

**3D.** Сокращение, означающее «трехмерный». Этот термин означает компьютерную графику, которая имеет объем и глубину. В различных процессах моделирования используются представления трехмерного объекта, обеспечиваемые программным обеспечением. Для создания реалистического представления трехмерного объекта на двухмерном дисплее используются различные компоненты освещения, текстуры, а также настройки уровней прозрачности и непрозрачности.

**3Dc™.** Технология аппаратного сжатия, созданная корпорацией ATI, которая сокращает размер информации 3D-текстур, позволяя прорисовывать более мелкозернистые текстурные поверхности с большей эффективностью. Это существенно уменьшает объем памяти, необходимый для карт нормалей, содержащих информацию о том, как свет отражается от текстурных поверхно-

стей, что позволяет разработчикам игр использовать больше деталей текстур и освещения без снижения производительности.

**3Dc** – новая технология сжатия, предназначенная для передачи мелких деталей в играх при минимальном использовании объема памяти. Это первый метод сжатия, оптимизированный для работы с картами нормалей, который позволяет попиксельно управлять отражением света от текстурированных поверхностей. При возможном уровне сжатия 4:1 это означает, что разработчики игр теперь могут детализировать сцену в 4 раза точнее, не изменяя объем графической памяти и не влияя на производительность.

**3D-акселератор.** Видеокарта, снабжённая специализированным графическим процессором, имеющим вычислительную мощность, на порядки превосходящие CPU, и довольно простым (относительно CPU) логическим блоком. Ввиду высокопоточкового характера графических данных такая специализация позволяет во много раз ускорить вывод графики, при этом освободив CPU от несвойственной ему работы.

**3D-конвейер**, он же конвейер рендеринга – процесс построения сцены включает в себя несколько последовательно исполняемых стадий, совокупность которых и есть конвейер рендеринга.

**3D-сцена** – это часть 3D-мира, подлежащая расчёту и выводу на экран в соответствии с текущей точкой наблюдения.

**3D-модель** – комплекс параметров и свойств, который используется ускорителем для формирования объекта, который мы увидим как персонажа или объект, называется трёхмерной моделью.

**AGP.** Ускоренный графический порт (Accelerated Graphics Port) – это разъем на системной плате компьютера, разработанный специально для трехмерных графических плат. AGP позволяет выводить трехмерные изображения более плавно и быстро, чем это было возможно с видеоплатами PCI. Он работает на частоте шины, в несколько раз превосходящей частоту PCI, и применяет адресацию по боковой полосе частот, чтобы передача данных между графическим процессором и компьютером выполнялась одновременно. Ускоренный графический порт (AGP) постепенно заменяется на PCI Express® (PCIe™) в системах ПК.

**API (Application Programming Interface).** Это комплекс интерфейсов и библиотек, для создания и управления графическими приложениями. Сейчас чаще всего для графических приложений используются два API – OpenGL (Межплатформенный, универсальный) и Direct3D (часть DirectX – только ОС Windows)

**ATI Overdrive.** ATI Overdrive повышает до максимума быстродействие GPU (графического процессора), динамически меняя его скорость до оптимального уровня в зависимости от нагрузки. Термический датчик, встроенный в микропроцессор, постоянно отслеживает температуру GPU, что позволяет поддерживать максимально возможную тактовую частоту видеопроцессора, не перегревая его.

**Catalyst®.** Программное обеспечение ATI предоставляет пользователю возможность прямого управления широким спектром графических функций, предназначенных для увеличения стабильности и производительности. С помощью элементов свойств экрана на Панели управления системы Windows можно получить удобный доступ к многочисленным функциям, предоставляемым драйверами дисплея, которые повышают эффективность двух- и трехмерного отображения для игр, мультимедиа и различных приложений, в которых широко используется трехмерная графика.

**Charisma Engine™** позволяет выполнять сложные преобразования, расчеты отсечения и освещения, в которых используется 4-матричный скиннинг и интерполяция ключевых кадров, призванные обеспечить более естественные переходы, например при изменении выражения лиц трехмерных персонажей. Charisma Engine™ II включает в себя программируемый канал вершинного шейдера и является модулем преобразования и освещения, предназначенным сделать трехмерных персонажей более естественными.

**DiME (Direct in Memory Execution)** – прямое выполнение в памяти. Оно же – AGP-текстурирование, оно же – размещение текстур в оперативной памяти компьютера. В некоторых условиях при нехватке локальной видеопамати видеокарта может работать с текстурами, расположенными в оперативной памяти. Но какие бы преимущества не давала шина AGP (а речь идет о скорости передачи данных и о «прямой» работе с памятью без участия центрального процессор), ОЗУ скорее всего никогда не станет также быстра, как и память видеокарт. Посему толку от использования DiME, честно говоря, очень мало.

**Direct 3D®.** Компонент DirectX API корпорации Microsoft, предназначенный для рендеринга трехмерной графики в системах Windows. Она предоставляет разработчикам программного обеспечения низкоуровневый доступ к функциям графических плат и обеспечивает производительность, необходимую для ресурсоемких графических приложений, таких как игры.

**DirectX.** Технология Microsoft DirectX представляет собой интерфейс прикладного программирования, который предоставляет прямой доступ к низкоуровневым функциям аппаратного обеспечения для игр и других трехмерных приложений, требующих высокой производительности.

**DVI.** Сокращение, означающее «интерфейс цифрового видео», который представляет собой стандартное видеосоединение, используемое во многих современных компьютерных дисплеях. Имеются три типа разъемов DVI: DVI-A (аналоговый), DVI-D (цифровой) и DVI-I (интегрированный, предусматривающий как аналоговый, так и цифровой интерфейс). Он поддерживает широкую полосу пропускания и поэтому чаще всего используется в мониторах с высоким разрешением.

**Environment Map Bump Mapping (EMBM – рельефное текстурирование картами среды)** – другой метод моделирования окружающей среды, на этот раз именно имитирующий рельефную поверхность. На этот раз карта среды как будто искажена рельефом поверхности.

**Fast Writes** – технология, позволяющая видеокарте напрямую общаться с процессором, минуя шину, что дает небольшой прирост производительности, но может вызвать нестабильную работу.

**FlexFit™**. Технология FlexFit™ компании ATI объединяет семейство совместимых на уровне контактов графических процессоров для мобильных устройств Mobility™ Radeon с наиболее популярными встроенными графическими процессорами (ICP) для AMD и Intel. При этом для всех продуктов используется один общий драйвер.

**FPS (frames per second)** – частота обновления кадров. Чтобы оценить быстродействие системы трехмерной визуализации, достаточно запустить приложение, динамически создающее трехмерные сцены, и подсчитать число кадров в секунду, которое система способна отобразить. Чем больше, тем лучше.

**FullStream™**. Технология FullStream™ обеспечивает бесперебойное высококачественное видео при просмотре потоковых файлов через Интернет. Удаляет пикселизацию и блочные артефакты, вызванные ограничениями полосы пропускания, путем определения границ видимых блоков и их сглаживания с помощью сложного метода фильтрации.

**HDCP** – это сокращение, означающее «система защиты от копирования по широкополосным цифровым каналам». Это форма цифрового управления правами, предназначенная для защиты авторского права сигналов, передаваемых через соединения DVI или HDMI™. Некоторые международные законодательные органы рекомендуют встраивать эту систему в устройства отображения и воспроизведения с высоким разрешением.

**HDMI™** – это сокращение, означающее «мультимедийный интерфейс высокой четкости». Это 19-контактный разъем, используемый для передачи комбинированных цифровых аудио- и видеосигналов. HDMI поддерживает стандартные и расширенные цифровые сигналы, а также цифровые видеосигналы высокой четкости. Он предназначен для видеомагнитофонов, DVD-плееров, персональных компьютеров, а также приставок. Адаптер DVI можно использовать для передачи видеосигналов на HDMI™-совместимые дисплеи, однако при этом аудиосигналы передаются по другому тракту, так как выходы DVI не поддерживают аудио.

**HDTV**. Сокращение, означающее «телевидение высокой четкости», формат, который обеспечивает более высокое качество изображения, чем стандартное телевидение. Кроме того, этот формат обеспечивает широкоэкранный образ, соответствующее изображению на экране кинотеатра. Самыми популярными форматами являются 1080i и 720p, где цифры обозначают количество горизонтальных строк развертки, а буква – является ли развертка чересстрочной (i) или используется прогрессивная развертка (p). Дисплей с чересстрочной разверткой показывает поочередно нечетные, а затем четные строки, а с прогрессивной разверткой – все строки разом. В обоих форматах применяется соотношение размеров экрана 16:9. В отличие от этого, стандартный североамериканский телевизионный сигнал использует чересстрочную развертку 480i с соотношением размеров экрана 4:3.

**HydraVision™** – это программное обеспечение для управления несколькими мониторами, которое позволяет пользователям управлять отображением нескольких окон и приложений на двух или нескольких смежных мониторах. Программа также включает комплекс возможностей, разработанных для эффективного управления производительностью в этой среде.

**HyperMemory™**. Технология, позволяющая графическим платам получать доступ к системной памяти компьютера непосредственно через шину PCI Express. В ней используются алгоритмы для оптимизации использования локальной памяти графической платы, а также системной памяти (при необходимости). Кроме того, она позволяет выделять больший объем ресурсов памяти для целей отображения, чем обычно доступно на графических платах.

**HyperZ™** – увеличивает объем информации, отправляемой в буфер кадров, что позволяет устранить ограничения по пропускной способности и обеспечить очень высокое разрешение и полноэкранный ускоренный трехмерный графический вывод с естественными цветами. Она использует иерархический алгоритм видимости Z-буфера для исключения блоков пикселей, скрытых отображаемыми треугольниками, Z-компрессию для сжатия и ускорения получения визуальных данных и быструю Z-очистку, которая обновляет только пиксели, значения которых изменились.

**HSR – (Hidden Surfaces Removal – Отсечение невидимых поверхностей)** – метод значительного увеличения скорости вывода изображения за счёт отброса поверхностей, скрытых от наблюдателя, ещё на стадии начального формирования изображения. Чем выше коэффициент перекрытий (overdraw) сцены, тем больше эффект от HSR.

**Lightmap (Карта освещённости)**. Устаревший, но до сих пор применяющийся, ввиду своей простоты, метод статического освещения поверхностей. Принцип таков: на базовую текстуру накладывают ещё одну – карту освещённости, светлые и тёмные места которой изменяют интенсивность освещения базовой. Отличается крайней неправдоподобностью.

**Lighting (Освещение)** – один из важнейших аспектов любого мира, не только 3D, но его в первую очередь. Есть много способов его задания, все они отличаются сложностью и правдоподобием, но принцип такой: чем сложнее метод, тем красивее результат его применения.

Освещение может в значительной степени влиять на «настроение» сцены. Например, яркий свет «голой» электрической лампочки может ярко освещать объекты, расположенные в непосредственной близости, но при этом отбрасывать сильные тени на заднем плане. «Более мягкое» освещение лучше рассеивается и не отбрасывает тени, как, например, на улице в пасмурный день.

**MIP-mapping (MIP-карты)** – это метод повышения скорости вывода изображения на экран. Основной принцип состоит в том, что при удалении от объекта отрисовывается не его основная текстура, а её уменьшенная копия. Эти различные варианты называются MIP-уровнями. Например, если базовая текстура имеет разрешение 512x512 (основной – нулевой MIP-уровень), то её меньшие MIP – уровни будут 256x256, 128x128 и т.д.

**MRT (Multiple Rendering Target)** – эта замечательная технология позволяет записывать один раз рассчитанное значение цвета в несколько буферов, на чём можно сэкономить некоторое число проходов.

**NURBS (Non-uniform Rational B-Spline)**. Общий способ задания параметрических кривых и поверхностей.

**OpenGL®**. Сокращение от «Open Graphics Library» (открытая графическая библиотека; язык OpenGL). Отраслевой стандарт для разработки межплатформенной трехмерной графики. Он содержит множество функций, которые можно вызывать в различных программах, например, играх, системах автоматизированного проектирования, а также системах виртуальной реальности, для формирования сложных трехмерных объектов из простых, более «примитивных» компоновочных блоков. В настоящее время внедрен в Windows, Mac OS X и различные версии Unix, включая Linux.

**PCI**. Сокращение, означающее «взаимодействие периферийных компонентов». Это спецификация для типа шины компьютера, используемой для подключения периферийных устройств к системной плате компьютера. PCI соединяет как интегрированные компоненты системной платы (такие как встроенные графические процессоры), так и периферийные устройства, устанавливаемые в разъемы расширения (такие как отдельные графические платы). Шина PCI заменила старые стандарты шин ISA и VESA, а сама была вытеснена стандартом AGP в качестве основной шины графической платы.

**Phong Shading** – очень эффективный метод затемнения, который позволяет получить реалистичное освещение. Отличная реалистичность достигается за счет вычисления объема освещения для каждой точки вместо множества многоугольников. Каждый пиксел получает свой собственный цвет на основе модели освещения, направленного на этот пиксел.

**Point** – световой источник, который из одной точки светит во все направления.

**PowerPlay™**. Технология управления питанием, разработанная для уменьшения потребления электроэнергии при использовании графических продуктов семейства Mobility Radeon® компании ATI в мобильных устройствах. Она обеспечивает оптимальный баланс между производительностью и энергопотреблением, при необходимости повышая производительность и сберегая заряд батарей, когда нагрузка на графический процессор невелика.

**Quad (Квад)**. Фрагмент размером 2x2 пикселя, с которыми работают пиксельные процессоры ускорителя, от этого и происходит название «фрагментный шейдер»

**RAMDAC (Random Access Memory Digital to Analog Converter)** – это либо отдельная микросхема (сейчас практически не встречается), либо модуль в чипе видеопроцессора, отвечающий за преобразование изображения из кадрового буфера видеокарты в аналоговый сигнал на монитор. Его частота должна определённым образом коррелировать с характеристиками таким образом, чтобы видеокарта могла полностью использовать его возможности, то есть для качественного изображения должен быть некоторый запас по частоте RAMDAC.



**SCART** – это сокращение для «Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorecepteurs et Televiseurs». SCART – это 21-контактный разъем, в основном используемый в Европе для передачи аналоговых аудио- и видеосигналов между видеомагнитофонами, DVD-плеерами, персональными компьютерами и приставками. Иногда его называют Peritel или Euroconnector.

**SmartGart™** – запатентованный АТІ диагностический инструмент, определяющий оптимальные настройки АGР пользователя и обеспечивающий максимальную стабильность. Одной из главных причин «зависания» системы является качество шины АGР. Поскольку существует множество типов микросхем АGР, управляющих шиной, совместимость шины АGР будет меняться, и предварительно трудно определить ее качество посредством драйвера дисплея. Благодаря SmartGart™ драйвер автоматически тестирует совместимость АGР по завершении инициализации и динамически переключается на шину АGР (или настраивает ее) на основе результатов теста. В конечном итоге система работает стабильнее.

**Vari-Bright™**. Технология, разработанная АТІ для оптимизации яркости панели ноутбука с целью уменьшения расхода энергии. Она позволяет непосредственно управлять уровнем яркости экрана мобильного компьютера, продлевая тем самым время работы от батарей.

**VersaVision™**. Технология АТІ, обеспечивающая ускоренное вращение и масштабирование экрана. Любой настольный компьютер теперь можно повернуть на 90 градусов влево или вправо, или даже на 180 градусов; поддерживается полный набор функций для других технологий АТІ 2D и 3D, таких как SmoothVision™. VersaVision™ функционирует как один или несколько дисплеев.

**Video Immersion™ II**. Технология, интегрирующая возможности цифрового видео (такие как современный адаптивный алгоритм удаления чересстрочного эффекта, временную фильтрацию и расширение цветовой гаммы видео) для создания высококачественного видеоизображения, а также функцию встроенного декодирования цифрового телесигнала. Она также поддерживает компонентный выход для дисплеев EDTV с разрешением 480i (чересстрочная развертка), 480p (прогрессивная развертка) и дисплеев HDTV с разрешением 720p и 1080i.

**VideoShader™ HD**. Функция, объединяющая технологию пиксельных шейдеров с процедурами фильтрации и обработки видео. Она ускоряет устранение шума, деблокирование, адаптивный деинтерлейсинг, преобразование частоты кадров и цветового пространства, а также другие операции. Кроме того, она поддерживает улучшенное декодирование MPEG-2 с компенсацией движения.

**VPU Recover**. Средство, предназначенное для значительного снижения вероятности сбоев системы, вызванных проблемами графического оборудования. Если драйвер дисплея обнаруживает, что графический процессор завис, VPU Recover попытается сбросить его настройки, устраняя необходимость перезагрузки системы и позволяя продолжить работу без потерь данных.

**Vari-Bright.** Технология, которая оптимизирует яркость экрана мобильного компьютера, чтобы снизить его энергопотребление. Она позволяет непосредственно управлять уровнем яркости экрана мобильного компьютера, продлевая тем самым срок жизни батарей.

**VGart** – драйвер шины AGP для чипсета материнской платы. Наборы логики от Intel, Ali, SIS, VIA имеют свои собственные методы реализации таких функций, как, например, SBA или DiME. Соответственно для их поддержки, да и просто для корректной работы шины AGP, необходим соответствующий драйвер. Обычно драйвера видеокарт содержат VGart для некоторых чипсетов, но более стабильная работа все равно достигается при использовании драйвера от производителя чипсета материнской платы.

**Video Bandwidth** – пропускная способность (ширина полосы пропускания). Максимальная частота приема видеосигнала монитором без потерь. Измеряется в миллионах циклов в секунду, или мегагерцах (MHz). Пропускная способность является важной составляющей при определении суммарной разрешающей способности монитора. Другое название – видео пропускная способность.

**VideoSoap** – технология, которая обеспечивает усовершенствованную фильтрацию, которая убирает с экрана «снег», улучшает резкость изображения и плавность движений.

**VSync** – опция, которая устраняет неприятный эффект разрыва картинки. В момент, когда видеокарта выдает очередной отрендеренный кадр, монитор может еще показывать часть предыдущего (заметно, например, при поворотах). При включении этой опции процесс синхронизируется и эффект пропадает. При этом могут быть незначительные потери в производительности.

**Z-Buffer (Z-буфер).** Является частью памяти 3D-ускорителя, выделенной под хранение координаты Z у трехмерных точек. Если вы вспомните геометрию, у каждой точки в трехмерном пространстве существует три координаты: X, Y и Z. Смысл использования Z-буфера очень прост: он позволяет видеоускорителю не прорисовывать текстуры, скрытые позади других текстур. Например, если вы заходите в игре за стену, то за ней вы не можете видеть другие объекты, а с помощью Z-буфера карта не будет их отрисовывать лишней раз. Z-буфер позволяет значительно увеличивать производительность. При его использовании точность позиционирования по оси Z также улучшается.

**Анизотропная фильтрация.** Технология, которая позволяет сохранить детализацию поверхности объекта по мере его удаления при использовании и смешивании растровых изображений текстуры объекта. Это позволяет трехмерному объекту выглядеть более реалистично, поскольку детали текстуры его поверхности сохраняются плавным, бесшовным методом на тех частях, которые движутся или сливаются с фоном.

**Аспект.** Группа связанных элементов в программном обеспечении Catalyst® Control Center компании ATI. Например, аспект цвета группирует элементы управления гаммой, яркостью, контрастностью и другими возможностями, непосредственно относящимися к отображению цвета. Аналогично

трехмерный аспект предоставляет набор элементов управления такими возможностями, как сглаживание, анизотропная фильтрация, уровень детализации множественных отображений и т. д.

**Адаптивное сглаживание.** Метод адаптивного сглаживания применяет к трехмерным объектам сочетание мультисемплинга (MSAA) и суперсемплинга (SSAA), что позволяет добиться гладкости краев и точности детализации. Мультисемплинг лучше всего проявляет себя при сглаживании краев сплошных полигонов, и недостаточно эффективно сглаживает края частично прозрачных полигонов. Суперсемплинг позволяет более точно вычислять значения цветов, смежные со значениями пиксельных шейдеров прозрачности в полигонах с частично прозрачными текстурами, однако его постоянное применение нецелесообразно, поскольку он сильнее нагружает процессор. Адаптивное сглаживание применяет суперсемплинг для прозрачных текстур и мультисемплинг для всех остальных текстур. Это значительно повышает качество изображения при сохранении уровня производительности.

- **Антиалиасинг, полноэкранный сглаживание (Antialiasing)** – метод борьбы с неприятным эффектом «ступенчатости», возникающим на границах текстур (по сути – на границах разных цветов) при низких разрешениях изображения.
- **Суперсемплинг.** Реализуется путем рендеринга изображения в разрешении, гораздо большем установленного, с последующей интерполяцией в нужное. Поэтому данный метод антиалиасинга до сих пор очень требователен к объему видеопамяти и скорости 3D-акселератора. Только такие режимы способны сглаживать альфа-текстуры.
- **Мультисемплинг.** Осуществляется путём определения видимости семплов, и отбросом тех, что не попадают - производится усреднение значения нескольких MSAA блоков (от 2-х до 6-и). NV40 поддерживает генерацию до 4х MSAA отсчетов на основе одного пикселя, R420 – до 6.
- **Temporal AA** (временной антиалиасинг). Главный принцип – в простом изменении паттернов от кадра к кадру, таким образом, если картинка соседних кадров будет без проблем (слишком заметного мерцания) усредняться нашим глазом, мы получим некое улучшение качества сглаживания, словно мы использовали больше отчетов MSAA. Производительность при этом не падает, но и эффект может проявляться по-разному, в зависимости от монитора и частоты расчета кадров в приложении. Пока реализовано только на чипах семейства R420.

**Альфа-смешивание (Alpha-Blending).** При этой технологии данные о цвете характеризуются не тремя, а четырьмя составляющими – RGBA – последний из которых – alpha-channel – содержит в себе информацию о степени прозрачности. Используется для моделирования любых частично – прозрачных объектов и поверхностей.

Альфа-смешивание используется в трехмерной графике для создания эффектов прозрачности или полупрозрачности для таких поверхностей, как стекло и вода. Альфа представляет собой значение прозрачности, поэтому чем ниже

это значение, тем более прозрачным выглядит изображение. Оно также используется в анимации для получения эффекта постепенного исчезновения, когда одно изображение плавно переходит в другое.

**Билинейная фильтрация.** Такая фильтрация снижает блочность, вызванную увеличением масштаба трехмерного изображения, которое находится под прямым углом к наблюдателю. Если внимательно присмотреться к фотографии в газете, можно увидеть, что она состоит из крошечных точек. При увеличении фотографии она становится более «зернистой» и менее четкой. Этот эффект также проявляется в изображениях, созданных с помощью компьютера, особенно в деталях поверхностей.

**Блик.** Яркое, обычно небольшое, насыщенное световое пятно, отраженное от трехмерной поверхности с высоким коэффициентом отражения. Интенсивность и распространение света позволяет пользователям отличать «твердую», гладкую поверхность (металл или фарфор) или «мягкую», текстурированную поверхность (ткань или кожа).

**Блоки вершинных шейдеров.** Функция, встроенная в графический процессор для прорисовки текстуры, величины и направления отдельных треугольников, составляющих каждый полигон заданного трехмерного объекта. Чем больше блоков вершинных шейдеров доступно в графическом процессоре, тем больше сложных полигонов может быть сгенерировано за один тактовый цикл и тем более качественными и натуралистичными могут стать детализация и движение

**Буфер.** Это название обозначает фрагменты встроенной видеопамяти. Один большой буфер всегда используется для отображения изображений на экране; это «буфер дисплея». Остальная память, не связанная с дисплеем, обычно используется такими приложениями, как фоновые буферы, z-буферы для хранения трехмерных изображений и буферами текстур.

**Буфер кадров.** Часть буфера памяти графической платы используется для хранения выводимого изображения. На этой стадии все процессы рендеринга завершены, и буфер содержит только информацию, однозначно соответствующую изображению на экране.

**Векторно-адаптивный деинтерлейсинг.** Метод, обеспечивающий повышенную гладкость краев при воспроизведении чересстрочного видео. При векторно-адаптивном деинтерлейсинге разница в значениях пикселей считается по нескольким линиям и переменным кадрам, а затем логическим путем интерпретируется заново для формирования более сглаженных контуров в видеоизображениях с чересстрочной разверткой.

**Вершина (Vertex)** – основа основ трёхмерной графики. Точка обозначается тремя координатами и именно к их координатам привязываются все объекты, векторы и т.д.

**Внеэкранный память.** Область памяти, используемая для предварительной загрузки изображений, потому они могут быть быстро выведены на экран. Внеэкранный памятью называют всю оставшуюся видеопамять, не занятую основным буфером, который содержит изображение, видимое на дисплее.

**Вторичный буфер (Back Buffer)** – это область памяти, в которой рассчитываются элементы 3D-сцены. Вывод изображения на экран осуществляется через первичный буфер (Front Buffer).

**Гамма.** Иногда ее путают с яркостью, но в действительности она относится к цветокоррекции, которая применяется в каждом устройстве вывода изображений, чтобы получить более плавное увеличение или уменьшение воспринимаемой яркости для этого устройства. Изменение гаммы приводит к нелинейным изменениям цветовой кривой, обеспечивая единообразные изменения цветов и их интенсивности.

**Глубина цвета.** Обозначает число бит данных, необходимых для хранения цветовой информации одного пикселя. Большая глубина цвета означает возможность кодирования большего диапазона цветовой информации для каждого пикселя.

**Детализирующие текстуры (Detail Textures)** – один из многих эффектов, основанный на мультитекстурировании. Принцип такой: на основную текстуру накладывается вторичная, с регулярным рисунком (возможно использование процедурных текстур). В результате мы получаем основную текстуру с рисунком, и вторичную с рельефом. Таким образом мы можем избежать разрастания основных текстур, или их размытия при приближении.

**Затуманивание (Fogging)** – туман он и есть туман – частично-прозрачные атмосферные слои. Поле его применения в графике чрезвычайно велико.

**Затусшевание по методу Гуро.** Метод затенения, используемый для получения плавных переходов освещенности трехмерного объекта. В каждой вершине треугольника или полигона используется особый цвет, который интерполируется по всей поверхности полигона.

**Инструментальная панель.** Инструментальная панель является частью центра управления Catalyst Control Center и используется для графического представления возможностей, доступных в установленном аппаратном и программном обеспечении АТІ. Инструментальная панель предназначена для доступа к аспектам (наборам родственных графических функций), представленным графической платой. Эта панель доступна только в расширенном и пользовательском видах, которые предназначены для более опытных пользователей.

**Интерполяция ключевых кадров.** Эта функция также называется «морфинг». В анимации начальная и конечная точки выбираются в качестве ключевых кадров. При трехмерном рендеринге герой в начальной точке может иметь нейтральное выражение лица, а в конечной – улыбаться. Дополнительные кадры интерполируются (вставляются) между двумя ключевыми кадрами, чтобы выполнить «морфинг» изображения (преобразовать его) с целью плавного перехода между ключевыми кадрами.

**Кадровый буфер (Frame Buffer)** – участок видеопамати, в котором осуществляется формирование изображения. Используется двойная или (реже) тройная буферизация.

**Карта нормалей (Normal Map)** – массив двухкомпонентных векторов, содержащих расстояние до плоскости и угловую ориентацию. Это тоже метод моделирования рельефа.

**Карта окружения (Environment Map)** – метод имитации отражающих поверхностей с помощью специальной текстуры – карты среды, которая представляет собой изображение окружающего мира. Объект с такой текстурой будет отражать окружающий мир. Надо добавить, что на самом деле эта текстура ничего не отражает, и является просто картинкой. Карты среды также применяются для имитации рельефа.

**Карта отражений (Reflective Map).** При использовании рэйттрэйсинга такая карта будет отражать лучи, частично или полностью. Эта карта даёт реальное, динамическое отражение.

**Карты замещения (Displacement Mapping).** Очень красивый метод для моделирования эффекта окружения, с помощью создания (не имитации) мелких деталей рельефа. Картой смещения задаётся так называемый «откос» смещаемой поверхности от базовой, создавая рельеф. При грамотном использовании, и вместе с Real Time Ray Tracing, эта технология способна создавать невероятные эффекты окружающего мира.

**Карты рельефа (Bump Mapping)** – метод имитации рельефа с помощью рельефной карты – специальной текстуры, накладываемой на основную. Геометрия никак не меняется, она просто нарисована. Без правильного освещения эффект сильно уменьшается (практически исчезает).

**Конвейер.** В отношении к компьютерным графическим процессорам означает набор независимых арифметических модулей, занимающихся рендерингом изображений, выводимых на экран. Вообще, чем больше конвейеров доступно в графическом процессоре, тем больше возможности процессора по прорисовке трехмерных изображений и выше общая трехмерная производительность.

**Масштабирующий интерфейс связи SLI (Scalable Link Interface)** – под этим названием скрывается возможность установки двух ускорителей в одну системную плату, заставляя их одновременно работать над построением одной и той же сцены. Впервые функция реализована компанией 3Dfx в её ускорителе Voodoo2. Однако при этом, кроме наличия на плате двух слотов PCI-E, требуется ещё поддержка со стороны системной платы для маршрутизации.

**Минимизированные разностные сигналы перехода (TMDS).** Технология, разработанная с целью сокращения электромагнитных помех (EMI) и повышению характеристик цифровых сигналов, направляемых на плоскостельные дисплеи. Алгоритм кодирования преобразует исходные 8 бит графических данных в 10-битный сигнал, менее подверженный ошибкам. В устройстве отображения 10-битный сигнал проходит обратное преобразование в 8-битное представление. Кроме этого, сигнал сбалансирован по постоянному току, что позволяет передавать его по оптоволоконным кабелям. Разъемы DVI могут включать до двух каналов TMDS, причем каждый «канал» может включать несколько сигналов, необходимых для стандартного вывода RGB. Путем приме-

нения нескольких разъемов DVI можно реализовать несколько каналов TMDS, что позволяет достичь более высоких разрешений и частот обновления.

**Множественные отображения.** Текстуры, придающие реализм объекту (такие как дерево, мрамор, кожа и ткань) – это самый ресурсоемкий для памяти аспект трехмерной графики. Поскольку в реальной жизни объекты становятся менее детализированными по мере того, как отдаляются от наблюдателя, программисты трехмерных приложений моделируют этот эффект, используя менее детализированные текстурные карты для удаленных объектов. Такие текстурные карты являются всего лишь уменьшенными версиями текстурных карт, которые применяются к близким объектам, и используют меньше памяти.

**Мультитекстурирование (Multitexturing)** – наложение нескольких текстур за один проход ускорителя – например, базовой, карты света, карты среды, рельефа. Новейшие на сегодняшний день ускорители могут накладывать до 16 текстур за проход (это число эквивалентно числу текстурных конвейеров). Если необходимо наложить больше слоёв, приходится выполнять дополнительные проходы.

**Наложение текстур.** В компьютерной графике двумерные текстурированные поверхности называют текстурными картами. Наложение текстуры – это процесс, согласно которому двумерная поверхность обертывается вокруг трехмерного объекта так, чтобы он приобрел качества текстуры. Например, если взять двухмерную поверхность, которая выглядит, как ткань, и обернуть ее вокруг трехмерной сферы, последняя будет иметь тканевую поверхность.

**Настройка текстур** – это возможность для пользователя выбрать уровень качества текстур для поверхностей трехмерных объектов. Выбор самого высокого качества обеспечит наибольший реализм, но может повлиять на производительность любого ресурсоемкого трехмерного приложения.

**Первичный буфер (Front Buffer)** – это область памяти, из которой изображение выводится на экран.

**Поочередная прорисовка кадров.** Схема распределения графической загрузки, при которой две графические платы используются для рисования последовательных кадров. Эта конфигурация повышает детальность трехмерных объектов, которые могут быть отображены каждой платой, поскольку каждая плата обрабатывает половину общего числа кадров. Естественно, каждая плата располагает большим количеством времени для прорисовки сцены, что позволяет заметно улучшить ее детальность. Этот тип графических операций доступен только для графических плат Radeon CrossFire, используемых для игр и приложений Microsoft Direct 3D и OpenGL.

**Прозрачность (Transparency)** – свойство объекта, позволяющее нам видеть сквозь него, частично или полностью. Стекло, вода, лёд и огонь, дым – примеров очень много.

**Пространственные эффекты (Volumetric Effect)** – эффекты, связанные с использованием трёхмерных текстур. Например, для продвинутой реализации тумана, или пространственной диффузии. Такие текстуры имеют очень большой объём, потому пока используются ограниченно.

**Размытие (Dithering)** – эффект, возникающий в случае применения для отображения картинка в палитре, имеющей меньше цветов, чем расчётное. Например, при просмотре 32-х битной картинка в 16-ти битном цвете. Сразу становится заметна пикселизация, а в 3D возникает крайне неприятная сетка.

**Размытие движения (Motion Blur)** – довольно новая методика, которая позволяет искусственно придать некоторую инерционность движению объектов в кадре. Позволяет имитировать эффект киноплёнки для некоторых сцен. Другое применение – заставить объекты оставлять шлейф при движении, чтобы показать эффект ускоренного/замедленного течения времени. Достигается либо размытием пикселей поверхности объекта, либо одновременным рендерингом сразу нескольких фаз движения объекта.

**Расширение поля буфера КТХ.** Этот программный термин OpenGL® относится к функции, которая позволяет приложениям трехмерного моделирования быстро обновлять части экрана, которые стремительно изменяются или были перемещены или иным образом скрыты. Это достигается за счет оптимизации областей хранения буфера памяти графической платы. Включение этой функции, как правило, не влияет отрицательным образом на другие приложения.

**Режим Scissor.** Схема распределения графической загрузки, при которой две графические платы используются для прорисовки двух половин изображения. Одна графическая плата рисует верхнюю половину экрана, а вторая – нижнюю половину. Эта конфигурация реализует один из методов динамического распределения загрузки между двумя платами, поскольку каждой из них приходится прорисовывать в каждый момент времени детали трехмерного объекта лишь на половине экрана, а не на всем экране. Этот тип графических операций доступен только для графических плат Radeon CrossFire™, используемых для игр и приложений Microsoft Direct 3D и OpenGL.

**Рендеринг (Rendering)** – процесс построения изображения называется рендерингом. Выполняется посредством конвейера рендеринга. Напомним, конвейер – поэтапный многоступенчатый процесс.

Рендеринг относится к этапам окончательной прорисовки, когда двумерное изображение, появляющееся на экране, выводится из его трехмерного описания. То, что на экране может казаться трехмерным, в действительности является двумерной матрицей пикселей.

**Рэйтрэйсинг, трассировка лучей в реальном времени (Real-time Ray Tracing)** – самый сложный и красивый метод построения освещения. Луч от источника отслеживается на всех этапах прохождения до полного рассеивания. Через все отражающие, преломляющие и рассеивающие поверхности. Цветные стёкла могут менять его цветовой спектр.

**Сглаживание.** Технология компьютерной графики, в которой используется особенность человеческого глаза смешивать два соседних цвета для обеспечения более плавных переходов. При сглаживании переходов между двумя или несколькими границами цветов добавляются промежуточные значения цве-



та, и тем самым достигается более плавное и естественное изображение двумерных и трехмерных объектов.

**Сжатие текстур (Texture Compression).** Текстуры, как и любой другой элемент сцены, занимает место в памяти ускорителя, объём которой ограничен. А текстуры становились всё больше и больше. Выходом стало создание алгоритмов, позволяющих хранить текстуры в памяти в сжатом виде, а перед использованием распаковывать. Платой за это является ухудшение качества текстур, в зависимости от формата сжатия. Основными форматами являются S3TC и DXT.

Отметим также, что описанные выше карты нормалей тоже имеют немалый размер, и сжать их – не такая уж плохая идея. Компания ATI предлагает для этого свой формат – 3Dc, карты компании NVIDIA используют DXT5.

Наилучший эффект достигается путём одновременной работы всех трёх видов фильтрации.

**Плоское затушевывание.** Техника освещения, затеняющая каждый полигон трехмерного объекта в зависимости от положения источника света и угла наклона полигона по отношению к нему. Этот стандарт обеспечивает относительно быстрый рендеринг трехмерных объектов, хотя при этом эти объекты могут выглядеть «гранеными», так как для каждого видимого многоугольника задается определенное цифровое значение, однако он не может обеспечить такой реалистический эффект, как при использовании построения теней методом Гуро.

**Процедурная текстура (Procedure texture).** Текстура, которая не является заранее созданным художниками рисунком, а задаётся с помощью вычислительной процедуры. Хорошо подходит для создания верхних слоёв атмосферы и других подвижных субстанций, так как даёт неповторяющийся рисунок.

**Режим Super Tiling.** Схема распределения графической загрузки, при которой прорисовываются через один маленькие квадраты размером 32x32 пикселя мелкозернистого шаблона в виде шахматной доски. Эта конфигурация повышает качество прорисовки изображения, поскольку каждая плата обрабатывает половину сложного трехмерного объекта в пиксельных квадратах. Для большинства приложений режим SuperTiling подходит лучше, чем режим Scissor (в котором две графические платы используются для отрисовки верхней и нижней половины экрана), поскольку шахматная доска обеспечивает более равномерное распределение работы по прорисовке. Этот тип графических операций доступен только для графических плат Radeon® CrossFire™, используемых для игр и приложений с Microsoft Direct 3D.

**Режим сглаживания Super Anti-aliasing.** Функция, улучшающая качество изображения путем объединения результатов полноэкранный сглаживания через две графические платы в конфигурации CrossFire™. Две графические платы работают по разным шаблонам сглаживания в каждом кадре. Результаты объединяются с помощью микросхемы «compositing engine» на основной графической плате CrossFire™ для формирования трехмерных изображений, отличающихся более гладкими контурами, линиями и эффектами затенения.

**Спрайт (Sprite)** – двумерный рисунок, не имеющий «под собой» объекта. Например, прицелы, или HUD, являются спрайтами.

**Тексель.** Сокращение от «texture element»; трехмерный эквивалент пикселя, описывающий структурную единицу поверхности трехмерного объекта, например, сферы. Для двумерного объекта, например, окружности, структурной единицей является пиксель.

**Текстура (Texture)** – двумерное изображение, накладываемое на объект. Один из важнейших объектов графики. С помощью различных видов текстур задаются почти все параметры. Кроме рисунка это могут быть различные виды текстурных карт – рельефа, окружения и т.п.

**Тесселяция (Tessellation)** – это процесс аппроксимации (разбиения) сложных поверхностей на элементарные – треугольники. Также существует термин «Адаптивная тесселяция», который означает возможность определять необходимый уровень уточнения модели, то есть число необходимых треугольников в зависимости от удалённости точки наблюдения. Однако это подразумевает возможность вершинных процессоров генерировать новые вершины прямо во время исполнения шейдера, основываясь на его параметрах, на что даже самый современный на сегодня процессор, NV40, увы, не способен. Правда, Matrox Parhelia была способна, но у неё было много других проблем.

**Трансформация (Transformation).** Этим словом в 3D обозначается процесс преобразования объектов из одной системы координат в другую.

**Треугольник (Triangle)** – это основной графический примитив. Как известно из геометрии, плоскость однозначно задаётся тремя точками (вершинами). Все кривые и многоугольники можно аппроксимировать N-ным числом треугольников. Для того чтобы понять зачем, посмотрите определение поверхностей высшего порядка.

**Трилинейная фильтрация.** Метод выборки, который используется для получения реалистичных трехмерных объектов. Трилинейная фильтрация смешивает один из уровней множественных отображений билинейной фильтрации со стандартными текстурами множественного отображения.

**Фильтрация текстур (Texture Filtering)** – один из важнейших методов повышения качества изображения – фильтрация повышает чёткость изображения. Бывает нескольких видов:

- **Анизотропная фильтрация** – устраняет эффект размытости, вызванный билинейным фильтрованием, возвращает чёткость текстуре. Требует больших вычислительных затрат, но эффект также очень заметен.
- **Билинейная фильтрация** – используется для подавления эффекта квадратов. Цвета четырёх соседних пикселей усредняются, затем два из текущего блока и два из соседнего и так далее. Квадраты исчезают, но картинка размывается.
- **Точечная выборка** – это не метод фильтрации, это её отсутствие. Цвет ближайшего текстеля присваивается всему пикселю. Текстура выглядит разбитой на квадратики – не самое приятное зрелище.

- **Трилинейная фильтрация** – призвана повысить чёткость изображения и сгладить переходы между МIP-уровнями, работая на их границах.

**Фоновый буфер.** Разновидность внеэкранный памяти, используемой для обеспечения плавности изображения видео и ускорения двухмерной графики. В этой технологии используется два буфера кадров изображения, поэтому этот процесс называется «двойная буферизация». При отображении содержимого одного буфера второй буфер (который называется «фонный буфер») содержит обрабатываемый кадр. Таким образом, пользователи видят на экране только завершённые, плавные кадры.

**Цвет Avivo™** – это дополнительный компонент системы Catalyst Control Center, позволяющий пользователям точно контролировать отображение цветов на экране монитора. Цвет Avivo™ содержит инструменты для настройки значений тона и насыщенности для отдельных мониторов. Эти инструменты позволяют оптимизировать использование отдельного дисплея в существующих условиях освещения или обеспечить лучшее цветовое соответствие двух или нескольких расположенных рядом друг с другом мониторов.

**Цветовая кривая** представляет все возможные значения интенсивности (от 0 до 255) для конкретной составляющей цвета (красной, зелёной и синей). Для каждой цветовой кривой на горизонтальной оси откладывается входное значение (значение цвета, заданное для отображения программой), а на вертикальной – выходное значение (значение цвета, которое драйвер дисплея выведет на экран). Значение 0 означает полное отсутствие определенного цвета, а значение 255 – максимальную интенсивность цвета.

**Шейдер вершинный.** Трёхмерные объекты, отображаемые на экране, прорисовываются с помощью полигонов, каждый из которых состоит из пересекающихся треугольников. Вершина – это один из углов треугольника, в котором он соединяется с другим треугольником. Каждая из вершин содержит значительный объём информации, описывающей её координаты в трёхмерном пространстве, а также данные о весе, цвете, текстурных координатах, уровне тумана и размере точки. Вершинный шейдер – это функция обработки графики, которая манипулирует этими значениями и формирует такие свойства, как реалистичные эффекты освещения, улучшенные сложные текстуры (например, волосы или мех) и более точные поверхностные деформации, например, волны, «играющие» в бассейне, или растяжение и образование складок в одежде во время движения человека.

**Эффект «Глубины» (Depth of Field)** – имитация эффекта наведения резкости, когда близкие к точке наблюдения объекты чёткие, а удалённые размыты.

## ГЛАВА 12. РАБОТА СО ШРИФТАМИ

Поговорка «По одежке встречают, по уму провожают» справедлива и для текстовых документов. Только в этом случае «одежка» – это оформление текста. Казалось бы, что может быть проще, чем текст, напечатанный на листе или выведенный на экране компьютера? Однако восприятие текстовой информации в огромной степени зависит от того, как она представлена. Пространство страницы – это произведение графического дизайна.

Взяв в руки рекламную листовку, раскрыв буклет или взглянув на плакат, вы получите первое впечатление о них, даже не читая текст. Внешний вид документа должен соответствовать содержанию, создавать определенный образ.

### 12.1. Шрифт как объект графического дизайна

Письменность, как и речь – средство общения людей. Она служит для передачи мысли на расстояние и для закрепления ее во времени. При этом слова доносят информацию, а их графическое оформление усиливает или ослабляет смысл, так же, например, как в зависимости от интонации меняется смысл фразы.

Техническим средством воспроизведения речи служит шрифт (нем. *schrift* – письмо). Термин «шрифт» имеет несколько значений:

1. Совокупность букв, цифр и знаков определенного рисунка (стиля) и размера, служащая техническим средством воспроизведения речи.

2. Комплект текстовых знаков для набора, например, литер для типографского набора.

3. Рисунок (конфигурация) букв, цифр и знаков.

Дизайн шрифтов – особый вид графики, подчиняющийся общим для всех видов изобразительного искусства закономерностям, требующий знания этих законов и правил и умения применять их на практике. Для шрифта очень важен рисунок каждого знака, сочетаемость букв, внешний вид текстовых блоков, композиция страниц.

Как и к любому другому объекту дизайна, к шрифту предъявляются не только эстетические, но и функциональные требования: узнаваемость букв, различимость отдельных символов и слов, удобочитаемость всего текстового документа. Создание шрифта – искусство и наука одновременно.

В соответствии с требованиями времени и новыми технологиями, шрифты постоянно видоизменяются, появляются новые начертания, новые стилевые решения. Каждый период развития человечества как в зеркале отражается в эволюции шрифта.

### 12.2. Краткая история шрифтов

На протяжении всей своей истории человек осваивал новые способы передачи информации. Сначала это были рисунки, воспроизводящие сюжеты из жизни, затем тексты, зашифрованные с помощью условных изображений.

Шрифты складывались на протяжении тысячелетий, от иероглифов до современных абстрактных знаков.

История мировой письменности знает четыре основных вида письма.

**Пиктографическое** (картинное) – самое древнее письмо в виде рисунков (примитивных и весьма условных).

**Идеографическое** (иероглифическое) – письмо эры ранней государственности и возникновения торговли. Знаки этого письма – идеограммы (иероглифы) – представляют собой символы, обозначающие отдельные слова или целые понятия. Этот вид письма называют образно-символическим. К нему относятся шумерская клинопись, китайские, японские и египетские иероглифы, которые со временем менялись от точного воспроизведения предметов до условных знаков.

**Слоговое** – письмо некоторых народов Индии. В Японии оно применялось наряду с иероглифами. Слоговое письмо было переходом от образно-символического письма к фонематическому. Первые «буквы», обозначающие слоги, а позже и отдельные звуки, были придуманы уже в Древнем Египте.

**Буквенно-звуковое** (фонематическое) – письмо, лежащее в основе письменности многих народов мира, языковая специфика которых нашла отражение в составе их алфавитов. Так, в русском алфавите 33 графических знака, в латинском – 23, в итальянском – 21 и т. д. Знаки алфавита отличаются друг от друга в своем простейшем, «скелетном» начертании. Графическая основа, неизменная форма входящих в алфавит букв без учета стиливых, гарнитурных и прочих формообразований, называется графемой.

Прямым предшественником русского и латинского алфавитов является греческий алфавит, который появился в VIII в. до н. э. и обрел относительную завершенность (графическую простоту) к IV в. до н. э. Но первый буквенный алфавит появился значительно раньше, около XVI в. до н. э., на Синайском полуострове. Проживавшие там семитские племена переняли из египетского письма целый ряд знаков-идеограмм (рис. 12.1), обозначив ими те или иные предметы. Финикийцы восприняли и усовершенствовали эти идеограммы. Далее буквенно-звуковое письмо перешло к грекам, которые преобразовали его согласно требованиям своего языка (в частности, ввели обозначение гласных звуков, которые отсутствовали в финикийском алфавите). Структура графем, очевидно, исторически связана с иероглифическими изображениями, что подтверждается наименованиями некоторых букв греческого алфавита.

За тысячелетнюю историю шрифта менялось и направление записи букв. В Египте писали и читали сверху вниз, финикийцы – справа налево, греки первоначально писали поочередно: одну строку слева направо, а следующую – наоборот, справа налево. При этом буквы в четных строках тоже были «повернуты» (зеркально отражены) относительно букв в нечетных строках. Лишь со временем установилась привычная нам манера письма только в одном направлении.

Семитские знаки		Финикийское письмо		Греческое письмо	
	алеф - бык		алеф		альфа
	гимл - жезл		гимел		гамма
	далет - дверь		далет		дельта
	маим - вода		мом		мю
	онн - глаз		айнн		омикрон

Рис. 12.1. Примеры эволюции буквенно-звукового письма

### 12.2.1. История развития шрифтов латинского алфавита

Латинский алфавит – итог длительного развития греческого письма, приведший к появлению письма римского. Древние римляне заимствовали этрусский алфавит, сложившийся на основе греческого. Латинский алфавит сформировался к I в. до н. э., а затем, в течение многих веков, происходила эволюция его графического решения. Основные формы оставались, но менялись начертания букв. Эти изменения были вызваны поиском наиболее простых и рациональных рисунков букв, которые обеспечили бы легкость и быстроту их написания и чтения.

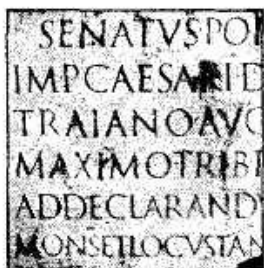
Древнегреческие монументальные надписи и первый латинский алфавит состояли только из прописных букв (маюскулы). Позже, в VIII–IX вв. н. э., появились строчные буквы (минускулы), немногие из которых сохранили рисунок прописных букв. Строчные буквы позволили слитно писать слова и облегчить чтение за счет появившихся надстрочных и подстрочных выносных элементов.

Приведем основные вехи развития латинского письма.

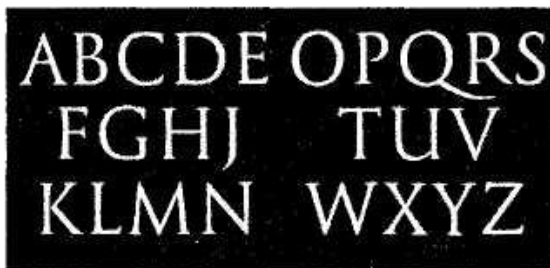
**Капитальное квадратное письмо** (I в. н. э.): пропорции большинства букв таковы, что они вместе с засечками (поперечные элементы на концах штрихов буквы) вписываются в квадрат (рис. 12.2); буквы размещаются свободно, разрывов между словами нет.

**Капитальное рустическое письмо:** буквы вытянуты в пропорции 5:3; вертикальные линии очень тонкие, горизонтальные штрихи жирные; письмо сплошное, слова в некоторых случаях разделяются точками (рис. 12.3).

**Унциальное письмо:** в колонке по ширине писалось, как правило, 12 букв (строка); буква составляла 1/12 часть – унцию (uncia) – строки. Унциальное письмо отличается округлостью форм и заметными выносными линиями; пропорции букв близки к квадрату; письмо сплошное (рис. 12.4). Позднее для повседневного беглого письма на восковых табличках появилось особое начертание – курсив, т. е. «бегущий», «косо лежащий».



а



б

Рис. 12.2. Римское капитальное квадратное письмо: а – текст, высеченный на камне, б – прорисовка букв



Рис. 12.3. Римское капитальное рустическое письмо

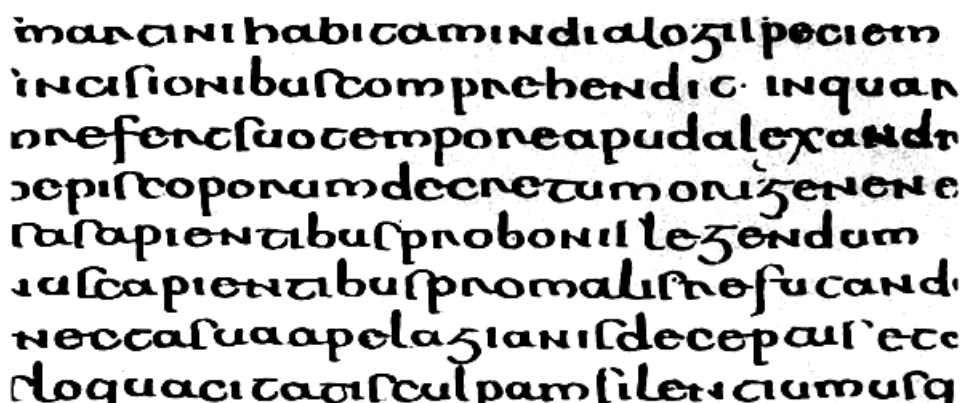


Рис. 12.4. Римский унциал

**Каролингский минускул** (VIII в.) – самый рациональный и совершенный из всех типов латинского средневекового письма (рис. 12.5). Алфавит эпохи Карла Великого состоял из строчных букв, античных прописных и арабских цифр. Этот алфавит послужил основой всем разработанным позднее европейским шрифтам, поскольку был логичен и универсален. Для общения людям требовалось именно такое письмо, и оно развивалось и видоизменялось с течением времени. Позднее появилось готическое письмо, письмо эпохи Возрождения, наборные гарнитуры, но графическая основа оставалась неизменной.

**Готическое письмо** (XII–XV вв.): его появление совпало с развитием готического стиля. Изменились форма некоторых знаков, пропорции букв, контраст штрихов; сократилось расстояние между строками, отчего картина письма стала очень темной, чтение и написание текстов затруднилось (рис. 12.6).

**D**n̄s dabit uerbum  
 euangelizantibus.  
 uirtutem multam.

Рис. 12.5. Каролингский минускул



Рис. 12.6. Примеры готического письма

**Гуманистическое письмо (антиква):** гуманисты полностью возродили каролингский минускул, применив эстетические мерки Ренессанса. Ошибочно полагая, что это письмо античных времен, они назвали его антиквой (рис. 12.7). Старинная антиква (ренессанс-антиква) возникла в эпоху Возрождения; переходная антиква совпадает по времени со стилем барокко; новая или классицистическая антиква получила распространение в эпоху классицизма.

ABDEGHJKLMNQRSTUWXYZ

Über die Nachahmung. Der nur Nachahmende, der nichts zu sagen hat zu dem, was er da nachahmt, gleicht einem armen Schimpansen, der das Rauchen seines Bändigers nachahmt und dabei

Рис. 12.7. Гуманистическое письмо (антиква)



**Египетские или брусковые шрифты** (рис. 12.8) появились в начале XIX века в Англии и первоначально были созданы в рекламных целях. Отличительной особенностью является наличие засечек прямоугольной формы, совпадающих по толщине с вертикальными элементами букв.

**Рубленые шрифты** (рис. 12.9): структура букв такая же, как у антиквы, но совершенно отсутствуют засечки. Среди них выделяются гротески – неконтрастные гарнитуры.



Рис. 12.8. Брусковые шрифты



Рис. 12.9. Пример рубленого шрифта

### 12.2.2. История русских шрифтов

Путь развития славянского, а, следовательно, и русского письма в корне отличается от путей развития латинского. О времени, условиях возникновения и становления славянского письма имеется очень мало фактических данных, поэтому и высказывания ученых по этому вопросу с давних пор были противоречивыми. Многие вопросы еще и по сей день не разрешены в полной мере.

Утверждение некоторых ученых, будто славянское письмо появилось лишь вместе с христианством, не соответствует истине. В арабских и немецких хрониках упоминаются надписи, сделанные в древних славянских языческих храмах, которые означали названия богов или пророческие предсказания. Есть и более достоверные данные. Болгарский писатель Черноризец Храбр написал в конце IX века «Сказание о письменах славянских». В этой книге он говорит, что славяне читали и писали, употребляя для этого особые «черты и резы». Следовательно, у славян уже в эпоху язычества была какая-то своя система букв и знаков, а латинские и греческие буквы они действительно начали употреблять лишь после принятия христианства.

В «Житии» Константина (Кирилла) Философа (826-869 гг.) говорится о наличии книжной письменности у восточных славян в IX столетии. В восьмой главе «Жития» рассказывается, что в 858 году по дороге в Хазарию Константин Философ со своими спутниками задержался на некоторое время в Крыму. В го-

роде Корсуне (Херсонесе) он «обрел» Евангелие и Псалтырь, написанные старыми русскими буквами («русьскими писмены»), а потом нашел и человека, который говорил на этом языке. Вполне правдоподобно, что корсунские книги были написаны не только русскими буквами, но и на древнерусском языке.

**Глаголица.** Азбуки, ставшие основой славянского письма, называются глаголицей и кириллицей.

О древнейшей форме глаголицы мы можем судить только ориентировочно, потому что дошедшие до нас памятники глаголицы не старше конца X столетия. Из них важнейшими и наиболее ценными считаются так называемые «Киевские листки», некоторые евангелия (Зографское, Мариинское и Ассеманиево), Синайский псалтырь и др.

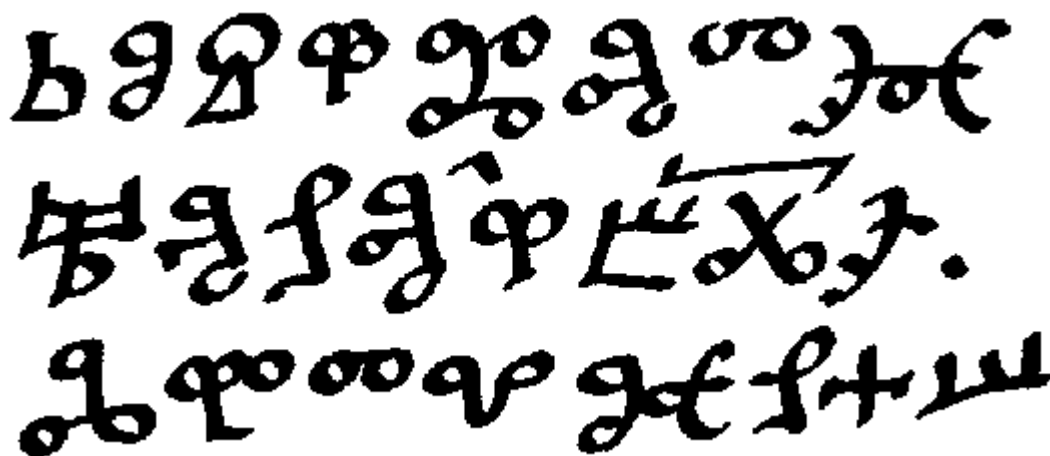


Рис. 12.10. Образец круглой (болгарской) глаголицы XI века

Всма́триваясь в глаголицу, мы замечаем, что формы ее букв очень замысловаты. Знаки часто строятся из двух деталей, расположенных как бы друг на друге. Это явление замечается и в более декоративном оформлении кириллицы. Простых круглых форм почти нет. Они все связаны прямыми линиями. Современной форме соответствуют лишь единичные буквы (ш, у, м, ч, э).

**Кириллица.** Происхождение кириллицы также окончательно не выяснено. Название, во всяком случае, возникло позже, чем сам алфавит. Существует различные теории о происхождении кириллицы, теории разной степени достоверности.

В связи со своей поездкой в славянские государства в середине IX века Кирилл несомненно составил какой-то новый славянский алфавит. Была ли это глаголица, неизвестно. Необходимо было перевести религиозную литературу на славянский язык, а для этого надо было упростить замысловатые и трудно выполняемые буквы глаголицы и ввести в алфавит недостающие буквы для звуков славянского языка. Обо всем этом говорится во многих источниках того времени, но всегда упоминается только об одном славянском алфавите, хотя их существовало в то время уже два.

Древнейшим памятником кириллицы считается надпись 893 года на развалинах храма в Преславе (Болгария). Найденная при строительстве Дунайско-

Черноморского канала эпитафическая надпись относится к 943 году, а надпись с надгробной плиты болгарского царя Самуила – к 993 году.

В алфавите кириллицы насчитывается 43 буквы. Из них 24 заимствованы из византийского письма, остальные 19 изобретены заново, но в графическом оформлении уподоблены первым. Не все заимствованные буквы сохранили обозначение того же звука, что в греческом языке, – некоторые получили новые значения соответственно особенностям славянской фонетики.

Из славянских народов кириллицу сохранили дольше всех болгары, но в настоящее время их письмо, как и письмо сербов, одинаково с русским, за исключением некоторых знаков, предназначенных для обозначения фонетических особенностей. Древнейшую форму кириллицы называют **уставом**.

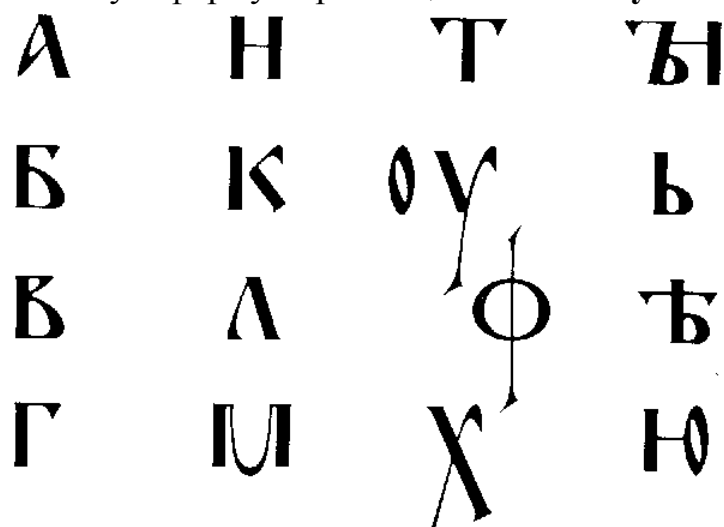


Рис. 12.11. Образец древнерусского устава XI в.

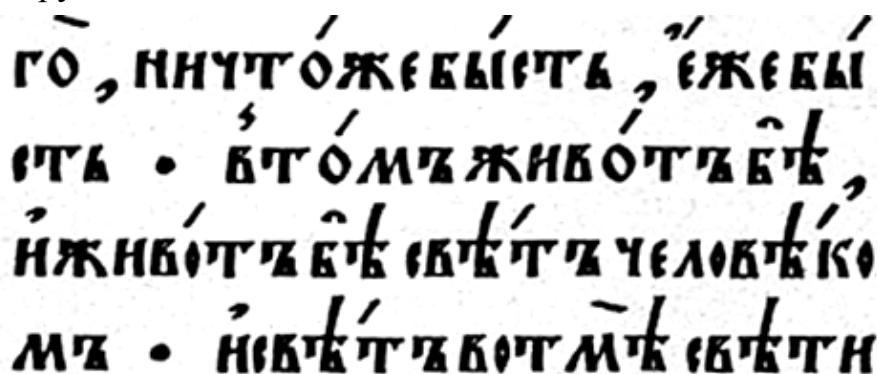
Отличительной чертой устава является достаточная отчетливость и прямолинейность начертаний. Большая часть букв угловатая, широкого тяжеловесного характера. Исключениями являются узкие округлые буквы с миндалевидными изгибами (О, С, Э, Р и др.), среди других букв они кажутся как бы сжатыми. Для этого письма характерны тонкие нижние удлинения некоторых букв (Р, У, З). Эти удлинения мы видим и в других видах кириллицы.

Они выступают в общей картине письма легкими декоративными элементами. Буквы устава – крупного размера и стоят отдельно друг от друга. Старый устав не знает промежутков между словами.

**Полуустав.** Начиная с XIV столетия, развивается второй вид письма – полуустав, который впоследствии вытесняет устав. Этот вид письма светлее и округлее, чем устав, буквы мельче, очень много надстрочных знаков, разработана целая система знаков препинания. Буквы более подвижны и размашисты, чем в уставном письме, и со многими нижними и верхними удлинениями. Техника начертания ширококонечным пером, сильно проявлявшаяся при письме уставом, замечается много меньше. Полуустав употреблялся в XIV–XVIII веках наряду с другими видами письма, главным образом, со скорописью и вязью.

Писать полууставом было значительно проще. Феодальная раздробленность страны вызвала в отдаленных областях развитие своего языка и своего стиля полуустава.

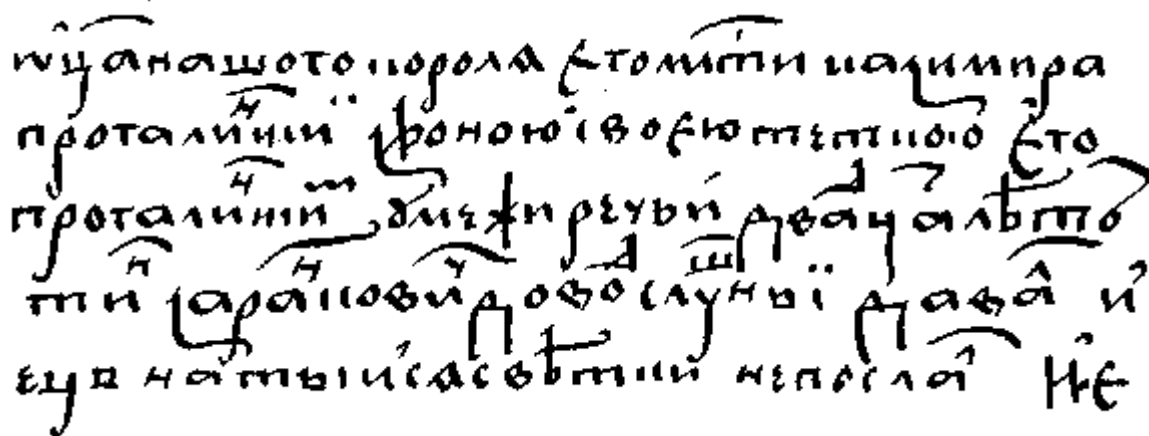
**Скоропись.** Скоропись примерно соответствует понятию латинского курсива. У древних греков скоропись была в широком употреблении на ранней стадии развития письма, частично имела она и у юго-западных славян. В России скоропись, как самостоятельный вид письма, возникла в XV столетии. Буквы скорописи, частично связанные меж собой, отличаются от букв других видов письма своим светлым начертанием. Но так как буквы были снабжены множеством всевозможных значков, крючков и прибавок, то читать написанное было довольно трудно.



ГО, ННУТОЖЕБЫСТА, ЕЖЕБЫ  
 ТА • ВТОМЪЖИВОТЪБѢ,  
 ИЖИВОТЪБѢ СВѢТЪ ЧЕЛОВѢКО  
 МЪ • НБѢТЪВОТМѢ СВѢТН

Рис. 12.12. Пример древнерусского полуустава

Хотя в скорописи XV столетия еще отражается характер полуустава и связующих буквы штрихов мало, но в сравнении с полууставом это письмо более беглое.



ица ашаго корола стоити и аципра  
 проталини фроню и во фю тетиноу сто  
 проталини дичи реуви двачу альто  
 ти царанови дово слунви дава и  
 еуд натыи сасвѣтшии не посла не

Рис. 12.13. Южнорусская скоропись. 1516 год

Вязь трудно читалась, употреблялась она главным образом для орнаментации заглавий и выделения из общего текста единичных, более значительных слов. По стилю можно различать круглую и угловатую вязь. Она применялась и в ранних печатных изданиях, и лишь с распространением гражданского письма вышла из употребления.

Буквы скорописи в значительной мере выполнялись с удлинениями. Вна-

чале знаки были составлены главным образом из прямых линий, как это характерно для устава и полуустава. Во второй половине XVI века, а особенно в начале XVII века, основными линиями письма становятся полукруглые штрихи, а в общей картине письма видны некоторые элементы греческого курсива. Во второй половине XVII века, когда распространилось много разных вариантов письма, и в скорописи наблюдаются характерные для этого времени черты – меньше вязи и больше округлостей. В конце века круглые очертания букв стали еще более плавными и декоративными. Скоропись того времени постепенно освобождается от элементов греческого курсива и отдаляется от полуустава.

**Вязь.** Вместе со скорописью широко распространилась вязь, характеризующаяся затейливым соединением букв. Вначале вязь употреблялась в заглавиях в виде соединения двух-трех переплетающихся букв, а затем перешли к написанию целых строк.



Рис. 12.14. Образцы круглой и угловатой вязи. 1495 и 1497 годы

**Буквари Кариона Истомина.** К числу древнерусских образцов письма следует отнести и знаменитые буквари Кариона Истомина, жившего во второй половине XVII века и в первой четверти XVIII века. Карион Истомин, монах Московского Чудова монастыря и, вместе с тем, корректор Печатного двора, был выдающимся деятелем культуры своего времени; он собрал богатые материалы по древнерусской письменности, которые использовал в своих букварях, изданных в 1694–1696 годах. Буквари того времени предназначались не только детям; при общем низком уровне грамотности они были источниками знания и для взрослых. Верхняя часть страницы букваря была посвящена художественным изображениям букв в весьма разных стилях, начиная с самого сложного унциала и кончая буквами простой скорописи. Середину страницы занимали рисунки, а на нижней трети страницы располагался полууставный гравированный текст.

**Книгопечатание на Руси.** Большим культурным достижением явилось начало книгопечатания в России во время Ивана Грозного в XVI веке. Русским первопечатником был Иван Федоров. Строительство первой государственной типографии в Москве закончилось в 1563 году, а 1 марта 1564 года здесь вышла первая книга «Апостол», техническое и художественное исполнение которой было превосходным. В дальнейшем типография напечатала еще несколько книг

религиозного содержания, затем деятельность ее прерывается. Иван Федоров и его помощник Петр Мстиславец, преследуемые церковными и светскими реакционерами, были вынуждены покинуть Родину и поселиться за ее пределами, став зачинателями книгопечатания в Литве, Белоруссии и Украине.



Рис. 12.15. Фрагмент страницы из букваря Кариона Истомина

**П**олууставъ  
16-го вѣка.  
**ОБРАЗЕЦЪ ШРИФТА**

Рис. 12.16. Образец полуустава русских первопечатных книг – шрифт из «Апостола» 1564 г. Ивана Федорова

**Реформы Петра Великого.** Лишь Петр I положил книгопечатанию твердую основу, проведя реформу алфавита и шрифта, чем оказал неоценимую услугу распространению грамотности и просвещения среди широких слоев населения.

Русским типографским шрифтом был полуустав, при помощи которого печатались как духовные, так и светские книги. Однако этот шрифт был неудобочитаемым и малопригодным для печати книг светского содержания.

Петр I, хорошо знавший ясный шрифт гуманистической латиницы, решил изменить форму букв. В конце XVII и начале XVIII веков по его распоряжению было напечатано много различных книг новыми, близкими к антикве шрифтами. В 1710 году по указу Петра I в азбуке был произведен целый ряд новых исправлений, после чего в том же году царь утвердил новый шрифт. Этот вид шрифта, получивший свою форму и распространение в новой исторической

эпохе, когда начала прогрессировать светская культура, называется **гражданским шрифтом**.

своі челоѡѡкѡ тоі: рыдая. Про  
кль же на мноѡѡ почудѡвся і рас-  
гнѡѡвася убѡ нї на кого же [нї же  
бо імяше пропїѡѡ кому] само  
му же себѡѡ паче порїцаѡѡ. яко

Рис. 12.17. Образец гражданского шрифта. 1709 год

Сто была Арна Сидно Пшени Т  
решовъ Худие. Земли Делять Се  
Лавионъ Пороило Пятнацать Се  
впо Авдъ Потомъ Аннѡѡ всѡѡ

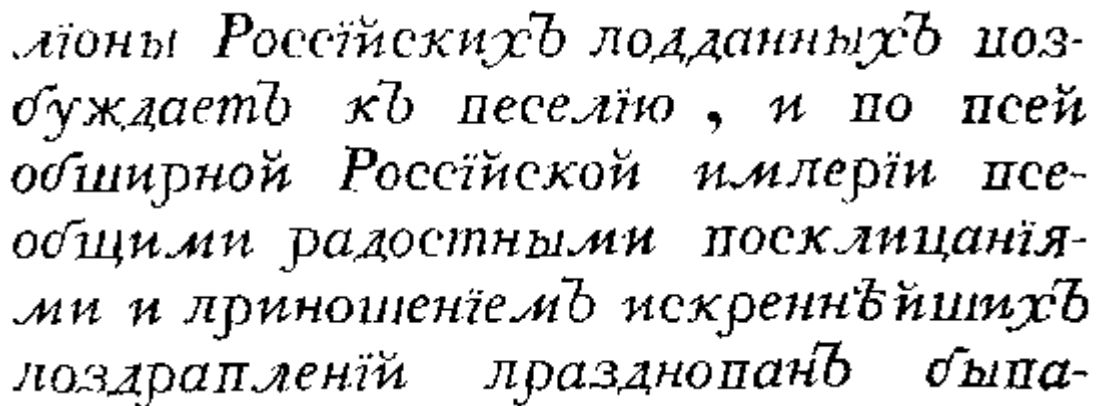
Рис. 12.18. Гражданская скоропись. 1703 год

Старая кириллица продолжала применяться только в церковных книгах. В светской литературе, официальных документах и периодической печати стал употребляться новый, гражданский шрифт. Это породило резкое различие между книгами церковными и светскими, новая культура была в значительной мере освобождена от влияния религии и церкви. Уже в годы царствования Петра I было издано более 600 разных книг, причем на первом месте были учебники и книги по математике, географии, военному делу.

Пётр велел отлить в Амстердаме новый шрифт, который был привезён в Россию в 1708 г., но этот шрифт был признан не вполне удобным, и уже с 1710 года начались его изменения. Одна из главнейших реформ того времени последовала 1735 г. по распоряжению Академии Наук. Она состояла в следующем: буква **зело** была устранена, а на её место введена буква **земля**; отменены были тоже **кси** и **V (ижица)**, хотя последняя снова в скором времени была возвращена; прибавлена была буква **И**, и снова введено существовавшее уже раньше в России **Э**. Тогда же постановили одинаково пишущиеся слова, вроде замок и замок, отмечать ударением. Наконец, в 1758 г. последовали новые перемены – эта реформа была проведена учреждённым при академии «Российским собранием» и все постановления по этому предмету были изданы как обязательное

руководство для типографий. Тогда звук «и» постановили изображать тремя знаками: **и**, **і**, **у**, а именно: **и** – постановили писать перед согласными, **і** – перед гласными и в иностранных словах, кроме греческих, где на месте **и** пишется «у». Кроме того, тогда ввели новый знак **ю**.

Со времени Н. М. Карамзина, предложившего заменить старое **іо** новым знаком **ё**, в русской азбуке особых изменений не произошло. Внешняя форма букв со временем стабилизировалась. Лишние удлинения и прочие элементы, бесцельно обременявшие буквы, вышли из употребления, а вместо этого стали уделять больше внимания сохранению русского своеобразия в основных конструкциях букв.



*ліоны Россійскихъ подданныхъ поз-  
буждаетъ къ поселію , и по псей  
обширной Россійской имперіи все-  
общими радостными покликанія-  
ми и приношеніемъ искреннѣйшихъ  
поздравленій празднопанѣ быпа-*

Рис. 12.19. Типографский курсив 1749 года

В конце XVIII – начале XIX вв. появились шрифты классицистического типа (рис. 12.20). Начиная с XIX в. графика русских шрифтов развивалась параллельно с графикой латинских, вбирая в себя все новое, что зарождалось в обеих письменных системах.

**Наше время.** Из шрифтов, рисунок которых находит отклик в современных шрифтах, кроме разных вариантов петровского, заслуживает внимание, в первую очередь, елизаветинский шрифт. Он образовался в первой половине XVIII века и довольно близок петровскому шрифту, но имеет больший контраст штрихов и более компактен. В этом шрифте свою окончательную форму получила буква **б**, которую в ранних шрифтах часто изображали округлой сверху или наподобие строчной буквы. Форма ныне употребляемого елизаветинского шрифта восходит к 1904 году. **Академический шрифт** оформился в середине XVIII века. Большинство букв этого шрифта построено на основании петровского шрифта 1710 года. Употребляемый ныне академический шрифт создан в 1910 году.

**Александровский шрифт** возник в начале XIX века. Это шрифт типа новой антиквы с большим контрастом и округлыми засечками.

В конце XVIII века и в первой половине XIX века в России начинают господствовать русские модификации многих распространенных в Западной Европе шрифтов: старинной антиквы, новой антиквы, египетского, гротеска и др. К этим в совершенстве развитым шрифтам были лишь добавлены недостающие русские буквы.



Во второй половине XIX века в России, как и в других странах, замечается упадок художественного уровня шрифта. Этому весьма содействовало то обстоятельство, что большая часть словолитных предприятий принадлежала иностранным капиталистам, и в них отливали главным образом импортированные с Запада шрифты, переживавшие в то время общую деградацию и упадок.

КАНОНЪ МАЛОЙ I.  
**А Б В Г Д Е Ж З  
 И К Л М Н О П  
 Р С Т У Ф Х Ц  
 Ч Ш Ы Ъ Э Ю.**

КАНОНЪ МАЛОЙ II.  
**А Б В Г Д Е Ж З И  
 К Л М Н О Р С Т  
 У Ф Х Ц Ч Ш Щ  
 Ы Ъ Э Ю Я Ѳ Ѵ.**

№ 17.  
 ПАРАГОНЪ ПРЯМОЙ.  
**ИЗОБРЕТЕНІЕ КНИГО-**  
 печатанія, извѣсняя и распро-  
 страняя Науки и Художества,  
 утверждаетъ существованіе  
 оныхъ. Историки не согласны  
 ни о времени, ни о мѣстѣ  
 изобрѣтенія онаго. Большая  
 часть утверждаетъ, что вы-  
 рѣзываніе буквъ на деревѣ,  
 которымъ въ 1438 году началъ

№ 18.  
 ПАРАГОНЪ КУРСИВЪ.  
**ЗАНИМАТЬСЯ ІОАННЪ**  
 Гуттенбергъ, житель города  
 Маинца, послужило началомъ  
 для онаго. Хотя онъ соеди-  
 нился съ Іоанномъ Фаустомъ

Рис. 12.20. Русский классицистический шрифт

<b>РАБЪ</b>	<b>КНЯЗЬ</b>
<b>КАЛЕНДАРЬ</b>	<b>ОСЕНЬ</b>
Словолитня	<b>КОЛИБРИ</b>
<b>ОБЩЕСТВО</b>	<b>Литографъ</b>
<b>РЕВЕЛЬ</b>	

Рис. 12.21. Образцы титульных шрифтов второй половины XIX – начала XX веков

Новая страница в истории русского шрифта началась уже на втором месяце существования Советской власти. Была проведена широкая реформа русского правописания, облегчившая освоение русской грамоты широкими народными массами. Из алфавита были изъяты такие бесполезные знаки, как буквы

**ять и фита.** Культурная революция потребовала улучшить все книгоиздательское дело, привести в порядок расстроенное типографское хозяйство.

В 20-е годы были созданы новые алфавиты для многих национальностей страны, что позволило быстрыми темпами ликвидировать безграмотность.

Создание в 1938 году специальной лаборатории шрифта, преобразованной в дальнейшем в Отдел новых шрифтов при НИИ полиграфического машиностроения, позволило начать проектирование новых рисунков типографских шрифтов. Среди художников, успешно создающих оригинальные рисунки наборных шрифтов, следует отметить Н. Кудряшова (новая газетная, кудряшевская словарная, рубленая светлая), Г. Банникову (банниковская), Е. Глущенко (советская). Однако основные силы художников шрифта у нас сосредоточены в сфере книжного оформления, где рисованный шрифт выполняется как часть композиции определенного конкретного издания. Наиболее известные мастера шрифтовой графики – это Д. Бажанов, И. Богдеско, Е. Ганнушкин, Я. Егоров, Г. Епифанов, Н. Ильин, Е. Коган, П. Кузаян, В. Лазурский, С. Пожарский, С. Телингатер, В. Фатальчук, И. Фомина, И. Хотинюк, О. Юнак. Некоторые из этих художников обобщают свой богатый опыт работы в области шрифта путем создания собственных рисованных алфавитов. Из этих наиболее интересных и совершенных шрифтов созданы наборные титульные гарнитуры Бажанова, Рерберга, Кузаяна, Лазурского, акцидентная гарнитура Телингатера.

### **12.3. Основные параметры шрифтов**

Как и любой объект графического дизайна, шрифт зависит от инструмента, с помощью которого он воспроизводится. По способу воспроизведения шрифты делятся на рисованные и наборные.

Рисованными называют шрифты, выполненные вручную. Каждый выгравированный, написанный от руки или нарисованный пером шрифт несет печать индивидуальности художника. Это не компоновка готовых знаков алфавита, а создание новой текстовой композиции. Вручную невозможно абсолютно точно повторить рисунок буквы, поэтому даже в одном слове повторяющиеся символы различаются. Рукописные шрифты очень выразительны: нажим пера, качество чернил, наклон, мягкость или угловатость букв отражают характер человека, написавшего текст, передают его эмоциональное состояние. Это придает текстам, написанным от руки, особый шарм.

Наборные шрифты – комплект текстовых знаков определенного рисунка для набора любого типа, например литер для типографского набора, символов в шрифтовом файле для компьютерного набора и т. д. Наборные тексты выглядят строго и гармонично, все буквы и знаки выверены и согласованы по начертанию.

Обычно при чтении люди не обращают внимания на шрифт, не замечают формы отдельных букв. Это значит, что шрифт спроектирован правильно: внимание не отвлекается от текста, а значит, информация воспринимается лучше. Для того чтобы читатель «не видел» шрифт, разработчику нужно серьезно по-

трудиться: соблюсти стиль, пропорции, ритм, продумать детали. Одним из основателей систематического подхода к разработке шрифтов был Альбрехт Дюрер. Сохранились его записи, датированные 1525 годом: «Когда рисуешь в квадрате букву, сделай ширину ее толстой ножки равной одной десятой части стороны квадрата, тонкий же штрих буквы сделай равным третьей части толстого». Систематизация пропорций типографских литер и правил их монтажа продолжалась два столетия. В середине XVIII века в Англии жил замечательный дизайнер шрифтов Джон Баскервиль. Он разрабатывал шрифты, учитывая особенности применявшихся в то время технологий, в том числе и свойства металлов, которые использовались для отливки литер. Примерно в это же время в Италии работал Джамбаттиста Бодони, разработавший 265 латинских, греческих и восточных шрифтов. С появлением компьютеров начался новый виток развития шрифтового искусства.

Так как основными типами шрифтов являются наборные шрифты, рассмотрим их характеристики.

### 12.3.1. Основные элементы построения букв

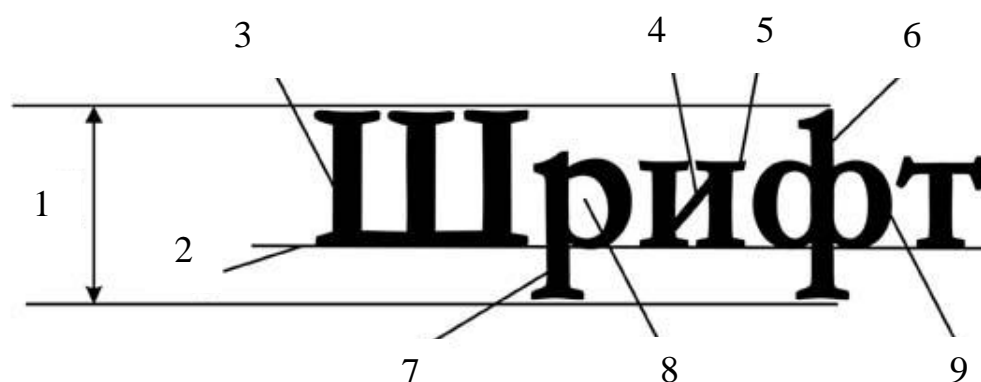


Рис. 12.22. Основные элементы шрифта: 1 – кегль; 2 – линия шрифта; 3 – основной штрих; 4 – соединительный штрих; 5 – засечка; 6 – верхний выносной элемент; 7 – нижний выносной элемент; 8 – внутрибуквенный просвет; 9 – наплыв

**Кегль** (1) – размер шрифта; определяется расстоянием между верхним и нижним выносными элементами. Здесь же учитываются и заплечики – небольшой зазор над верхним и под нижним выносными элементами (понятие досталось нам «в наследство» от металлических литер).

**Линия шрифта** (2) – базовая линия, по которой выравнивается нижний край основной части буквы (не считая свисающих элементов и нижнего выносного элемента).

**Штрихи**, образующие формы букв, делятся на основные (3) (обычно вертикальные, более толстые) и соединительные (4) (более тонкие). В буквах треугольной формы (А, У) основным штрихом считается идущий сверху слева

вниз направо (нисходящий штрих), а соединительным – идущий снизу слева вверх направо (восходящий штрих). Соотношение между толщинами основных и соединительных штрихов называется контрастностью шрифта.

**Засечки** (5) – поперечные элементы на концах штрихов букв. Короткие горизонтальные штрихи визуально соединяют буквы и выстраивают из них слова, облегчая процесс чтения текста. Шрифты с засечками получили наибольшее распространение, так как засечки помогают взгляду передвигаться вдоль строки, и буквы при этом не сливаются друг с другом. С течением времени начертание шрифтов менялось, в частности, изменялись формы засечек. В старых антиквенных шрифтах сохраняется легкий эффект рукописного начертания. Засечки чуть изогнуты и плавно утолщаются при переходе к основным штрихам, приближаясь по форме к треугольнику, ось овалов круглых букв слегка наклонена влево (рис. 12.23, а). В антиквах более позднего времени засечки становятся более прямыми, ось овалов вертикальна (рис. 12.23, б). Во многих современных антиквах засечки прямые (рис. 12.23, в).



Рис. 12.23. Начертания различных групп шрифтов:  
а, б, в – антиквенные; г – брусковый; д – гротеск

Брусковые шрифты характеризуются прямоугольными и квадратными засечками, соединяющимися с основными штрихами под прямым углом или с легким закруглением. Толщина засечек, основных и соединительных штрихов различаются незначительно (рис. 12.23, г).

Шрифты без засечек называют рублеными или гротесками. Толщина основных и соединительных штрихов в них практически одинакова (рис. 12.23, д). Буквы без засечек легче читать в шрифтах очень большого и, в особенности, очень малого кегля.

В зависимости от соотношения горизонтальных размеров (ширин) различных знаков, шрифты делятся на моноширинные (например, Arial) и пропорциональные, такие как Times (рис. 12.24).

В моноширинных шрифтах все знаки имеют одинаковую ширину. Как правило, они применяются для набора таблиц, листингов программ и т. д.

Пример моноширинного шрифта

Пример пропорционального шрифта

Рис. 12.24. Моноширинный и пропорциональный шрифты

Пропорциональные шрифты более читаемы, поэтому они значительно популярнее. В пропорциональных шрифтах буквы делятся на узкие (I, J), нормальные (O, H, B) и широкие (M, Ц, Ф, Ж). Лучше всего воспринимается шрифт, в котором высота и ширина нормальных букв соотносятся в пропорции золотого сечения.

Главное для шрифта – хорошее восприятие, а глаз человека несовершенен. Шрифт – это искусство оптической иллюзии. Когда говорят о точности графики шрифта, речь идет не о геометрической точности, а о визуальной. В частности, графические иллюзии проявляются в начертаниях букв:

- горизонтальная средняя линия буквы Н, расположенная строго в геометрическом центре, кажется смещенной вниз;
- буква О кажется ниже Н;
- горизонтальные штрихи, равные по толщине вертикальным, выглядят тоньше.

Для визуального выравнивая параметров шрифта (оптической компенсации) приходится целенаправленно вносить искажения в геометрически точные формы шрифта.

### 12.3.2. Начертание шрифтов

Для выделения части текста или как декоративный прием используют курсивные и наклонные начертания. Наклонные шрифты образуются путем изменения угла наклона знаков прямых начертаний, при этом буквы и цифры практически не изменяют рисунка. Курсивные шрифты отличаются от наклонных тем, что знаки в них меняют очертания, приобретают вид «рукописных». От основного начертания курсивы отличаются рисунком, пропорциями, насыщенностью (рис. 12.25). Обычно курсив используют для выделения в шрифтах типа антиква, а наклонное начертание – в шрифтах типа гротеск.

***Курсивное начертание***

***Наклонное начертание***

Рис. 12.25. Пример наклонного и курсивного начертаний

Еще один способ выделения текста – полужирное и жирное начертания. Впервые жирные шрифты были разработаны в начале XIX века. Они использовались для набора заголовков, объявлений, афиш. Позднее литеры жирного и полужирного начертаний разрабатывались как вариант обычного светлого шрифта для выделения части текста.

Конструирование курсивного и жирного начертаний в дополнение к основному привело к тому, что появились комплекты шрифтов, одинаковых по характеру рисунка, но отличающихся размером, наклоном и насыщенностью. Такой комплект называется **гарнитурой**.

Шрифты одной гарнитурой имеют одну графическую основу и носят общее название, например, Arial, Arial Black, Arial Rounded MT Bold, Arial Narrow и т. д. В пределах одной гарнитурой шрифты могут отличаться не только насыщенностью и наклоном, но и пропорциями. В зависимости от начертания, шрифт в гарнитуре может быть светлым, жирным, полужирным, прямым, наклонным, узким, широким и т. д. Если гарнитура имеет большое число начертаний, это позволяет легко подбирать нужные шрифты для различных элементов публикации. Чем больше начертаний, тем легче добиться выразительности при составлении текстового документа без изменения гарнитурой (рис. 12.26).

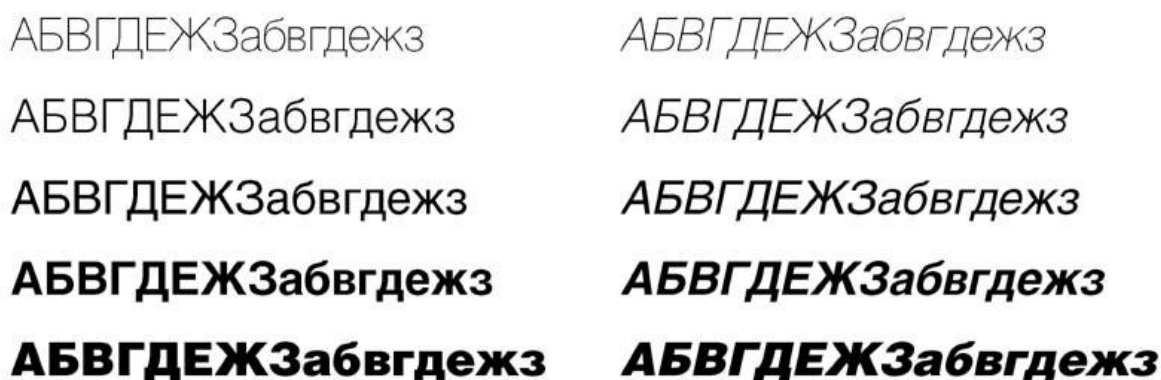


Рис. 12.26. Варианты начертаний гарнитурой **Helios**

### 12.3.3. Некоторые типографские термины

Для описания структуры и размеров шрифта существуют специальные термины.

**Пункты.** В пунктах измеряют высоту шрифта (кегель). Один пункт равен 1/72 дюйма.

**Цицеро** – единица измерения ширины печатных строк. В одном дюйме 6 цицеро, а в одном цицеро – 12 пунктов.

**Интерлиньяж** – расстояние между базовыми линиями соседних строк. Измеряется в пунктах и складывается из кегля шрифта и расстояний между строками. Интерлиньяж 10/12 означает, что при высоте шрифта в 10 пунктов расстояние между базовыми линиями соседних строк – 12 пунктов. Интерлиньяж

яж может быть большим, плотным, сплошным. Сплошным называют интерлиньяж, при котором значения кегля и интерлиньяжа совпадают.

**Апрош** – межбуквенное расстояние. Изначально при наборе с помощью металлических литер межбуквенные расстояния определялись зазором между краем литеры и очком (самой буквой). Точнее говоря, это расстояние складывалось из двух полуапрошей, так как для составления слова литеры располагались вплотную друг к другу. Расстояния между буквами в большой степени определяют восприятие шрифта. Каждый знак, в зависимости от его формы, должен иметь собственные фиксированные значения левого и правого апроша. Прекрасно прорисованные буквы могут не сложиться в хороший шрифт, если апроши выверены неточно. При жирном начертании или при узких буквах апроши должны быть меньше. Кроме того, величина апрошей зависит от кегля: чем крупнее шрифт – тем плотнее кажется текст при одном и том же значении апроша.

**Трекинг** – коррекция межбуквенных пробелов в зависимости от кегля. При трекинге одинаково и одновременно меняется расстояние между всеми буквами. Чем больше кегль, тем более плотным должен быть трекинг, иначе крупный шрифт выглядит разреженным (особенно если рядом на странице есть мелкий шрифт).

**Кернинг** – изменение расстояния между отдельными парами букв для визуального выравнивания апрошей, например, для пары WA. Кернинг применяют в случае, если нужно улучшить внешний вид фрагмента текста, т. е. для достижения оптического равновесия текста на строке.

Для определения ширины межбуквенных и межсловных пробелов используется единица измерения, называемая круглая шпация (em-space). Круглая шпация равна кеглю шрифта, полукруглая шпация (en-space) равна половине круглой, тонкая шпация (thin-space) равна одной четверти круглой.

## 12.4. Классификация типографских шрифтов

Как ни обширно сегодня шрифтовое хозяйство и как ни велики резервы его обогащения за счет электронной техники, шрифты конца XX века в основной массе или копируют, или варьируют старые шрифты, в разработке которых участвовали Альд Мануций, Леонардо да Винчи, Лука Пачиоли, Альбрехт Дюрер, Клод Гарамон и другие знаменитые художники и графики.

В исторической классификации все шрифты делятся по вышеназванным признакам на три типа:

- антиква;
- египетские;
- гротеск.

Антиква в свою очередь подразделяется на три группы, в которых варьируются сила контраста между штрихами и форма засечек. В старой, или гуманистической, антикве контраст мало заметен, а засечки утолщены и слегка закруглены. В переходной антикве контраст умеренный, а конфигурация засечек

приближена к форме треугольника. Для новой, или классической, антиквы характерны сильный контраст и тонкие, удлиненные засечки. Особое место среди шрифтов данного типа занимает так называемая ленточная антиква со слабо выраженными контрастом и засечками.

Египетские шрифты ведут свое происхождение от древнеегипетских письмен, выполненных на папирусе (причем некоторые имеют форму брусочков, например, Мемфис, отсюда современное название шрифтов – брусковые). Со временем часть египетских шрифтов эволюционировала в сторону утончения соединительных штрихов и **засечек**.

Шрифты типа гротеск не имеют ни контрастов, ни засечек, штрихи в них выделяются, как правило, жирностью начертания. Видимо, эта необычность рисунка и чернота линий послужила основанием для их названия (франц. Grottesque – причудливый, комичный). В рекламных отделах русских газет они появились в первой четверти XIX века и долгое время не выходили за пределы этого отдела. Сегодня, с большим основанием названные рубленными, эти шрифты широко применяются в заголовках и текстах.

Все типографские шрифты условно можно разделить на:

- текстовые;
- титульные;
- акцидентные.

**Текстовые шрифты – шрифты**, предназначенные для печатания основного текста книг, журналов и газет; это **шрифты** сравнительно мелких кеглей – от 0 до 12 пунктов.

**Титульные шрифты – шрифты** более крупных кеглей – от 14 до 48 пунктов, применяемые для набора титулов, обложек, рубрик, газетных заголовков и различных акцидентных работ. Многие гарнитурные содержат титульные шрифты (по кеглю), другие же являются только титульными. Шрифты мелких и крупных кеглей одной и той же гарнитурной могут быть использованы: первые – как текстовые, вторые – как титульные.

**Акцидентные шрифты – шрифты** преимущественно декоративные, имитационные, а также шрифты крупных кеглей. К акцидентным шрифтам относятся плакатные и афишные шрифты. Кегль (размер) шрифта определяется по прописной (заглавной) букве.

В государственном стандарте на шрифты все типографские шрифты разделены на 6 основных групп и одну дополнительную. Существует самая непосредственная связь между типографской и исторической классификациями. Из трех разновидностей антиквы образованы три самостоятельные группы типографских шрифтов: новые малоконтрастные соответствуют рисунку старой антиквы, медиевальные – переходной, обыкновенные – классической. Ленточная антиква получила в типографском каталоге название шрифта с едва наметившимися **засечками**. Группа брусковых шрифтов вобрала в себя отличительные признаки египетских. Популярными ныне рубленые шрифты и в старых, и в новых гарнитурах соблюдают гротесковую природу шрифтов этого типа. Кон-



трастные рубленые (например, гарнитура Центральная) вместе с другими «нарушителями» стандарта оказались за пределами классификации.

Гарнитуры – это подгруппы или подклассы шрифтов, одинаковых по рисунку, свойственному той или иной группе, и разных по начертанию и кеглю. В ГОСТе насчитывается около 40 типографских шрифтов, а в практическом обиходе гораздо больше, что позволяет и индивидуализировать и разнообразить шрифтовое оформление периодических изданий. Таким образом, в соответствии с классификацией типографских шрифтов согласно ГОСТу, выделяют следующие группы:

**Группа рублёных шрифтов.** В эту группу входят гарнитуры, не имеющие засечек, например: Журнальная рублёная, Древняя, Плакатная.

**Букварная группа шрифтов.** Группа шрифтов с едва наметившимися засечками. Сюда входят гарнитуры, концы штрихов которых немного утолщены, например, Октябрьская.

**Группа медиевальных шрифтов.** Это наиболее полная группа шрифтов. Засечки шрифтов, входящих в эту группу, плавно сопрягаются с основными штрихами и, как правило, строятся как дуги окружностей. Примеры гарнитур этой группы: Литературная, Банниковская, Лазурского, Таймс.

**Группа обыкновенных шрифтов.** Шрифты этой группы имеют ярко выраженный контраст и длинные тонкие прямые засечки, соединяющиеся с основными штрихами под прямым углом. Примеры: Обыкновенная новая, Елизаветинская, Бодони.

**Группа брусковых шрифтов.** Контраст в этих шрифтах отсутствует или малозаметен, утолщенные прямые засечки соединяются с основными штрихами под прямым углом. Примеры: Брусковая газетная, Балтика.

**Группа новых малоконтрастных шрифтов.** Как правило, шрифты этой группы, которые характеризуют длинные закругленные засечки, мягко сопрягающиеся с основными штрихами, используются при наборе большого количества текста, в книгах и газетах. Примеры: Новая газетная, Школьная, Бажановская, Журнальная, Академическая.

**Группа дополнительных шрифтов.** В эту группу входят все шрифты, которые нельзя отнести ни к одной из остальных групп. Например, рукописные гарнитуры, такие как Жихаревская.

## 12.5. Компьютерные шрифты

О компьютерных шрифтах можно писать много и долго. Их развитие – почти детективная история: есть завязка, сюжет, интрига, положительные и отрицательные герои и так далее. Но наша задача скромнее – попытаться разобраться в основных типах шрифтов, используемых на компьютерах, для чего они были разработаны, каковы их особенности, достоинства и недостатки.

В первых персональных компьютерах применялись алфавитно-цифровые дисплеи для отображения информации на экране и матричные принтеры для печати на бумаге. При всем своем различии в них было одно общее начало: для

отображения или печати конкретного символа использовалось небольшое количество достаточно крупных точек, занимающих область фиксированного размера – знакоместо. На экране точки «рисовались» электронным лучом, а при печати на принтере – с помощью иголок, ударяющих по красящей ленте, которая располагалась в непосредственной близости от бумаги. Знакоместо – это, по сути, фрагмент невидимой сетки, матрица ячеек, состоящая, например, из девяти строк по шесть ячеек в каждой строке. Для каждого символа шрифта надо было указать, какие ячейки матрицы знакоместа надо «закрасить», а какие нет, то есть для каждой ячейки знакоместа отводился один бит в памяти компьютера. Для отображения информации на экране использовался единственный шрифт единственного размера.

В дальнейшем стали создавать небольшой набор различных шрифтов при сохранении общей схемы – каждой точке изображения па экране соответствовал один или несколько бит и памяти компьютера. Если для каждой точки выделялся только один бит, изображение могло быть только черно-белым, если выделялось несколько бит, – изображение могло содержать оттенки серого или быть цветным.

Шрифты, в которых описывается каждая точка, входящая в состав изображения символа, получили наименование битовой карты (bitmap) в соответствии со способом кодирования, хранения и формирования символов таких шрифтов. Иногда их еще называют растровыми.

**Растр** (raster) – это способ формирования изображения, при котором исполнительный элемент – электронный луч в мониторе или печатающая головка матричного принтера – сканирует все рабочее поле строка за строкой и в нужных местах «поджигает» или закрашивает отдельные точки, формирующие изображение. При низком разрешении и ограниченном пространстве экрана с приемлемым качеством отображались только алфавитно-цифровые знаки, но «нарисовать» сколь-нибудь плавную кривую было уже сложно. О качественной печати, близкой к полиграфической, вообще не было и речи. Даже создать множество шрифтов различных гарнитур было весьма и весьма непросто. Темный экран, белые или зеленые буквы, состоящие из отдельных точек. Это было значительно лучше, чем перфокарты или перфоленты, но человеку всегда хочется большего.

Команда разработчиков Macintosh поставила перед собой совершенно невыполнимую для начала 1980-х задачу – создать на компьютере иллюзию обычного рабочего места в офисе: стол, бумага, карандаш. Кроме того, в задумках была еще более грандиозная цель – компьютерная настольная издательская система. Одним из первых практических шагов на пути к реализации этих планов был принятый на вооружение принцип WYSIWYG (What You See Is What You Get), что в переводе означает: «Что видишь, то и получишь». То есть на экране монитора надо было создать достаточно точный образ будущего печатного издания. Для этого нужен был монитор высокого качества. Он должен был обеспечить разрешение 72 точки на дюйм, чтобы размеры объектов или их частей на экране соответствовали размерам на бумаге. Ни один из существовавших

в то время мониторов не имел требуемого разрешения. Тогда фирма Apple обратилась к фирме Sony – лидеру в разработке и производстве высококачественных мониторов – с просьбой разработать монитор с указанными характеристиками. Идея понравилась, и фирма Sony выполнила заказ. Так возникла совершенно новая технология производства электронно-лучевых трубок для высококачественных мониторов и телевизоров – Sony Trinitron. Компьютеры Macintosh первыми стали использовать эту прогрессивную технологию.

Итак, экран стал белым, а буквы темными, как на бумаге. Мониторы с высоким разрешением позволили работать со шрифтами лучшего качества, появилась графика. Но это было еще полдела, и вскоре появился язык PostScript.

История PostScript начинается в исследовательском институте Xerox, где были разработаны многие компьютерные технологии: лазерный принтер, графический интерфейс, ethernet и многое другое.

Одним из ведущих инженеров был Джон Уорнок. Он разработал язык под названием «Interpress», который использовался для управления лазерными принтерами Xerox. Он и его руководитель, Чарльз Гешке, потратили два года, пытаясь уговорить руководство Xerox сделать Interpress коммерческим продуктом. Когда это не удалось, они покинули Xerox и открыли собственный бизнес.

Уорнок и Гешке назвали свою компанию Adobe, по названию небольшой реки, протекавшей возле дома Уорнока в Лос-Альтос в Калифорнии.

Сначала Уорнок и Гешке планировали сами создать мощный принтер, но потом поняли, что лучше разрабатывать средства, которые помогут другим производителям управлять их принтерами.

Именно фирма Adobe сделала следующий важный шаг на пути создания настольной издательской системы. Идея была проста и изящна. Каждый символ шрифта можно представить как совокупность фрагментов некоторых кривых. С математической точки зрения для описания фрагмента кривой достаточно указать небольшое количество параметров. Например, кривая второго порядка –  $y = ax^2 + bx + c$  – описывается всего тремя числами:  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Чтобы однозначно задать некоторый фрагмент этой кривой, надо указать еще два числа: для начала и конца фрагмента. Таким образом, всего пятью числами мы можем описать любой фрагмент кривой. Конечно, при создании реальных шрифтов ситуация несколько сложнее (повороты фрагментов кривых, обеспечение гладких стыков, «заливка» контуров и так далее), но общая идея при этом сохраняется.

Фирма Adobe для построения своих новых шрифтов выбрала кривые Безье (Bezier) третьего порядка, которые обеспечивали хорошую плавность и гибкость линий. Вместе с новым типом шрифтов был разработан и специальный язык программирования для описания и управления выводом текстовой и графической информации – PostScript. Новые шрифты получили название PostScript-шрифтов. Из-за математической природы этих шрифтов их стали называть еще векторными, масштабируемыми, контурными, так как в них давалось описание контуров линий и правила их заполнения, а не описание каждой конкретной точки.

Главными достоинствами PostScript-шрифтов были печать символов практически любого размера без необходимости создавать дополнительные шрифты и использование одного и того же набора шрифтов для вывода на устройства с разным разрешением. Конечно, печать на устройстве с высоким разрешением требовала больше времени на вычисления, но существо самого процесса было одинаково, что на «слабом» устройстве, что на «супермощном». Для печати PostScript-шрифтов требовалось печатающее устройство нового типа – небольшой специализированный компьютер со своим процессором и памятью (а иногда даже и магнитным диском). Этот компьютер должен был содержать специальную программу-интерпретатор языка PostScript, которая бы понимала команды, поступающие от компьютера, и по математическому описанию вычисляла бы все необходимые промежуточные точки для печати плавных кривых на бумаге.

Такое устройство разработала и создала фирма Apple в 1985 году. Это был первый лазерный принтер – LaserWriter. Он позволял печатать с разрешением 300 точек на дюйм. Хотя по современным меркам это не так уж много, на самом деле это был настоящий прорыв, переход в новое качество. Несмотря на очевидные достоинства новой технологии, возникли и первые сложности. Так, из-за низкого разрешения мониторов при отображении PostScript-шрифтов на экране появлялись «зазубрины», «лесенки» и другие дефекты. И это было понятно: чем меньше элементов изображения, тем труднее передавать детали, что-то неизбежно теряется. Поэтому для отображения символов на экране создавались bitmap-аналоги соответствующих PostScript-шрифтов для наиболее часто используемых размеров: 9, 10, 12, 18, 24 пункта (иногда и некоторых других). Качество отображения этих bitmap-шрифтов на экране, конечно, уступало качеству печати PostScript-шрифтов на бумаге, но благодаря возросшему разрешению мониторов уже было вполне приемлемым.

Таким образом, для каждой гарнитуры на компьютере хранился один PostScript-шрифт для печати на любом PostScript-устройстве и набор соответствующих bitmap-шрифтов для отображения на экране. Если требовался экранный шрифт нестандартного размера, то система отображения информации – QuickDraw – строила недостающий шрифт на основе аналогичного шрифта другого размера. Это требовало дополнительного времени, да и качество шрифта было невысоким. Но такой подход хотя бы частично решал проблему.

С целью решения проблемы отображения PostScript-шрифтов на экране фирма Adobe разработала технологию, которая получила название Display PostScript. Технологией предусматривалась полная переделка всей графической подсистемы Mac OS. Фирма Apple не захотела попадать в такую сильную зависимость от чужих технологий и не поддержала Display PostScript.

Тогда было предложено другое решение. Оно состояло в применении процедуры специального сглаживания (antialiasing) линий шрифта. Программа Adobe Type Manager (ATM), реализующая такой механизм, использовала существующую графическую подсистему QuickDraw. Благодаря ATM удалось также

значительно улучшить качество печати PostScript-шрифтов на принтерах, не имеющих встроенного интерпретатора PostScript.

Другой проблемой, с которой пришлось столкнуться, было низкое качество печати символов маленького размера на принтерах с невысоким разрешением (300 dpi и ниже). Фирма Adobe нашла способ улучшить качество такой печати с помощью так называемых подсказок (hints), встраиваемых в сами шрифты. Подсказка, или разметка, – это дополнительная информация о наиболее важных элементах каждого символа шрифта, позволяющая программе построения кривых максимально уменьшить их искажения и тем самым улучшить общее восприятие каждого символа и всего текста в целом, однако способ задания разметки был достаточно сложным.

Чтобы обезопасить себя от подделок, фирма Adobe зашифровывала каждый свой шрифт. Понять этот шифр мог только интерпретатор языка PostScript самой фирмы Adobe. Поэтому другие фирмы не имели возможности создавать полноценные PostScript-шрифты, в частности встраивать подсказки для улучшения качества печати, а все производители лазерных принтеров, использующие PostScript (включая Apple), должны были платить фирме Adobe лицензионную плату за каждый встроенный в лазерные принтеры интерпретатор языка PostScript. Шрифты фирмы Adobe стали называть шрифтами Type 1, а все остальные – Type 3.

В конце концов, назрел кризис. Платить Adobe за ее секреты больше никому не хотелось, и фирма Apple договорилась с фирмой Microsoft о совместной разработке новой технологии шрифтов. Такие шрифты теперь могли создавать все желающие, и притом совершенно бесплатно. Кроме того, больше не требовались отдельные шрифты для вывода на экран и для печати, шрифт был един. Ожидалось, что и скорость обработки новых шрифтов будет заметно выше, чем это было до сих пор. Apple должна была разработать общую концепцию и систему работы со шрифтами, а Microsoft взяла на себя разработку собственной версии интерпретатора PostScript – TrueImage с поддержкой шрифтов нового типа. Собственно, работы в новом направлении Apple развернула еще в конце 1987 года, до заключения «стратегического соглашения» с Microsoft. В августе 1989 года группа инженеров Apple, которую возглавлял Сампо Каасила (Sampo Kaasila), полностью выполнила свою часть работы в соответствии с договоренностями. Но интерпретатор TrueImage от Microsoft содержал такое количество ошибок, работал так плохо, что от него пришлось отказаться. Разработка группы Сампо Каасилы, наоборот, получилась на редкость удачной, и новая система Mac (System 7) среди многих других усовершенствований и дополнений в мае 1991 года провозгласила рождение нового стандарта шрифтов – TrueType.

Microsoft попыталась применить TrueType в своей операционной системе Windows 3.1 в начале 1992 года. Переписанная и «подправленная» инженерами Microsoft поддержка TrueType работала плохо: сложные глифы (кривые) рассыпались, некоторые шрифты невозможно было отобразить на экране или, наоборот, на экране они отображались, а на принтере отказывались печататься.

Чтобы как-то с этим бороться, TrueType-шрифты снабжались таким количеством корректирующих подсказок, что уже было трудно понять, где шрифт, а где «небольшие дополнения к нему». Только в 1995 году, с выходом в свет операционной системы Windows 95, удалось добиться относительно приемлемой работы TrueType на платформе Windows. С этого момента Microsoft сделала формат шрифтов TrueType основным для семейства операционных систем Windows.

На платформе Macintosh судьба TrueType также не была безоблачной. Как шрифтовая основа для домашних и офисных программ технология TrueType получила хорошую поддержку, но как полноценная альтернатива PostScript в полиграфии была встречена весьма прохладно. Причин было несколько. К моменту появления формата TrueType рынок настольных издательских систем уже вполне сформировался, и PostScript занимал на нем лидирующее положение. Было выпущено большое количество принтеров и фотонаборных автоматов, работающих в формате PostScript, и создано немало PostScript-шрифтов. В целом технология была неплохо отработана и отлажена. При переходе на TrueType затраты были очевидны, а выгоды сомнительны. Кроме того, TrueType создавал и чисто технические трудности.

Во-первых, для повышения эффективности и скорости вывода в формате TrueType использовались кривые Безье второго порядка. Это означало, что в большинстве случаев для построения одной и той же кривой в формате TrueType требовалось больше фрагментов, чем в формате PostScript. Во-вторых, при приближении кривыми второго порядка хуже получались стыки между отдельными фрагментами, что приводило к потере качества. В-третьих, вывод TrueType-шрифтов на PostScript-устройстве сам по себе являлся сложной процедурой. Для работы с TrueType-шрифтами нужна была своя программа построения кривых по их описаниям – TrueType sealer. Поэтому в принтеры фирмы Apple была добавлена поддержка TrueType-шрифтов. Однако если использовался принтер не фирмы Apple, то драйвер этого принтера должен был решать следующую задачу: если в принтере использовался процессор фирмы Motorola, то есть такой же, как и в компьютерах Macintosh, – драйвер загружал в принтер TrueType sealer. Если же в принтере использовался иной процессор, драйвер вынужден был преобразовывать TrueType – шрифты в формат PostScript без всяких подсказок и затем пересылать в принтер задание в формате PostScript. Это создавало неудобства, увеличивало время вывода, нередко приводило к ошибкам и сбоям, особенно при выводе сложных документов, каких в современной полиграфии немало.

Не следует забывать, что TrueType – это только формат шрифтов, в то время как PostScript еще и язык программирования, и язык общения компьютера с устройством вывода. Поэтому до сих пор при работе над высококачественными изданиями предпочитают иметь дело с «истинными» шрифтами Type 1, как наиболее надежными.

Опасаясь потерять рынок, фирма Adobe была вынуждена открыть полные спецификации PostScript и дать возможность другим фирмам исправить свои

версии PostScript-шрифтов для соответствия спецификации Type 1. Это укрепило позиции формата PostScript в полиграфии, но создало двоевластие: PostScript как основной форма в полиграфии и TrueType как основной формат в весьма обширной среде Windows.

Логическое продолжение всей этой истории – создание нового формата шрифтов, который объединил бы оба эти направления «в одном флаконе». Такой формат был разработан в результате совместной работы фирм Adobe и Microsoft и был назван OpenType.

Adobe переконвертировали полностью Adobe Type Library в этот формат и теперь предлагает сотни шрифтов OpenType. Формат OpenType имеет два основных преимущества – совместимость с обеими платформами и способность поддерживать значительно расширенный набор символов, что обогащает лингвистическое обеспечение и облегчает управление файлом.

Шрифты OpenType – модификация формата TrueType, содержащие данные Postscript, имеют расширение .otf, в то время как основанные на TrueType шрифты формата OpenType имеют расширение .ttf.

Точечный рисунок, векторная структура и метрические данные объединены в один файл шрифта OpenType с перекрестной платформой, что упрощает манипуляции со шрифтом. Базирующиеся на Unicode (см. дальше) международном многобайтовом символьном кодировании, охватывающем фактически все языки в мире, шрифты OpenType могут служить для многоязычной печати посредством включения добавочных наборов символов нужного алфавита в один шрифт. Такие шрифты отмечены приставкой «Pro», которая является частью имени шрифта и появляется в прикладных меню шрифта. Все шрифты Adobe OpenType включают стандартный диапазон символов латиницы, используемых на Западе, и несколько интернациональных символов. В OpenType Pro есть полный диапазон символов с диакритическими знаками для поддержки центрально- и восточно-европейских языков, например, турецкого и польского. Многие из этих шрифтов также содержат расширенные наборы кириллических и греческих символов в одном файле шрифта. OpenType позволяет программам проектирования шрифтов обеспечивать файл более совершенной языковой поддержкой, чем любой предыдущий формат шрифтов.

В прошлом типичный западный шрифт Postscript был ограничен 256 глифами (элементами шрифта), вынуждая пользователя устанавливать и управлять двумя или более связанными стилями шрифта. OpenType значительно упрощает управление шрифтом и публикацию, гарантируя, что все требуемые глифы для документа будут содержаться в одном файле шрифта. Шрифты OpenType могут содержать больше чем 65000 глифов, поэтому в одном файле шрифта может содержаться много нестандартных глифов, например, чисел и букв старого стиля, капитель, дроби, контекстные и стилистические замены.

## 12.6. Психология восприятия шрифтов

Почему фразу «я тебя люблю» люди могут воспринять как проявление неприязни? Почему даже блестящее резюме отправляют в корзину непрочитанным? На эти и многие другие вопросы, касающиеся шрифтов, вы найдёте ответы в нашем посте.

Как информация доносится до адресата? Конечно, при помощи слов и произнесённой речи. А что если информация представлена в письменной форме? Тогда в игру вступает печатное слово. Однако в этом случае не только набор букв будет передавать те или иные сведения, но также и то, как они изображены. Любой шрифт, помимо того что украшает текст, несёт смысловую нагрузку, хотим мы этого или нет. Поэтому крайне важно очень тщательно подбирать шрифт.

Идеально, когда сообщение и печатный текст (шрифт) дополняют друг друга. Но, к сожалению, это случается не всегда. Более того, нередки случаи, когда они оказываются противоположными.

Например, фраза «I love you», написанная грубым и резким шрифтом, не вызовет столько умиления, сколько надпись, набранная другим, более плавным.

Остановимся на самых важных параметрах шрифтов. Это размер, гендерная принадлежность, эмоции и соответствие теме послания.

**Размер имеет значение.** Размер шрифта – это такой параметр, который имеет большое значение. Для того чтобы добиться доверительного отношения читателя, рекомендуется использовать мелкий шрифт. Он же наделяет текст и такой характеристикой, как важность и значимость.

- Самыми популярными размерами были признаны шрифты в 10, 12 и 14 пунктов.

- Такие шрифты, как Arial, Comic Sans и Verdana, лучше всего прочитываются в размерах 10, 12 и 14 пт.

- Быстрее всего читается текст, написанный шрифтами Arial и Times New Roman.

- Больше всего доверия вызывают тексты, набранные в Tahoma 10 пт, Courier 12 пт и Arial 14 пт.

**Гендерная принадлежность шрифта.** Какие шрифты предпочитают женщины, а какие – мужчины? Почему при беглом взгляде на текст с завитушками сразу становится понятно, что он адресован представительницам прекрасного пола?

- Для мужчин большей привлекательностью обладают строгие прямые шрифты.

- Женщинам больше по душе «пышные» шрифты с округлыми линиями и завитушками.

- Гендерной принадлежности лишены такие шрифты, как Times, Times New Roman и Palatino, поскольку им присуща мужская авторитарность и женский гуманистический стиль.



### **Весёлые, строгие и грустные шрифты.**

▪ Воплощением жёсткости и непреклонности являются угловатые и прямолинейные шрифты. Они обезличены и являются «холодными».

▪ Самыми «приятными» шрифтами, вызывающими расположение читателей, являются гарнитуры с круглыми буквами «О» и небольшими «хвостиками». Адвокаты и представители традиционного бизнеса чаще всего используют шрифты с засечками: Times, Times New Roman и Palatino.

▪ Отсутствие эмоций характерно для шрифтов без засечек (Arial, Modern и Univers). Они применимы там, где не нужны здравомыслие и практичность.

▪ Прямолинейные и угловатые шрифты (*to be or not to be*) ассоциируются с непреклонностью, жесткостью; они характеризуются холодностью, безликостью и механистичностью. В терминах психоанализа их определяют такие выражения, как «эмоционально зажатый» или «крепкий задним умом».

▪ Шрифты типа Courier являются устаревшими и связываются с написанием простых писем и «компьютерными распечатками» – они весьма безлики и в некоторых случаях рассматриваются как подставленные «по умолчанию». Иногда эти шрифты используют старшие администраторы и секретари, испытывающие скрытую ностальгию по ушедшей эре пишущих машинок и копирки, или журналисты старой школы, ассоциирующиеся с сигаретами и лампами «гусиная шейка», горящими далеко за полночь. Эти шрифты вызывают образы старых машинописных писем, которые обычно приходили из госучреждений в 70-х годах.

▪ Антиквенные шрифты (с засечками) типа Times, Times New Roman и Palatino – это компромисс между старым и новым. Четкие и достаточно простые, они обладают хорошо выраженной формой и округлостью, намекающей на неоклассическую традицию и преемственность. Они вызывают чувство доверия, поэтому являются фаворитами у адвокатов и уважаемых представителей традиционного бизнеса.

▪ *Шрифты Sans Serif* (без засечек), такие как Arial, Modern и Univers, обладают малым эмоциональным зарядом и ассоциируются с практичностью и здравомыслием. Они несут в себе современное общее начало и являются надежным выбором для тех, кто жаждет гармонии и не озабочен самовыражением посредством шрифтового оформления. Arial наиболее часто выбирается для личной переписки.

▪ *Шрифты рукописного стиля (to be or not to be)* – это попытка передать дружелюбие и близкие отношения. В свое время эти шрифты использовались банками, желающими избежать ощущения «казенности» путем имитации в письмах «персональной подписи». Используя рукописные стили, крупные корпорации ставят задачу казаться более дружелюбными, «близкими к народу», скрывая холодное безличие и реакционность. Им следует пользоваться такими шрифтами с осто-

рожностью, чтобы у читателя не возник вопрос: «Откуда такие приязнь и фамильярность?».

**Совместимость шрифтов и тем писем.** В зависимости от цели послания, рекомендуется использовать определённые шрифты. В этом случае ваше напечатанное слово и его вид будут дополнять друг друга, а адресат сможет лучше уяснить смысл информации, которую до него пытаются донести. В каких случаях какие именно шрифты использовать? Смотрите ниже.

▪ **Автобиографии и заявления о приеме на работу.** Здесь все зависит от характера профессии и предполагаемого числа претендентов. Неправильно выбранный шрифт может подорвать доверие к претенденту, поэтому простота восприятия и читабельность имеют первостепенное значение. Шрифты Times, Times New Roman, Palatino пригодны для претендентов на более консервативные или традиционные должности, а Helvetica, Verdana, Arial, Modern, Univers – при обращении в молодые фирмы, если автору желательно создать ощущение современности.

Courier следует избегать – это выглядит как появление на интервью в старых изношенных ботинках. Такой претендент может быть воспринят как «деревенщина» или «не от мира сего». Есть специфические обстоятельства, когда конкуренция настолько жестка, что выгоднее нарушить традиции и выделиться намеренно, однако следует непременно позаботиться о том, чтобы выбранный шрифт не выставил претендента в ложном свете – как безвкусного человека, старающегося привлечь к себе внимание.

▪ **Любовное письмо.** Более «очеловеченные» шрифты с круглыми «О» и «хвостиками» кажутся дружественными и нежными. Шрифт Mayday – «красиво округленный, мягкий и привлекательный» – характеризуется как очень «влекущий». Курсивные шрифты, вызывающие ассоциации со старым каллиграфическим стилем, по-видимому, обладают качеством эмоционального смягчения – автор как бы наклоняется, чтобы поговорить с читателем лично. Шрифт ITC Humana Serif Light обладает многими из упомянутых качеств. Использование таких шрифтов может служить подспорьем в романтических отношениях.

*Милая моя Машенька!*

*Не знаю, какими словами выразить те чувства и эмоции, что теснятся в моей груди. Как найти слова, чтобы описать...*

Однако, набрав письмо шрифтом Courier New, вы можете не добиться желаемого...

Милая моя Машенька!

Не знаю, какими словами выразить те чувства и эмоции, что теснятся в моей груди. Как найти слова, чтобы описать...

▪ **Письмо о прекращении взаимоотношений.** Здесь уместен шрифт Times – для выражения недвусмысленности без излишней резкости. Подойдет и мягкий курсив, но у адресата может непреднамеренно возникнуть ложная надежда. При неоправданном использовании курсива или рукописных шрифтов читатель может почувствовать покровительственный тон или намерение им манипули-

ровать. Шрифты Verdana или Hoefler Text вызывают легкое ощущение оптимизма без утраты чувства уважения. Для письма тем, кто не хочет поверить в отказ, подойдут Courier или более жесткие «технические» шрифты, не оставляющие места для неверного истолкования или отступления – «бизнес есть бизнес».

**Если вы прощаетесь с кем-то, и это к лучшему, не забудьте выбрать строгий, «технический» шрифт. Попробуйте Impact – ваше решение не будет истолковано двояко и оно окончательное. Но, если вы хотите сделать это мягко, то можно предпочесть курсивные шрифты типа Coropet, хотя есть опасность, что получатель может усмотреть в этом ложную надежду на продолжение отношений.**

▪ **Требование.** Например, при требовании возврата долга. Это прозрачный намек на потаенную мощь – тем, у кого есть большая дубина, нет нужды о ней кричать. Здесь уместен шрифт малого или среднего размера. Даже мелкий Courier справится с задачей, поскольку указывает на четко выраженное намерение и возможности автора пренебречь вопросами элегантности шрифта и подразумевает также, что «настоящее сообщение не требует ответа ...прислушайтесь, иначе ...да, кстати, – ваши соображения или отношение к данному письму не имеют никакого значения и т. п.».

Уважаемый Юрий Иванович,

Напоминаем Вам, что Вы просрочили платеж по кредиту. В случае, если Вы не найдете возможность в течение месяца погасить задолженность, мы будем вынуждены...

▪ **Благодарственное письмо.** Здесь используются прямые, ровные и живые шрифты – например, Geneva. Простой мелкий шрифт затрудняет восприятие, поскольку читатель должен сконцентрироваться для его осмысления, подсознательно предполагая, что вы так высоко цените свою благодарность, что выдаете ее малыми порциями.

▪ **Письмо об уходе в отставку.** Если работа вам нравилась, подойдет профессиональный и при этом привлекательный шрифт, такой как New York или Verdana. Если же работа была сущим адом, то для спокойного ухода подойдет стандартный Times New Roman или Arial, а для выражения нечеловеческой холодности выбирайте Courier New.

## Полезные советы

**1. Выберите подходящий шрифт.** Шрифт в первую очередь должен быть удобным, а только затем – красивым. Не стоит делать выбор в пользу выразительности в ущерб полезности. Чем проще шрифт вы выбрали, тем лучше. Никто не говорит окончательно отказываться от веселых шрифтов. Иногда именно такие шрифты подойдут наилучшим образом. Но в большинстве случаев вам лучше все же придерживаться проверенных шрифтов. Они универ-

сальны, и отлично будут смотреться в разных размерах, в сочетании с разными стилями и не отвлекать читателя.

Прежде чем использовать тот или иной шрифт в бизнесе, следует детально изучить выбранную нишу, рынок, запросы, факторы, побуждающие покупателей прочитывать надписи. Если вы занимаетесь продажей услуги или товаров, ваш текст должен легко читаться и внушать доверие, поэтому и шрифты выбирайте соответствующие. Кроме того, уделите внимание таким параметрам, как междустрочный интервал и пробел между буквами и словами. Рекомендованная ширина строки – 600 пикселей. Слишком короткие и слишком длинные строки вызывают раздражение у читателей.

**2. Создаем настроение.** Шрифт вызывает определенные эмоции. Конечно, он не способен заставить вас расплакаться или рассмеяться до боли в животе. Говорить об этом было бы смешно. Речь идет об определенном настроении вашего проекта. Ваш дизайн сделан в шуточном стиле, имеет ретро-мотивы, хочет донести эффект свежести и модерна – выберите шрифт, который поможет создать это чувство. Например, вы работаете над логотипом для финансовой компании и вам нужно выбрать шрифт, который создаст ощущение безопасности и защиты. Тогда могу сказать сразу, что это не то время, когда нужно выбирать что-то в стиле «Ново». Формальные традиционные шрифты, такие как «Garamond», подойдут намного лучше.

**3. Будьте осторожны при использовании необычных гарнитур.** Display либо другие декоративные шрифты нужно использовать очень осторожно. Возьмем, например, шрифт «Taco Modern». В этом примере вы сможете увидеть его в логотипе и в заголовках. Теперь давайте представим, что для всего меню мы применяем «Taco Modern». Если вы, конечно, не беспокоитесь о читабельности текста, можете использовать подобные шрифты. Но все же нужно помнить, что подобные гарнитур не являются лучшим выбором для больших блоков текста. Желательно было бы их использовать для заголовков и коротких строк текста.

**4. Комбинирование гарнитур.** Сочетать два или несколько шрифтов может быть очень сложно. Общие правила могут включать сочетание гротескных и нейтральных шрифтов. Такие комбинации достаточно безопасны и они отлично работают. Установите в качестве заголовка «Helvetica», а основной текст – «Times New Roman». Такая комбинация неплохо сработает.

Если вы знаете, что это скучно для вас, можете попробовать сочетание старых гарнитур совместно с современными шрифтами. Также нужно обращать внимание на различия выбранных шрифтов – шрифты должны отличаться друг от друга. Если выбранные шрифты будут слишком похожи между собой, это будет выглядеть неуместно. Соответственно такое дизайнерское решение больше будет напоминать ошибку, чем осознанный выбор.

Вот еще несколько вариантов. Используйте шрифты с существенно разными размерами. Комбинируйте выделительные шрифты со шрифтами без засечек, разные размеры и стили (например, «Arial Narrow» с «Arial Black»). Возможности не имеют границ! Предел – только ваша фантазия.

**5. Ограничиваем количество гарнитур, которые вы используете в проекте.** Больше – не всегда лучше. Особенно, если дело доходит до шрифтов. Как правило, в своих макетах я использую один или два шрифта, намного реже три. Использование большого количества шрифтов в вашем дизайне не всегда может сыграть на пользу. Конечно, если ваш проект требует хаотичного вида, комбинация различных гарнитур может стать идеальным решением.

**6. Выбор шрифта с нужным характером.** Некоторые шрифты могут иметь символы только верхнего или наоборот только нижнего регистра. Другие шрифты не включают в себе цифры, курсив или варианты weights. Если вы, например, подбираете шрифт для рекламной статьи, он должен включать все эти вещи. Есть случаи также, когда эти возможности не нужны, например, для шрифта на заголовке.

**7. Шрифт должен быть читабельным!** В определенных ситуациях некоторые шрифты читать намного легче по сравнению с другими. Например, если вы для рекламного билборда или в любом другом проекте наружной рекламы установите шрифт семейства Script, читать его будет практически нереально. Особенно если вы сидите за рулем. В этом случае, правильнее было бы выбрать жирный чистый шрифт. Также читабельность очень важна при создании дизайна книг. К счастью, в наше время существует множество шрифтов, разработанных специально для книг. Самыми популярными являются «Garamond», «Minion», «Caslon», «Janson» и «Bembo». Другие шрифты, такие как «Times New Roman» были разработаны для газетного текста. Конечно, это не означает, что эти шрифты вы не можете использовать в других проектах.

**8. Безопасные гарнитуры для веб-проектов.** Вы работаете над веб-проектом? Нужно быть уверенным, что все используемые вами шрифты доступны и для других пользователей. Если вы не используете веб-шрифты, браузер пользователя может отображать как-то другой шрифт. Если вы не используете веб-шрифты, нужно полагаться на системные шрифты (шрифты, доступные по умолчанию на компьютере). Общие системные шрифты включают в себя: Arial, Courier, Garamond, Georgia и другие.

**9. Будьте осторожны при размещении текста на темном фоне.** Так как большинство шрифтов были рассчитаны на размещение в темном цвете на светлом фоне, нужно быть очень осторожными при использовании их на темных бэкграундах. Тонкие символы или символы с тонкими засечками могут теряться на темном фоне. Если также вы создаете дизайн для полиграфии, вполне вероятно, что темная часть будет негативно влиять на светлый текст и значительно уменьшить его читабельность. В таком случае нужно выбирать более смелые и броские шрифты.

**10. Выбросим все правила!** Давайте выбросим все правила и будем следовать своей интуиции. Почему? В каждом правиле есть свои исключения. Эти исключения позволяют сделать дизайн намного ярче и интереснее. Создание хорошей удачной типографики требует бесконечных проб и ошибок. В конце

концов, этот процесс станет легким и естественным, который сможет принести вам массу удовольствия.

## 12.7. Основы типографики

Термином «типографика» обозначается искусство правильно и красиво набрать текст, а затем грамотно расположить его в плоскости: в печатном издании, например в журнале, листовке, а также на сайте. В общем, типографика – это большая область знаний, посвященная **набору** и **верстке** текста. Версткой в полиграфическом деле называют процесс составления книжных, журнальных и газетных полос из набранного текста и иллюстраций.

### 12.7.1. Знаки и символы

Начнем с самого простого и, пожалуй, самого заметного явления: с типографских символов. Так уж вышло, что на клавиатуре не хватило места для многих символов, которые крайне необходимы в работе каждому дизайнеру. Многие новички даже не знают, что эти знаки в принципе существуют «в компьютере», поэтому очень часто, особенно в Интернете, тире заменяют дефисом, знак © изображают как (C) и т. д.

#### Тире

Есть три тиреподобных, если можно так выразиться, знака. Это дефис, короткое тире и длинное тире. Каждый из этих знаков имеет свою четко определенную область применения, и смешивать их ни в коем случае нельзя – это ошибка в оформлении текста.

**Дефис выглядит так:** - .

Употребляется он исключительно для соединения двух (в редких случаях более) частей слова. Например: плащ-палатка, какой-то и т.д. Ни перед дефисом, ни после него пробелы не ставятся ни в коем случае!

**Короткое тире, или минус:** –.

Короткое тире обычно делается шириной с букву **N**, отсюда и его название en dash. Этот знак **никогда** не используется в художественном тексте – исключительно в математических формулах как знак минуса. Тем не менее, MS Word настойчиво пытается заменить им дефис, если последний окружен пробелами. MS Word, видимо, знает, что дефис пробелами не окружают, вот только выводы делает немного не те.

В MS Word короткое тире можно ввести с клавиатуры комбинацией клавиш **Ctrl** + **знак минуса** с правого блока цифр на клавиатуре.

**Длинное тире выглядит вот так:** —.

Ширина длинного тире обычно совпадает с шириной буквы **M**, отсюда происходит название em dash. Именно длинное тире, и только оно, употребляется как обычное «тире» – знак препинания. Во всей художественной литерату-

ре вы можете встретить именно его. Какой тип тире использовать в технической литературе решает сам автор произведения. Лично я предпочитаю использовать короткое тире, но это дело вкуса.

Длинное тире набирается комбинацией клавиш **ALTGr + правый Ctrl + знак минуса** с правого блока цифр на клавиатуре.

Так как длинное тире употребляется довольно часто, то использовать три клавиши для его введения не очень удобно. Гораздо удобнее ввести режим автозамены текста. Для этого надо сделать следующее:

- выполнить команду **Вставка>Символ (в правой части панели) >Другие символы>Автозамена;**

- в поле **заменить** ввести, например, два дефиса (--), а в поле **на:** ввести знак длинного тире – (**ALTGr + правый Ctrl + знак минуса**);

- после этого следует нажать на кнопку **заменить**.

Теперь при вводе двух дефисов у вас автоматически будет появляться длинное тире.

И, наконец, еще один вариант упрощения процедуры ввода длинного тире: назначение новой комбинации клавиш – вместо комбинации, **ALTGr+ правый Ctrl + знак минуса**, установленной по умолчанию ввести другую комбинацию, например, **правый Ctrl + Num5** в разделе **Настройка клавиатуры**.

## Кавычки

Один остроумный писатель заметил, что есть пятьдесят способов сказать слово «да» и пятьсот способов сказать слово «нет», а для того чтобы написать эти слова, есть только один способ.

Записанные слова, действительно, не всегда могут выразить всё то, что содержится в живой речи. Но ведь в написанном тексте есть свои дополнительные «средства поддержки» – знаки препинания. Иногда знаки препинания могут нести информацию не меньшую, чем слово.

Французский писатель Виктор Гюго, закончив роман «Отверженные», послал рукопись книги издателю. К рукописи он приложил письмо, в котором не было ни одного слова, а был только знак: «?» Издатель тоже ответил письмом без слов: «!»

При помощи знаков можно выразить не только тот или иной смысл, но и отношение пишущего к тому, о чём идёт речь. Если вы напишете о ком-то, что он «умница», выделяя это слово кавычками, то сразу становится ясно, что вы употребили это слово в переносном или ироническом значении. Таким образом, кавычки – парный выделительный знак препинания. Ими отмечают левую и правую границы слова или отрезка текста; кавычки могут быть открывающими и закрывающими, при этом открывающие и закрывающие кавычки, как правило, различаются по рисунку.

Слово «кавычки» в значении нотного знака встречается уже в XVI веке, но в значении знака препинания оно стало употребляться только в конце XVIII века, как предполагается, по инициативе Н. М. Карамзина. Происхождение са-

мого слова не до конца понятно. Сопоставление с украинским названием **лапки** даёт возможность предположить, что оно образовано от глагола кавыкать – „ковылять“, „прихрамывать“. В русских диалектах кавыш – „утёнок“, „гусёнок“; кавка – „лягушка“. Таким образом, кавычки – „следы от утиных или лягушачьих лапок“, „крючки“, „закорючки“.

Основные виды кавычек:

- Французские кавычки – «ёлочки»;
- Немецкие кавычки – „лапки“;
- Английские двойные кавычки – “английские двойные”;
- Английские одиночные кавычки – ‘марровские’.

В русском языке традиционно применяются французские «ёлочки», а для «кавычек „внутри“ кавычек» и при письме от руки – немецкие „лапки“.

На клавиатуре на самом-то деле нет кавычек. То, чем вы пользуетесь в повседневной работе, – это знак дюйма. В русской раскладке он находится на той же клавише, где и цифра 2. Многие программы, работающие с текстом, например MSWord, самостоятельно конвертируют набранные вами знаки дюйма ("вот такие") в «человеческие» кавычки («вот такие»), но так делают не все программы.

В личной электронной переписке некоторыми правилами можно пренебречь. Допустимо также сэкономить немного собственных усилий и времени при общении на форуме или при написании заметки или комментария в блог.

## Пробелы

В русскоязычном наборе пробел обязательно ставится:

- после, а не до запятой, точки, точки с запятой, двоеточия, вопросительного или восклицательного знака (и их сочетаний), многоточия в конце фразы или предложения, закрывающей скобки и закрывающей кавычки;
- до, а не после, открывающей скобки, открывающей кавычки и многоточия в начале предложения;
- и до, и после длинного тире (в английском языке, наоборот, длинное тире не окружается пробелами).

Никогда не ставится пробел между скобкой или кавычкой и каким-либо другим знаком препинания, кроме длинного тире.

Значительно интереснее вопрос о расстановке не обычных, а **неразрываемых** пробелов. Неразрываемый пробел должен использоваться для предотвращения неблагозвучных или затрудняющих чтение межсловных переносов. А именно, он ставится:

- между двумя инициалами и между инициалами и фамилией: И.И.Иванов (здесь и далее неразрываемые пробелы изображаются знаком •);
- между сокращенными обращениями и фамилией: г-нИванов, а также после географических сокращений типа г.Москва или о-вКрым;
- между знаками номера (№) и параграфа (§) и относящимся к ним числам;



- внутри сокращений и•т.•д., и•т.•п., т.•е. и им подобных (хотя английские e.g. и i.e. пробелами не разделяются);
- между внутритекстовыми пунктами, такими как а), б) или 1., 2., и следующим за ними текстом;
- между числами и относящимися к ним единицами измерения: 200•кг; это же относится и к указаниям дат: XVIII•в., 1998•г.;
- перед длинным тире в середине предложения (таким образом, этот знак препинания отделяется пробелами с двух сторон – неразрываемым слева и обычным справа);
- между классами многозначных чисел, начиная с пятизначных: 32•569, но 4927;
- перед номерами версий программных продуктов и частями их названий, состоящими из цифр или сокращений: FreeBSD•4.6, Windows•95, MacOS•X;
- после однобуквенных предлогов и союзов, особенно в начале предложения или в заголовке.

В других языках существуют свои специфические правила. Так, во французском неразрываемыми пробелами отбиваются от предшествующего текста двоеточие, точка с запятой, вопросительный и восклицательный знаки; кавычки «елочкой» также отделяются от заключенного в них текста. В английском и немецком можно ставить неразрываемый пробел наряду с обычным пробелом в конце предложения, чтобы визуально удвоить отбивку между предложениями, хотя сейчас эта типографская традиция многими считается устаревшей.

В Word и в некоторых html-редакторах неразрывный пробел ставится следующим образом: **Ctrl + Sift + пробел**.

### Правила переносов

- Слова нужно переносить по слогам, поэтому, во-первых, нельзя ни оставлять в конце строки, ни переносить на другую строку часть слова, не составляющую слога, например: нельзя переносить *просмо-тр*, *ст-рах*; во-вторых, нельзя отделять согласную от следующей за ней гласной, например: *люб-овь*, *дуб-овый* (следует переносить *лю-бовь*, *дубо-вый* или *ду-бовый*); в-третьих, буквы **й**, **ь**, **ъ** нельзя отделять от предшествующих букв: *бой-цы*, *подъ-езд*, *большой*.
- Исключением из правила о переносе по слогам является запрещение переносить и оставлять в конце строки одну гласную, хотя и образующую слог; например, нельзя переносить *о-сень*, *мо-я*.
- Вторым исключением из этого правила является перенос слов с приставками: если односложная приставка кончается на согласный, а дальше идёт гласный, кроме **ы** (*безумный*, *разочарованный*, *безаварийный*), то возможен двойной перенос: *без-умный* и *бе-зумный*, *раз-очарованный* и *ра-зочарованный*, *без-аварийный* и *бе-заварийный* (при этом лучшими являются переносы, при которых приставка не разбивается: *без-умный*, *раз-очарованный*, *без-аварийный*).

- Если после приставки следует буква **ы**, то не разрешается переносить часть слова, начинающуюся с **ы**; например, нельзя перенести *раз-ыскивать*, а можно *ра-зыскивать*, или *разыс-кать*, или *разы-скать*.

- Не допускаются переносы, которые искажают смысл слова.

- Нельзя переносить аббревиатуры, которые пишутся большими буквами типа УНР, КПИ, МФО.

- Нельзя разрывать переносом такие сокращения, как и т. д., и т. п. и подобные.

- Нельзя разрывать переносом цифры, которые составляют одно число. При необходимости можно разрывать числа, соединенные знаком тире, но тире остается в предыдущей строке: 1985–1990, X–XI ст.

- Нежелательно отделять инициалы от фамилий.

- Нежелательно отделять сокращенные слова от имен и фамилий: проф. Петренко, г-н. Иванов.

- Нельзя отделять цифру со скобкой или точкой от следующего слова.

- Нежелательно отделять цифры от следующих за ними сокращенных слов и названий единиц измерения.

- Нельзя отделять для переноса знаковые обозначения от следующих или предыдущих цифр: 50%, \$ 10, № 25.

- Нежелательно, чтобы знаки переноса были более чем в двух смежных строках.

- Тире между цифрами нельзя отделять пробелами: 20–30.

- В прямой речи тире справа отделяется пробелом.

- Дефис не должен отделяться пробелами.

- Знаки градусов, процентов, минут, секунд нельзя отделять пробелом от цифры: 6°.

- Сокращения, идущие за знаком градуса, отделяются пробелом: 20° С.

- Два знака номера или параграфа пишутся вместе: №№, §§.

- Между цифрами, которые обозначают разные единицы – сотни и тысячи, тысячи и миллионы делается пробел: 4 655 210. Обозначение дроби нужно набирать без пробела: 3.456.

- Знаки + и - не отбиваются от цифры: +10.

- Дроби записываются без пробела: 4/7.

### 12.7.2. Текстовые выделения

Как уже упоминалось, при наборе часто требуется тот или иной фрагмент текста как-то выделить. Чаще всего используется *курсив* или **полужирное** начертание.

Для текстовых выделений также созданы довольно простые правила:

- кавычки должны быть того же начертания, что и заключенный в них текст;

- окружающие выделенный фрагмент скобки, наоборот, должны соответствовать начертанию основного текста (даже если весь текст в скобках курсивный или полужирный, скобки все равно должны иметь основное начертание).

- знаки препинания, стоящие за выделенным текстом, должны быть того же начертания, что и основной текст.

Если вы выделяете отрезки текста цветом, а не используете различное начертание, то и в этом случае действуют правила, указанные выше.

### 12.7.3. Абзацы

Абзац – это отрезок текста, состоящий из нескольких предложений и объединенный общей мыслью. Абзац всегда набирают с новой строки и стараются заканчивать неполной строкой. Как вы уже заметили, мы часто говорим о русской и английской традициях набора, и абзац в этом смысле не является исключением. Есть абзацы русские, они начинаются с так называемой красной строки – первая строка набирается с небольшим отступом слева. Отступов между двумя абзацами, как правило, не наблюдается. Русскими абзацами набирается литература, выходящая на русском языке.

В английских абзацах красная строка отсутствует. Зато между абзацами можно наблюдать увеличение межстрочного расстояния.

Не комбинируйте русские и английские абзацы, выбирайте что-то одно. Если вы выбрали русские абзацы, то не надо делать между ними отступов, а если решили не использовать красную строку, то отступы нужны, иначе никто не увидит, где кончается один абзац и начинается другой.

### 12.7.4. Заголовки

Заголовки еще называют рубриками и под этим понятием подразумевают целую иерархию заголовков глав, разделов, параграфов и т. д. Рубрики выделяют при помощи шрифтов: используют шрифт, имеющий отличное от основного текста начертание, набирают заголовок прописными буквами, увеличивают размер (кегель шрифта). Можно также использовать цветовое выделение, «красную строку» и выравнивание по правому краю или по центру.

Набирая заголовок, следите за тем, чтобы в нем не было переносов слов: это очень портит впечатление. Если заголовок длинный, ваша задача – гармонично сформировать строки, чтобы при переносе слов не потерять логику и не создать двусмысленности. Не забываем, что в заголовках не ставится точка, однако можно ставить вопросительный и восклицательный знаки.

Заголовки в любом дизайнерском произведении должны быть оформлены в едином стиле. Это правило было придумано неспроста. Человеческий мозг привык искать логику и порядок во всем, поэтому, когда человек точно знает, где заголовок, где цитата, а где просто текст, он чувствует себя комфортнее, чем когда каждый раз ему приходится думать, на что он сейчас смотрит. Если необходимо продумать несколько уровней заголовков, то можно воспользо-

ваться традиционной градацией кегля шрифта: заголовок первого уровня – самый большой, второго – поменьше, третьего – еще меньше. Заголовок даже самого последнего уровня не должен быть похож на основной текст.

### 12.7.5. Расстояния

Поскольку заголовки не существуют сами по себе, а предшествуют основному тексту, нелишне будет подумать о том, как располагать текст и заголовки. Кто-то делает отступ между заголовком и текстовым блоком слева и считает такой способ верным. Однако есть и другое мнение на этот счет: если сделать слишком большой отступ, то логическая связь между заголовком и текстом потеряется, поэтому по возможности следует объединять заголовок и текст.

Если концепция предполагает наличие отступа между заголовком и текстом, то этот отступ не должен быть слишком большим во избежание потери связей.

А теперь несколько слов о межстрочном расстоянии. Начинающие дизайнеры часто делают его либо слишком маленьким, отчего выносные элементы прилипают друг к другу, либо слишком большим, и тогда кажется, что каждая строчка живет собственной жизнью.

В обоих случаях удобочитаемость текста снижается, и зритель начинает раздражаться. При помощи экспериментов на буквах было установлено, что если вы выбрали кегль шрифта 12 пунктов, то приятное глазу межстрочное расстояние – примерно 14 пунктов (от 13,5 до 14,5). Разница в 2...2,5 пункта в размере шрифта и межстрочного расстояния – вполне хороша.

Не воспринимайте эти цифры буквально, ведь случаи бывают разные: некоторые шрифты спроектированы так, что разница в 2 пункта будет слишком мала или, наоборот, велика. Тогда подкорректируйте межстрочное расстояние: строчки не должны слипаться и висеть в воздухе отдельно друг от друга.

### 12.7.6. Выравнивание

То, что мы называем выравниванием, в полиграфическом и типографском деле называется **выключкой** (англ. justification).

Строки могут быть выровнены по левому краю, а правый остается неровным – выключка влево. Выключка вправо – строки выравниваются по правому краю при неровном левом. Если же выравнивание произведено по обоим краям, то мы назовем это явление **полной выключкой**. Текст, выровненный по центральной оси страницы, с неровными правым и левым краями, называется выключенным по центру.

Традиционно в странах, где слова пишутся слева направо, текст выравнивается либо по левому, либо по обоим краям, потому что так удобнее для продолжительного чтения. Выключка вправо затрудняет чтение больших массивов текста, потому что при переводе глаз на новую строчку человеку каждый раз

нужно искать, какую строку он прочел, а какую нет. По правому краю можно выравнивать цитаты, заголовки и другие объекты, состоящие из одной или нескольких строчек.

Полная выключка визуально смотрится очень аккуратно, значительно лучше, чем выключка влево, однако тут есть свои подводные камни. Если для текста отведено слишком мало места по горизонтали, то между словами возможны некрасивые дырки и даже «колодцы», которых стараются избегать в наборе.

В случае работы с длинными словами и узкими колонками, есть смысл выравнивать текст по левому краю.

Выравнивание по центру может использоваться в заголовках, хотя на данный момент считается слегка устарелым приемом, а может быть и средством художественной выразительности: известны образцы типографических композиций, основанные на симметрии правого и левого краев.

Симметрия делает композицию устойчивой, но в то же время немного старомодной. Однако если стилистика проекта это позволяет, то почему бы и нет?

#### **12.7.7. Ширина строки**

Не надо думать, что если вам дали широкий лист бумаги, то и строки текста должны быть во всю ширину. Задача дизайнера заключается в том, чтобы гармонизировать любую данную ему площадь и не зависеть от формата. В веб-дизайне строка текста вообще может быть практически бесконечно широкой: все зависит от того, какой ширины у пользователя монитор, но пускать на самотек шрифтовые блоки не стоит.

Слишком узкая колонка текста заставляет читателя часто перемещать взгляд, и этот процесс немного утомляет: больше времени уходит на перемещение взгляда, чем на чтение. К тому же переход на новую строку автоматически означает некоторую паузу, таким образом, текст из связного становится отрывочным.

Моделировать ситуацию длинной строки можно, если набрать текст, например, в MSWord, потом увеличить масштаб страницы до 200-300% и попытаться прочесть текст, пользуясь при этом появившейся горизонтальной полосой прокрутки, вы ощутите на себе проблему перевода глаз.

При чтении книги нормальной строкой считается та, в которой помещается в среднем от 50 до 70 знаков. Именно такой размер будет комфортен для читателя. Конечно, при создании сайта вам не удастся так четко контролировать количество знаков в строке, как в полиграфии, но, зная приблизительные пропорции, вы сможете задать размеры текстового блока в процентах. Избегайте размазывания горстки текста по слишком большой площади, старайтесь компоновать его грамотно.

### 12.7.8. Разбивка текста

Под разбивкой текста я не имею в виду ничего деструктивного, напротив, разбивая текст не только по смыслу (абзацами), но и визуально, вы гармонизируете пространство. Текст, набранный без абзацев, – это всего лишь полуфабрикат, «замороженный кусок мяса, не пригодный к пище», безжизненная серая масса. Разбивая текст логически на абзацы, вы проводите его «первичную тепловую обработку». В таком виде он, может, и не хорош, но по крайней мере удобоварим. А вот чтобы работа была полностью завершена, надо дополнить текст чем-то подходящим по случаю.

Абзацы как способ разбивки мы уже назвали. Следующий способ – разбивка линейками. Линейки могут использоваться, если отрезки текста логически не соотносятся друг с другом, и каждый из них закончен. Их толщина в большинстве случаев зависит от того, что диктует общий дизайн объекта (сайта, буклета, журнала), толщина шрифта также может повлиять: если вы берете шрифт с тонкими линиями, жирная линия может навредить.

Разбивка рубриками – еще один вариант. При этом вы получаете, помимо основной пользы (заголовков материалов), еще один плюс: монотонный текст одного размер приобретает акценты в виде заголовков иного размера или начертания. Если говорить о врезках и цитатах, то иногда уместно располагать их на цветной плашке или делать отступ от левого края. Это поможет разнообразить общий вид текста.

Конечно же, если вы работаете с цветным изданием или сайтом, то в вашем распоряжении имеется цвет, с которым в отношении текста следует обращаться осторожно: буквы не должны быть не слишком бледными, ни слишком яркими («кислотными») – читатель вам этого не простит. Иногда уместно небольшие абзацы текста выделять другим цветом, естественно, если это будет логично, а не красоты ради.

**Тонкости висячих строк.** Висячие строки в типографской практике – это начальные абзацные строки, расположенные в конце полосы, а также концевые строки, расположенные в начале полосы (на рис. 12.27 показаны стрелками). Их еще ласково называют «сиротками» и «вдовами». «Вдова» – строка, оторвавшаяся от основного абзаца и перескочившая на следующую колонку или страницу. «Сирота» – строка, оставшаяся в предыдущей колонке или на предыдущей странице.

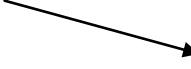
По существующим правилам наличие висячих строк – нарушение, сравнимое со смертным грехом. Это, если хотите, брак в верстке, ибо такие строки нарушают удобочитаемость текста, а также искажают внешний вид полосы набора, лишая ее законченности. Современные правила, впрочем, разрешают размещать в конце или начале полосы абзац из одной строки (например, в прямой речи, когда строка является одновременно и концевой и абзацной).

Конечно, на сайтах с висячими строками не поборешься: и экраны у всех разные и размер шрифта можно по желанию увеличить или уменьшить, но если

создавать идеальное в наборе и верстке печатное издание, то все висячие строки нужно уничтожить, используя приемы **вгонки** и **выгонки** строк.

Когда строку вгоняют, это значит, что куцую строчку пытаются вместить в заданный формат, используя уменьшение межбуквенного расстояния и междусловных пробелов в предыдущих (обратите внимание, что не только во вгоняемой, но и в других) строках.

При выгонке неполную строку, напротив, растягивают до полноформатной, увенчивая междусловные пробелы и межбуквенные расстояния в предшествующих строках.



хочу сказать, что, по моему мнению, Кант является великим философом.

Его понимание свободы человека такое правильное, кажется, что больше и не нужно делать никаких выводов и философствований на эту тему, все точно и понятно... Выводы Канта по поводу понимания человеком добра - это воля, воля человека, и при этом он не упоминает понимание человеком зла, как та же самая воля.

Кант говорит о доброй воли человека, при этом, уточняя, что добрую волю.

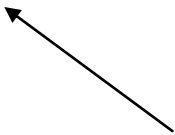


Рис. 12.27. Висячие строки

При обоих этих действиях не допускаются нарушения основных правил: междусловные пробелы всегда должны быть в допускаемых пределах, не должно быть ни трагических дырок между словами, ни «давки» букв, словно в автобусе в час пик.

**Многоколонная верстка.** Чаще всего с многоколонной версткой сталкиваются при создании брошюр с большой шириной: в этом случае верстка в одну колонку смотрится скучно и уныло, более того, такой текст даже не хочется читать. Многоколонная верстка весьма оживляет макет.

Заметим, что колонки обязаны держать линию, то есть строки одной колонки должны быть на одном уровне со строками другой. В случаях, если текст разных колонок нужно набрать разными кеглями, соблюсти этот принцип не получится, но все же общая высота колонок должна быть одинаковой.

## 12.7.9. Иллюстрации

Рассмотрим, как в сверстанный текст традиционно вставляются иллюстрации. Есть много чисто «газетных» правил, но применительно к реальной жизни и повседневной работе дизайнера можно сформулировать несколько пожеланий.

Человек, по Канту, как разумное и духовное существо, выдвигает понятие, идею добра, в соответствии с представлениями, о которых он действует и действует его воля.

Но при этом надо представить добро как таковое, как определенную духовную реальность. Ее, по Канту, и учреждает наш разум, узаконивает ее. Она трансцендентна, поскольку выходит за рамки и природы, и опыта. Воля,



а)

Человек, по Канту, как разумное и духовное существо, выдвигает понятие, идею добра, в соответствии с представлениями, о которых он действует и

воля. Но при представить таковое, как духовную

Ее, по Канту, наш разум,



действует его этом надо добро как определенную реальность.

и учреждает

ее. Она трансцендентна, поскольку выходит за рамки и

б)

Человек, по Канту, как разумное и духовное существо, выдвигает понятие, идею добра, в соответствии с представлениями, о которых он действует и действует его воля. Но при этом надо представить добро как таковое, как определенную духовную реальность. Ее, по



Канту, и учреждает наш разум, узаконивает ее. Она трансцендентна, поскольку выходит за рамки и природы, и опыта. Воля, ориентированная на добро как таковое, становится не только доброй волей, но автономной, самодостаточной и подлинно свободной.

в)



Человек, по Канту, как разумное и духовное существо, выдвигает понятие, идею добра, в соответствии с представлениями, о которых он действует и действует его воля. Но при этом надо представить добро как таковое, как определенную духовную реальность. Ее, по Канту, и учреждает наш разум, узаконивает ее. Она трансцендентна, поскольку выходит за



г)

Рис. 12.28. Неправильно заверстаные иллюстрации

Во-первых, иллюстрации желательно привести к единому виду и формату, чтобы они гармонировали с дизайном страницы и используемым шрифтом. Использование иллюстраций разных размеров и разной ориентации делает работу неряшливой.

Во-вторых, если вы использовали многоколодную верстку, то иллюстрации, заверстываемые во всю ширину колонки, должны быть не шире, чем колонка, а лучше той же ширины.

В-третьих, старайтесь исключить характерные ошибки в заверстывании картинок, приведенные на рис. 12.28.

На рис. 12.28, а иллюстрация врезается в блок текста, нарушая его прямоугольную форму. Удобочитаемость текста нарушается. На рис. 12.28, б иллюстрация визуально разбивает текст на две колонки, глазам очень трудно пере скакивать через нее каждый раз при переходе со строчки на строчку. На рис. 12.28, в в текст заверстаны три картинки абсолютно разных размеров, что смотрится неаккуратно. Ошибку на рис. 12.28, г сначала можно и не заметить. Но если приглядеться, то можно увидеть дырку, образованную последней строчкой абзаца. Иллюстрации, заверстаные подобным образом, требуют жесткой формы окружающего текста.

### 12.7.10. Применение эффектов

**Деформация.** Сразу заметим, что любых деформаций текста следует избегать. Дело в том, что дизайнер, который создал шрифт, долго думал над тем, каким должно быть соотношение между вертикальными и горизонтальными штрихами, над диаметрами окружностей и углами наклона. Деформируя шрифт, вы вольно или невольно губите всю его работу, поскольку от былых пропорций не остается и следа (рис. 12.29).



а)

б)

Рис. 12.29. Нарушение пропорций в шрифте:

- а) Kudriashov, оригинал, все штрихи и окружности скурпулезно просчитаны;
- б) Kudriashov, растяжение на 50%, элементы потеряли былую гармоничность

Но если вы все-таки хотите с помощью деформации добиться какого-то результата, то следует иметь в виду, что максимально дозволенные границы растяжения и сжатия – 2...5%. Все, что больше, вызывает сомнения в том, видит ли дизайнер, что он делает.

Помимо сжатия, к деформациям относятся еще и поворот, наклон, а также перспективные искажения. Всеми этими возможностями программ следует также пользоваться с осторожностью. Например, вы можете повернуть строчку текста, если этого требует дизайн, но не надо поворачивать отдельные буквы, вряд ли это приведет к чему-то хорошему. Наклонять шрифты – тоже сомнительный дизайнерский ход. Не проще ли найти шрифты с курсивным начертанием?



а)

б)

Рис. 12.30. Рукотворный и программный курсивы:

- а) Arial, курсивное начертание;
- б) Arial, прямое начертание, наклон с помощью программы.

Как можно понять из рис. 12.30, если прямое начертание превращать в курсивное с помощью наклона, результат будет отличаться от курсива, созданного человеком. Посмотрите на «о» и «т»: в «человеческом» варианте буквы более гармоничны.

Перспективные искажения одно время были в моде, а сейчас, прежде чем вводить перспективу, следует подумать, насколько это оправданно (рис. 2.10). В очень немногих работах эти искажения смотрятся гармонично, а чаще всего устарело.

The image shows three instances of the word "Perspective". The first is in a standard serif font, tilted upwards. The second is in a similar serif font, tilted downwards. The third is in a highly stylized, cursive script font, also tilted upwards.

Рис. 12.31. Примеры перспективного изображения

Заметим, что если шрифт был изначально плохим, то улучшить его с помощью деформаций невозможно.

**Графические эффекты.** Photoshop и другие графические программы полюбились многим начинающим дизайнерам именно наличием графических эффектов. Несмотря на многообразие эффектов, к шрифтам чаще всего применяют затенение (DropShadow), обводку (Stroke), свечение (OuterGlow) и изредка градиентную заливку (GradientOverlay). Естественно, не все сразу и не везде, а только там, где можно.

**DropShadow** имитирует физический эффект тени. Если вам нужны тени, то надо учитывать, что обычно (когда имеется один источник освещения) тени от объектов не могут быть отброшены в разные стороны.

Тени приносят элемент натуральности в ваши работы, но могут и загрязнить их. Так может получиться, если тень от объекта слишком темная по сравнению с фоном или если и текст, и тень черные, а тень густая.

## Текст

Рис. 12.32. Текст и черная тень смотрятся грязно

Многие дизайнеры, используя DropShadow, не меняют настройки этого эффекта и используют стандартные. Это неправильно, так как каждая создаваемая тень требует индивидуального подхода, начиная от густоты тени и заканчивая ее цветом. Да, конечно, тень бывает черной или серой очень редко. Если вы будете внимательно рассматривать тени в реальном мире, то заметите, что они никогда не получаются просто наложением на фон полупрозрачной серой массы. Поэтому, имитируя тени в Photoshop, нужно подкрашивать их в соответствии с используемым фоном.

DropShadow, к сожалению, не способен создавать тени с перспективным искажением, как на рис. 12.33. Для создания этого эффекта придется использовать другие средства. Можно скопировать слой с объектом, для которого нужна тень, копию слоя окрасить в цвет, несколько темнее цвета фона. Затем при по-

мощи параметра Distort создать искажение, а напоследок применить размытие по Гауссу (GaussianBlur) и доработать объект ластиком (Eraser).

# Шрифт

Рис. 12.33. Шрифт с тенью, уходящей в перспективу

**Stroke.** Stroke – это обводка объекта. Этот эффект находится в стилях слоя (LayerStyle) и может вам хорошо послужить. Главный момент при его применении – умение подобрать цвет линии, а также ее толщину. Тут все довольно просто: не надо использовать красную обводку не смотря на то, что этот цвет в редакторе установлен по умолчанию, ширина линии в 3 пикселя – тоже не строгое правило. Обводка бывает и 6, и 10 пикселей, а вот применение однопиксельной обводки иногда «пачкает» работу, так как слишком тонкая линия визуально «дребезжит» и раздражает глаза (рис. 12.34).



Рис. 12.34. Варианты обводки

На рис. 12.34 показаны варианты обводки шрифта: тонкая, потолще, обводка градиентом и экстражирная обводка. Обратите внимание на тонкую обводку: ее следует по возможности избегать, так как художественной и утилитарной нагрузки она практически не несет.

Неплохо, когда объекты «светятся». Цветом свечения по умолчанию является бледно-желтый, но он в большинстве случаев не подходит. Также надо самостоятельно отрегулировать прозрачность, интенсивность и площадь свечения. При правильном подходе можно обеспечить многим объектам приятное свечение, и все же, как и с другими эффектами, нужно тщательно обдумать, насколько эффект необходим.

Градиентная заливка создает легкий ненавязчивый эффект объема и просто украшает крупные надписи. При должном умении и комбинации градиента с обводкой получается очень красивый эффект (рис. 12.35).

# Gradi- e n t

Рис. 12.35. Комбинация градиента и обводки градиентом

Работая с градиентами, помните, что не все переходы цветов приемлемы. Не надо напоминать, что красно-зеленый градиент будет смотреться неуместно. Есть также множество других запрещенных комбинаций. Если оттенки на стыке двух цветов будут грязными, значит, вы что-то делаете не так. Гармоничнее смотрятся градиенты от светлого к темному. Например, от бледно-зеленого к темно-зеленому, от темно-серого к светло-серому или белому. Еще чаще в работе нужны градиенты от цвета к прозрачности.

Что касается использования текстур в надписях, то все зависит от того, какую текстуру выбирать. В шрифтах вполне уместно применять плоскую текстуру (то есть не имеющую объема) из точек или линеек. Обязательное правило при использовании текстур – большой размер шрифта (рис. 12.36).



Рис. 12.36. В маленьких буквах текстура выглядит проигрышно

В Photoshop заливку текстурой можно осуществлять несколькими способами, через стили слоя (с помощью PatternOverlay), используя фильтр Texture, а также с помощью опции Fill (Заливка). PatternOverlay удобнее тем, что в любой момент текстуру можно изменить, а также поменять ее прозрачность и метод наложения, остальные способы, увы, обладают таким неприятным качеством, как необратимость.

**Скрещивание.** Под скрещиванием подразумевается именно такое видоизменение шрифта, при котором берется несколько шрифтов и из них создается новый. Это дело непростое и трудоемкое, особенно если вы изменяете не несколько букв, необходимых для логотипа, а взялись преобразовывать все знаки гарнитуры.

На рис. 12.37 простой пример небольшого преобразования шрифта. Основной стал AGUniversity, у которого в программе AdobeIllustrator были слегка укорочены засечки. Далее от шрифта 4 mylover берутся эти сердечки и аккуратно присоединяются к буквам основного шрифта.

В принципе, это неплохой способ освежить шрифт, индивидуализировать его, но при скрещивании следует руководствоваться принципами соответствия. Нельзя совмещать славянскую вязь и готику, то есть совершенно разнородные шрифты, принадлежащие разным странам и эпохам. Лучше всего скрещиваются шрифты одной группы, например, из группы с засечками или из группы без засечек. Чем меньше шрифты похожи друг на друга, тем большую работу вам нужно проделать, чтобы никто не заподозрил, что в дизайне на самом деле не один, а два или более шрифта.

**Трансформация.** Когда вы берете шрифт и по своему усмотрению начинаете укорачивать или удлинять выносные элементы, перерисовывать капли и засечки, этот процесс уже можно назвать трансформацией. В отличие от деформации, механического действия без примеси творчества, ухудшающего рисунок шрифта, трансформация может быть полезной и опять же послужить повышению индивидуальности гарнитуры. Мне кажется, что если при создании логотипа вы использовали достаточно популярную гарнитуру, то трансформировать начертание будет очень хорошим тоном. Привнести свое «я», создать нечто новое на основе существующего – миссию почетней трудно отыскать.



Рис. 12.37. Пример скрещивания двух шрифтов

Такие шрифты, как RotisSemiSans и RotisSemiSerif, Bordini и другие, появились именно в результате трансформаций, и теперь дизайнеры с удовольствием их используют, а также создают новые шрифты такого смешанного типа. На рис. 12.38 можно посмотреть на указанные шрифты и понять, чем они похожи, а чем различаются.

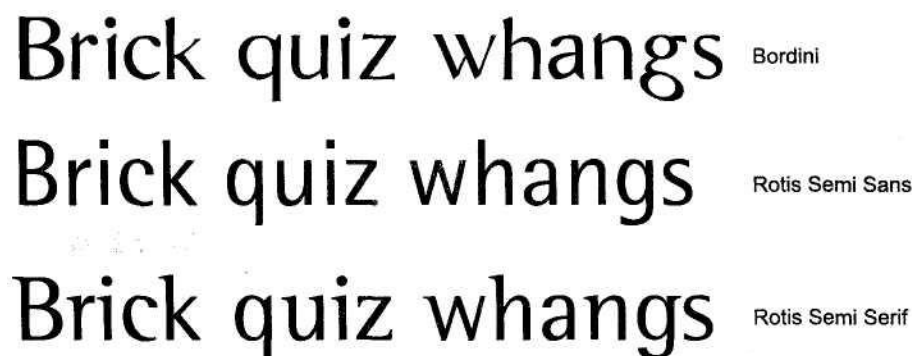


Рис. 12.38. Bordini, Rotis Semi Sans, Rotis Semi Serif

Не надо стесняться в вопросах трансформации. Надо пробовать, искать и экспериментировать со шрифтами. Главное правило – полученный рисунок не должен стать пародией на уже существующий шрифт, исказить его пропорции.

## 12.8. Проблемы совместимости шрифтов

**дНАПН ОНФЮКНБЮРЭ**, или о проблемах понимания русского языка... Строчки, подобные этой, наверняка иногда встречались вам в путешествиях по Интернету или при чтении электронной почты. Как вы наверняка знаете, такое возникает из-за неправильно подобранной кодировки для чтения текста. Наверно вы также пробовали открывать в программах для Windows файлы с текстом, созданные в старых программах для Dos, например, набранные в Norton Editor, и почти всегда возникало затруднение с их чтением: текст отображался примерно так, как на рис. 12.39, и что-либо понять было просто невозможно.

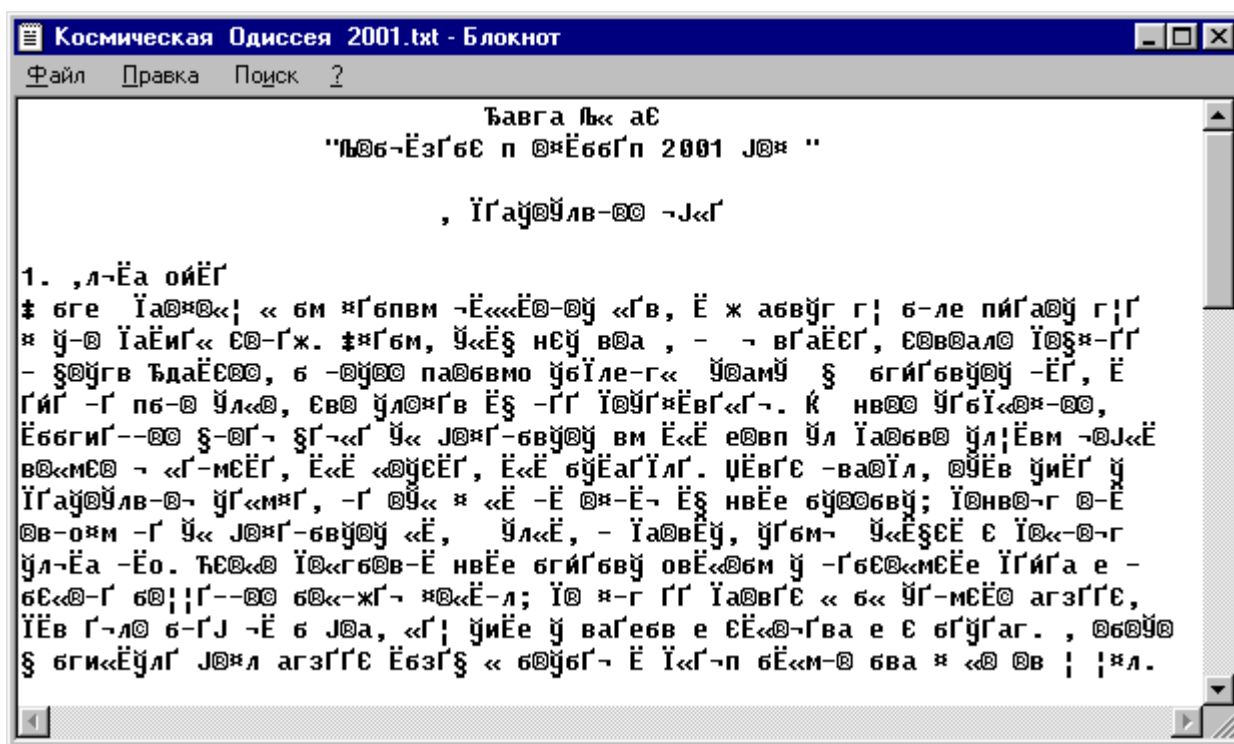


Рис. 12.39. Файл, набранный в Norton Editor и открытый в Блокноте

В чем же тут дело? Что такое «кодировка»? Почему их так много, и все они разные? И, наконец, каким образом можно решить их проблему – не запускать же каждый раз Norton Editor, чтобы прочитать и напечатать свои старые файлы?

Упрощенно говоря, **кодировка** – это таблица сопоставлений символов, которые мы можем видеть на экране, определенным числовым кодам. То есть каждый символ, который мы вводим с клавиатуры либо видим на экране монитора, закодирован определенной последовательностью битов (нулей и единиц).

Внешний вид самих символов определяется файлами шрифтов, которые установлены на вашем компьютере. Поэтому процесс вывода на экран текста

можно описать как постоянное сопоставление последовательностей нулей и единиц каким-то конкретным символам, входящим в состав шрифта.

Прародителем всех современных кодировок можно считать **ASCII**. Эта аббревиатура расшифровывается как American Standard Code for Information Interchange (американская стандартная кодировочная таблица для печатных символов и некоторых специальных кодов).

Это однобайтовая кодировка, в которую изначально заложено всего 128 символов: буквы латинского алфавита, арабские цифры и т.д. Позже она была расширена (исначально она не использовала все 8 бит), поэтому появилась возможность использовать уже не 128, а 256 различных символов, которые можно закодировать в одном байте информации. Такое усовершенствование позволило добавлять в ASCII символы национальных языков, помимо уже существующей латиницы.

Вариантов расширенной кодировки ASCII существует очень много по причине того, что языков в мире тоже немало. Думаю, что многие из вас слышали о такой кодировке, как **KOI8-R** – это тоже расширенная кодировка ASCII, предназначенная для работы с символами русского языка.

Следующим шагом в развитии кодировок можно считать появление так называемых **ANSI-кодировок**.

По сути это были те же расширенные версии ASCII, однако из них были удалены различные псевдографические элементы и добавлены символы типографики, для которых ранее не хватало «свободных мест».

Примером такой ANSI-кодировки является всем известная **Windows-1251**. Помимо типографических символов, в эту кодировку также были включены буквы алфавитов языков, близких к русскому (украинский, белорусский, сербский, македонский и болгарский).

ANSI-кодировка – это собирательное название. В действительности, реальная кодировка при использовании ANSI будет определяться тем, что указано в реестре вашей операционной системы Windows. В случае с русским языком это будет Windows-1251, однако для других языков это будет другая разновидность ANSI.

Как вы понимаете, масса кодировок и отсутствие единого стандарта до добра не довели, именно это стало причиной частых встреч с кракозябрами – нечитаемым бессмысленным набором символов.

Причина их появления проста – это попытка отобразить символы, закодированные с помощью одной кодировочной таблицы, используя другую кодировочную таблицу.

В контексте веб-разработки мы можем столкнуться с кракозябрами, когда, к примеру, русский текст по ошибке сохраняется не в той кодировке, которая используется на сервере.

Разумеется, это не единственный случай, когда мы можем получить нечитаемый текст – вариантов тут масса, особенно если учесть, что есть еще база данных, в которой информация также хранится в определенной кодировке, есть сопоставление соединения с базой данных и т. д.



Возникновение всех этих проблем послужило стимулом для создания чего-то нового. Это должна была быть кодировка, которая могла бы кодировать любой язык в мире (ведь с помощью однобайтовых кодировок при всем желании нельзя описать все символы, скажем, китайского языка, где их явно больше, чем 256), любые дополнительные спецсимволы и типографику.

В этот процесс вмешался еще один, очень мощный фактор – иероглифическое письмо СJK-языковой группы (Chinese-Japanese-Korean). Представлять это письмо читателю, думаю, не надо, я лишь постараюсь дать оценку необходимого кодового пространства. Общее число иероглифов превышает 50 тысяч. Причем иероглифическая письменность устроена так, что сочинить новый иероглиф может, в принципе, любой человек. Тут уж и 32 разрядов не хватит. На практике, правда, изобретение иероглифа считается высшим пилотажем и допускается только великим, а не всякому с улицы. Однако в 50-х годах японцам все это самим надоело, и они оставили только 1850 основных иероглифов, а остальные велели писать алфавитом. Но, как всегда, нашлось много несогласных с этим, которые явочным порядком продолжают использовать «отмененные» иероглифы.

Никакие ухищрения с однобайтовыми кодовыми страницами здесь не помогут. Всем понятно – этим языкам нужно особенное, совершенно отличное от Европы решение. Беда это или счастье народа – иметь такое письмо, но японцы с самого начала были вынуждены идти по узкому пути разработки ПО «так, как надо». Способом, не приемлющим сиюминутную выгоду от быстро сданного заказа; способом, требующим основательного проектирования и несколько большего программистского труда, особенно вначале; способом, к которому Европа и Америка, в конце концов, также были вынуждены прийти – но уже в контексте необходимости переделки того, что с самого начала было сделано «не так». То есть практически всего своего программного обеспечения.

К чести восточных народов, они не отказались от своего письма ради более легкой компьютеризации (хотя от компьютеров зависели намного больше России, и попытки упростить свою письменность у них имелись). Вместо этого Биллу Гейтсу все-таки пришлось сделать дальневосточную версию Windows со всем необходимым механизмом поддержки многосимвольных алфавитов: начиная от механизмов стандартных библиотек и операционной системы, продолжая совершенно оригинальным инструментарием ввода и заканчивая поддержкой Microsoft Office-ом «всего этого».

Итак, появилась насущная необходимость в создании одной общей кодировки, включающей в едином кодовом пространстве символы всех алфавитов мира. 256 символов для этого мало, и в рамках нового стандарта, когда под каждый символ отводится по 2 байта, доступно 65536 различных кодов. Новый стандарт получил название **Unicode**. Сюда попало очень многое, даже алфавиты некоторых умерших языков. Сейчас имеется уже третья версия, а в разработке находится четвертая, по слухам четырехбайтная.

Под термином «Юникод» сегодня имеют в виду стандарт кодирования символов. Данный стандарт был предложен в 1991 году некоммерческой орга-

низацией Unicode Inc. Стандарт «Юникод» разрабатывался для объединения большого числа различных символов в одном документе. Страница, созданная на основе такой кодировки, может содержать в себе иероглифы, буквы, и математические символы. В данной кодировке без проблем отображаются все символы.

Еще задолго до появления системы «Юникод», кодировки выбирались исходя из предпочтений автора документа. Нередко по этой причине, чтобы прочитать один документ, приходилось использовать различные таблицы. Однако делать это приходилось по несколько раз. Это существенно усложняло жизнь обычным пользователям. Как уже было сказано ранее, в 1991 году для решения данной проблемы некоммерческая организация Unicode Inc. предложила использовать новый тип кодирования информации. Данный тип кодирования был создан для объединения самых разнообразных стандартов. Кодировка «Юникод» позволила добиться невозможного: создать инструмент, поддерживающий огромное количество разнообразных символов. Полученный результат превзошел ожидания: получились документы, которые одновременно могли содержать в себе как русский, так и английский текст, а также математические выражения и латынь. Перед созданием единой системы кодировки разработчикам предстояло решить целый ряд проблем, возникающих из-за существования огромного числа стандартов, которые уже существовали на данный момент. К самым распространенным из таких проблем относились ограниченность набора символов, эльфийские письмена, дублирование шрифтов и проблема преобразования различных кодировок.

Первым результатом его работы стало создание кодировки **UTF-32**.

Кстати, сама аббревиатура UTF расшифровывается как Unicode Transformation Format (Формат преобразования Юникод).

В этой кодировке для кодирования одного символа предполагалось использовать аж 32 бита, то есть 4 байта информации. Если сравнивать это число с однобайтовыми кодировками, то мы приходим к простому выводу: для кодирования 1 символа в этой универсальной кодировке нужно в 4 раза больше битов, что «утяжеляет» файл в 4 раза.

Очевидно также, что количество символов, которое потенциально могло быть описано с помощью данной кодировки, превышает все разумные пределы и технически ограничено числом, равным 2 в 32 степени. Понятно, что это был явный перебор и расточительство с точки зрения веса файлов, поэтому данная кодировка не получила распространения.

**На смену ей пришла новая разработка – UTF-16.** Как очевидно из названия, в этой кодировке один символ кодируют уже не 32 бита, а только 16 (то есть 2 байта). Очевидно, это делает любой символ вдвое «легче», чем в UTF-32, однако и вдвое «тяжелее» любого символа, закодированного с помощью однобайтовой кодировки.

Количество символов, доступное для кодирования в UTF-16, равно 65536 символов. Вроде бы все неплохо, к тому же окончательная величина кодового пространства в UTF-16 была расширена до более чем 1 миллиона символов.

Однако и данная кодировка до конца не удовлетворяла потребности разработчиков. Скажем, если вы пишете, используя исключительно латинские символы, то после перехода с расширенной версии кодировки ASCII к UTF-16 вес каждого файла увеличивался вдвое.

В результате, была предпринята еще одна попытка создания чего-то универсального, и этим чем-то стала всем нам известная кодировка UTF-8.

**UTF-8** – это многобайтовая кодировка с переменной длиной символа. Глядя на название, можно по аналогии с UTF-32 и UTF-16 подумать, что здесь для кодирования одного символа используется 8 бит, однако это не так. Точнее, не совсем так.

Дело в том, что UTF-8 обеспечивает наилучшую совместимость со старыми системами, использовавшими 8-битные символы. Для кодирования одного символа в UTF-8 реально используется от 1 до 4 байт (гипотетически можно и до 6 байт).

В UTF-8 все латинские символы кодируются 8 битами, как и в кодировке ASCII. Иными словами, базовая часть кодировки ASCII (128 символов) перешла в UTF-8, что позволяет «тратить» на их представление всего 1 байт, сохраняя при этом универсальность кодировки, ради которой все и затевалось.

Итак, если первые 128 символов кодируются 1 байтом, то все остальные символы кодируются уже 2 байтами и более. В частности, каждый символ кириллицы кодируется именно 2 байтами.

Таким образом, мы получили универсальную кодировку, позволяющую охватить все возможные символы, которые требуется отобразить, не «утяжеляя» без необходимости файлы.

**С BOM или без BOM?** Если вы работали с текстовыми редакторами (редакторами кода), например Notepad, то, вероятно, обращали внимание на то, что при задании кодировки, в которой будет создана страница, можно выбрать, как правило, три варианта:

- ANSI;
- UTF-8;
- UTF-8 без BOM.

Сразу скажу, что выбирать всегда стоит именно последний вариант – **UTF-8 без BOM**.

Итак, что же такое BOM и почему нам это не нужно?

**BOM** расшифровывается как Byte Order Mark. Это специальный Unicode-символ, используемый для индикации порядка байтов текстового файла. По спецификации его использование не является обязательным, однако если BOM используется, то он должен быть установлен в начале текстового файла.

Не будем вдаваться в детали работы BOM. Для нас главный вывод следующий: использование этого служебного символа вместе с UTF-8 мешает программам считывать кодировку нормальным образом, в результате чего возникают ошибки в работе скриптов. Поэтому при работе с UTF-8 используйте именно вариант «UTF-8 без BOM».

Несмотря на то, что прогресс не стоит на месте, кодировка «Юникод» продолжает удерживать лидирующие позиции в мире. Это стало возможным во многом благодаря тому, что он стал легко внедряемым и получил широкое распространение. При этом не стоит считать, что сегодня используется такая же кодировка «Юникод», что и 25 лет назад. В 2016 году должен выйти новый стандарт кодирования символов – Unicode 9.0. Как и в предыдущих версиях, в девятой появится много новых смайлов Emoji. Некоторые из них уже известны. 74 новые идеограммы Emoji уже приняты консорциумом Unicode и именно они войдут в состав Unicode 9.0. Есть большая вероятность, что именно эти смайлы быстрее всего появятся в следующей крупной версии iOS, а также чуть позже и в Android.

Что же еще полезного есть в «Юникод»? Кроме огромного, постоянно пополняющегося количества символов, кодировка «Юникод» имеет одну довольно полезную особенность. Это нормализация. Кодировка не тратит ресурсы компьютера на регулярную проверку одного и того же символа, который в разных алфавитах может иметь похожее написание. Для этой цели используется специальный алгоритм, который дает возможность вынести схожие символы отдельно графой и обращаться к ним, а не проверять каждый раз всю информацию. Всего разработано и внедрено четыре таких алгоритма. Преобразование в каждом из них осуществляется по определенному принципу, отличающемуся от других.

## ЧАСТЬ 2. РАБОТА СО ЗВУКОМ

### ГЛАВА 13. ЗВУКОВЫЕ СИГНАЛЫ

#### 13.1. Общие сведения

Разговор о звуке мы начнем с рассмотрения простейших физических понятий. Понятие «звук» самым тесным образом связано с понятием «волна». Интересно, что это понятие, являясь привычным для абсолютно всех, зачастую вызывает затруднения при попытке дать ему строгое определение. С одной стороны, волна – это что-то, что связано с движением, нечто, распространяющееся в пространстве, как, например, волны, расходящиеся кругами от брошенного в воду камня. С другой стороны, мы знаем, что лежащая на поверхности воды ветка почти не станет двигаться в направлении распространения волн от брошенного рядом камня, а будет в основном лишь колыхаться на воде. Что же переносится в пространстве при распространении волны? Оказывается, в пространстве переносится некоторое возмущение. Брошенный в воду камень вызывает всплеск – изменение состояния поверхности воды, и это возмущение передается от одной точки водоема к другой в виде колебаний поверхности. Таким образом, волна – это процесс перемещения в пространстве изменения состояния. Звуковая же волна (звуковые колебания) – это передающиеся в пространстве механические колебания молекул вещества (например, воздуха).

Давайте представим себе, каким образом происходит распространение звуковых волн в пространстве. В результате каких-то возмущений (например, в результате колебаний диффузора громкоговорителя или гитарной струны), вызывающих движение и колебания воздуха в определенной точке пространства, возникает перепад давления в этом месте, так как воздух в процессе движения сжимается, в результате чего возникает избыточное давление, толкающее окружающие слои воздуха. Эти слои сжимаются, что в свою очередь снова создает избыточное давление, влияющее на соседние слои воздуха. Так, как бы по цепочке, происходит передача первоначального возмущения в пространстве из одной точки в другую. Этот процесс описывает механизм распространения в пространстве звуковой волны. Тело, создающее возмущение (колебания) воздуха, называют источником звука.

Привычное для всех нас понятие «звук» означает всего лишь воспринимаемый слуховым аппаратом человека набор звуковых колебаний. О том, какие колебания человек воспринимает, а какие нет, мы поговорим позднее.

Звуковые колебания, а также вообще все колебания, как известно из физики, характеризуются амплитудой (интенсивностью), частотой и фазой. В отношении звуковых колебаний очень важно упомянуть такую характеристику, как скорость распространения. Скорость распространения колебаний зависит от среды, в которой колебания распространяются. На эту скорость влияют такие факторы, как упругость среды, ее плотность и температура. Так, например, чем выше температура среды, тем выше в ней скорость звука. В нормальных (при

нормальной температуре и давлении) условиях скорость звука в воздухе составляет приблизительно 330...340 м/с. Таким образом, время, через которое слушатель начинает воспринимать звуковые колебания, зависит от удаленности слушателя от источника звука, а также от характеристик среды, в которой происходит распространение звуковой волны. Немаловажно заметить, что скорость распространения звука почти не зависит от частоты звуковых колебаний. Это означает, среди прочего, что звук воспринимается именно в той последовательности, в какой он создается источником. Если бы это было не так, и звук одной частоты распространялся бы быстрее звука другой частоты, то вместо, например, музыки, мы бы слышали просто шум.

Звуковым волнам присущи различные явления, связанные с распространением волн в пространстве. Перечислим наиболее важные из них.

**Интерференция** – усиление колебаний звука в одних точках пространства и ослабление колебаний в других точках в результате наложения двух или нескольких звуковых волн. Когда мы слышим звуки разных, но достаточно близких частот сразу от двух источников, к нам приходят то гребни обеих звуковых волн, то гребень одной волны и впадина другой. В результате наложения двух волн, звук то усиливается, то ослабевает, что воспринимается на слух как биения. Конечно, в реальности механизм интерференции оказывается намного более сложным, однако его суть не меняется. Эффект возникновения биений используется при настройке двух музыкальных тонов в унисон (например, при настройке гитары): настройку производят до тех пор, пока биения перестают ощущаться.

Звуковая волна, при ее падении на границу раздела с другой средой, может отразиться от этой границы, пройти в другую среду, изменить направление движения (это явление называют **рефракцией**), поглотиться или одновременно совершить несколько из перечисленных действий. Степень поглощения и отражения зависит от свойств сред на границе их раздела.

Очень важно упомянуть также явление волнового движения в замкнутом объеме, суть которого состоит в отражении звуковых волн от стен некоторого замкнутого пространства. Отражения звуковых колебаний могут сильно влиять на конечное восприятие звука – изменять его окраску, насыщенность, глубину. Так, звук, идущий от источника, расположенного в закрытом помещении, многократно отражаясь от стен помещения, воспринимается слушателем как послезвучание. Такой эффект называется **реверберацией** (от лат. «reverbero» – «отбрасываю»). Этот эффект очень широко используется при обработке звука с целью придания звучанию специфических свойств и тембральной окраски.

Способность огибать препятствия – еще одно ключевое свойство звуковых волн, называемое **дифракцией**. Степень огибания зависит от соотношения между длиной звуковой волны (ее частотой) и размером стоящего на ее пути препятствия или отверстия. Если размер препятствия оказывается намного больше длины волны, то звуковая волна отражается от него. Если же размеры препятствия оказываются сопоставимыми с длиной волны или оказываются меньше ее, то звуковая волна огибает препятствие.

Еще один эффект, связанный с волновым движением, о котором нельзя не вспомнить – **эффект резонанса**. Он заключается в следующем. Звуковая волна, создаваемая некоторым колеблющимся телом, распространяясь в пространстве, может переносить энергию колебаний другому телу (резонатору), которое, поглощая эту энергию, начинает колебаться, и, фактически, само становится источником звука. При этом исходная звуковая волна усиливается, и звук становится громче. Надо заметить, что в случае появления резонанса, энергия звуковой волны расходуется на «раскачивание» резонатора, что соответственно сказывается на длительности звучания.

**Эффект Доплера** – еще один интересный, последний в нашем списке эффект, связанный с распространением звуковых волн в пространстве. Эффект заключается в том, что длина волны изменяется соответственно изменению скорости движения слушателя относительно источника волны. Перечисленные явления учитываются и широко используются во многих областях звукотехники.

## 13.2. Основные характеристики звуковых сигналов

### 13.2.1. Уровень сигнала и его динамический диапазон

Одной из основных характеристик акустического звукового сигнала является **звуковое давление**. В физике давлением называется сила, приходящаяся на единицу поверхности тела.

$$p = \frac{F}{S},$$

где  $F$  – сила, действующая на тело;  $S$  – поверхность, на которую действует сила.

Единица  $1 \text{ Н/м}^2$  названа паскалем – [Па].

**Звуковым давлением** называется разность между суммарным мгновенным значением давления в некоторой точке поля и атмосферным давлением.

$$p(t) = p_{\Sigma} - p_0,$$

где  $p(t)$  – величина звукового давления;  $p_{\Sigma}(t)$  – суммарное мгновенное значение давления в некоторой точке поля;  $p_0$  – атмосферное давление.

В области сжатия (сгущения) частиц среды  $p_{\Sigma}(t)$  больше атмосферного и звуковое давление положительно. В области разрежения – отрицательно.

В акустике приходится иметь дело с величинами звукового давления, не превышающими по амплитуде 10 Па. Если учесть, что нормальное атмосферное давление составляет  $1,01 \times 10^5$  Па, то становится ясным, насколько малы значения звукового давления по сравнению с атмосферным.

Ухо человека способно воспринимать определенный диапазон звуковых давлений, например, на средних звуковых частотах от  $10^{-5}$  до  $10^2$  Па. Поэтому для удобства измерений и вычислений принято оценивать звуковое давление,

или соответственно интенсивность звука не в абсолютных, а в относительных единицах – белах, децибелах. Измеренные таким образом величины называются уровнями.

Так, уровень звукового давления

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0},$$

где  $p$  – текущее звуковое давление;

$p_0$  – условный порог давления, равный  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Уровень интенсивности (силы) звука

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0},$$

где  $I$  – интенсивность звука в Вт/м<sup>2</sup>;

$I_0$  – интенсивность звука, принимаемая за нулевой уровень, равный  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Заметим, что понятие уровня используется не только в акустике, но и в электротехнике и связи. Так, под **электрическим уровнем** понимается величина

$$N = 20 \lg \frac{U}{U_0}.$$

Нулевые уровни электрических величин выбираются при этом так, чтобы мощность, выделяемая при напряжении  $U_0$  на сопротивлении  $R = 600$  Ом, составляла 1 мВт. Отсюда легко найти, что  $U_0 = 0,775$  В.

В процессе любой передачи уровень акустического сигнала непрерывно изменяется, причем диапазон его изменения может быть довольно широким. На рис. 13.1, а показана зависимость уровня сигнала от времени, называемая **уровнеграммой**. Обычно ее приводят для уровня, определенного при постоянной времени измерителя, равной или 150...200 мс (субъективная уровнеграмма), или 20...30 мс (объективная уровнеграмма).

Так как звуковой сигнал изменяется случайным образом, его интегральное распределение и среднее значение можно определить следующим образом. Возьмем какой-либо уровень, например,  $L_k$  (рис. 13.1, а). Время, в течение которого уровень сигнала будет не ниже  $L_k$ , определится суммой  $\tau_k = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n$ , где  $\Delta t_n$  – временные интервалы действия сигнала. Следовательно, относительное время пребывания уровня сигнала над заданным равно  $g_k = \frac{\tau_k}{T}$ , где  $T$  – длительность времени анализа сигнала (она должна быть достаточно большой: не менее 15 с для речи и 1 мин для музыки). Если таким образом определить величину  $g_k$  для разных уровней, то можно построить кривую интегрального распределения уровней для данного сигнала. Такое



распределение для рассматриваемой уровнеграммы показано на рис. 13.1, б.

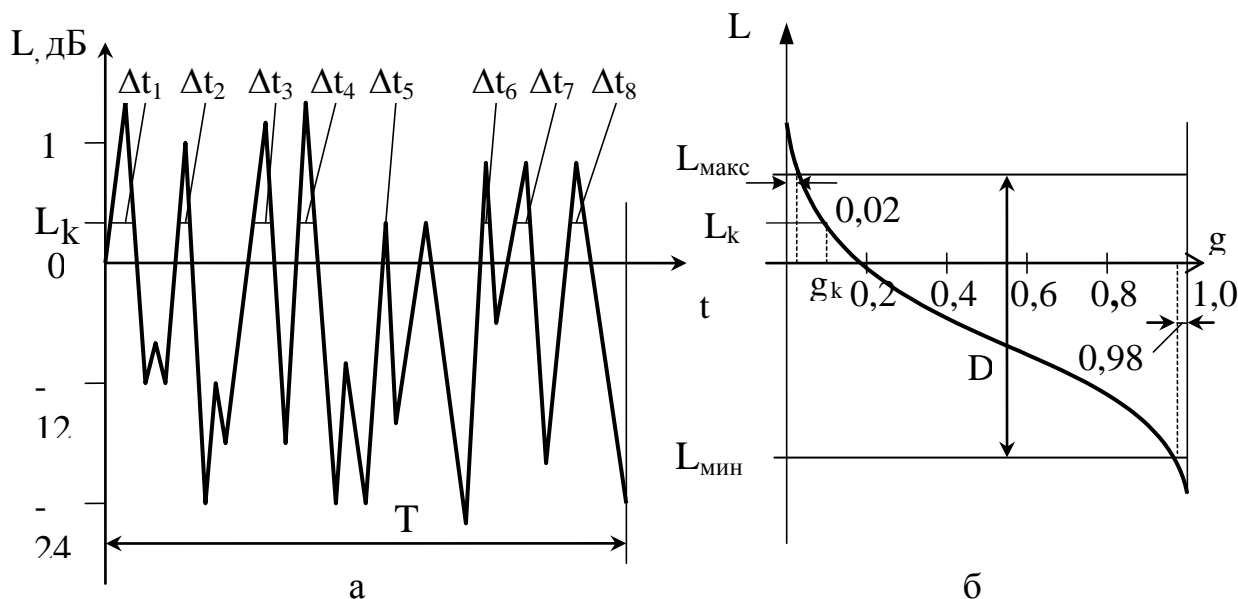


Рис. 13.1. К определению динамического диапазона:  
а – уровнеграмма; б – построение по ней интегрального распределения

Установлено, что распределения, полученные для натуральных музыкальных и речевых сигналов, по форме близки к нормальному закону распределения. Для анализа звуковых сигналов введены понятия квазимаксимального и квазимиимального уровней сигнала  $L_{\text{макс}}$  и  $L_{\text{мин}}$ . Их определяют по относительному времени пребывания уровня сигнала над соответствующим уровнем. Для квазимаксимального уровня это время принято брать равным 2% для музыкального сигнала и 1% – для речевого, а для квазимиимального – соответственно 98 и 99% (рис. 13.1, б). Выбор именно таких значений для  $L_{\text{макс}}$  и  $L_{\text{мин}}$  основан на том, что более краткие пики и резкие минимумы сигнала практически не воспринимаются слухом (для речевого сигнала процент взят меньше, чем для музыкального, так как очень краткие звуки в речи все же несут некоторую информацию).

Разность между квазимаксимальным и квазимиимальным уровнями называют **динамическим диапазоном**:

$$D = L_{\text{макс}} - L_{\text{мин}}$$

Разность между квазимаксимальным и средним уровнями называют **пик-фактором**. Пикфактор показывает, насколько ниже надо взять усредненный уровень передачи по сравнению с уровнем ограничения в канале, чтобы не перегружать канал. В табл. 13.2 приведены величины среднего звукового давления и пикфактора для ряда натуральных звучаний. Для музыкальных сигналов пикфактор доходит до 25 дБ и более, а для речевого сигнала в среднем он составляет 12 дБ.

Динамический диапазон некоторых видов звуковых сигналов приведён в таблице 13.1.

Таблица 13.1. Динамический диапазон некоторых видов звуковых сигналов

Вид сигнала	Динамический диапазон, дБ
Речь диктора	25...35
Художественное чтение	35...45
Телефонные разговоры	35...45
Небольшие ансамбли	45...55
Симфонический оркестр	65...75
Рок-музыка	до 118

Таблица 13.2. Характеристики некоторых типов натуральных звучаний

Инструмент	Среднее звуковое давление, Па	Пикфактор, дБ	Область наивысших пиковых значений, Гц
Большой барабан	9,9	10	250...500
Контрабас	0,42	10,8	125...250
Бас-саксофон	0,41	16,6	250...500
Бас-труба	0,54	9,7	250...500
Тромбон	0,65	17,5	600...700 2000...2800
Труба	0,86	12	250... 700
Английский рожок	0,38	11,2	250...500
Кларнет	0,35	11,5	250...500
Рояль	0,26	9,8	250...500
Орган	0,21	13,2	250...500
Орган фортиссимо	2,0	8,7	20...62,5
Разговор	0,05	10	250...500
Оратор	0,1	12	250...500

Динамический диапазон сигнала всегда необходимо сопоставлять с динамическим диапазоном канала звукопередачи  $D_K$ :

$$D_K = 20 \lg \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{ш}}} - (\Delta N_1 + \Delta N_2),$$

где  $U_{\text{ш}}$  – уровень шума в канале;  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение;  $\Delta N_1$  – уровень перекрытия помех и шумов, дБ (обычно не менее 10 дБ);  $\Delta N_2$  – допуск на перегрузку (3...6) дБ.

Как видно из таблицы, для передачи натурального динамического диапазона требуется высококачественная аппаратура (с большим запасом линейной части амплитудной характеристики). В большинстве случаев динамический диапазон натуральных звуковых сигналов превышает возможности аналоговых

средств связи и вещания. Поэтому при их использовании приходится предварительно сжимать динамический диапазон или же мириться с появлением искажений в тракте передачи.

### 13.2.2. Частотный диапазон звуковых сигналов

Натуральный звуковой сигнал, как правило, имеет непрерывно изменяющуюся форму и состав спектра. Спектры могут быть высоко- и низкочастотными, дискретными и сплошными. У каждого источника звука, даже того же самого типа (например, скрипка в оркестре), спектры имеют индивидуальные особенности, что придает звучанию характерную окраску. Эту окраску называют **тембром**. Существуют понятия тембра скрипки, тромбона, органа и т. п., а также тембра голоса: звонкий, когда подчеркнуты высокочастотные составляющие; глухой, когда они подавлены. Усредненный спектр некоторых источников звука приведен в табл. 13.3. Этот спектр является, как правило, сплошным и достаточно сглаженным по форме.

Таблица 13.3. Частотные диапазоны некоторых натуральных источников звука

Источник сигнала	Диапазон частот, Гц
Мужской голос	100...7000
Женский голос	200...9000
Рояль	100...5000
Скрипка	200...15000
Флейта	250...14000
Литавры	65...3000
Бас-труба	50...6000
Орган	20...15000
Шум шагов	100...10000
Аплодисменты	150...15000

### 13.3. Вторичные звуковые сигналы

К **вторичным** звуковым сигналам относятся сигналы, воспроизводимые электроакустическими устройствами, то есть натуральные (первичные) сигналы, прошедшие по электроакустическим трактам и изменившие свои параметры.

В идеальном случае вторичный сигнал должен точно воспроизводить первичный, но это не всегда требуется, так как слух человека может и не заметить их несоответствие. К тому же на практике их точное соответствие часто невозможно или очень трудно осуществить. При художественном вещании надо стремиться к этому соответствию в пределах, при которых слуховое ощущение, создающееся у слушателя, было бы близко к тому ощущению, которое он получает, находясь в месте исполнения данной программы. Для информацион-

ных программ вещания и телефонной связи этого соответствия добиваются в первую очередь для получения полной понятности речи, а затем для достаточно высокого качества звучания.

Нарушение точности звукопередачи, замечаемое слухом, бывает самого разнообразного вида. Рассмотрим основные из них: потерю акустической перспективы, смещение уровней, ограничение динамического и частотного диапазона сигнала, помехи, искажения.

**Потеря акустической перспективы.** При передаче звукового сигнала по одноканальной системе получается ощущение слушания одним ухом, даже при наличии нескольких микрофонов в помещении, откуда ведется передача, и при разнесенных вторичных источниках звука. Источник звука для слуха будет всегда казаться находящимся в некотором среднем положении по отношению к фактическим вторичным источникам, поскольку временной сдвиг и разность уровней для обеих ушей слушателя не зависят от местонахождения первичного источника звука. Этот дефект может быть до некоторой степени устранен с помощью многоканальных звуковых систем.

**Смещение уровней.** Поскольку по тракту передачи сигналов не передается информация об абсолютных уровнях звучания первичного сигнала, то слушатель по своему усмотрению устанавливает уровень вторичного сигнала. При этом не всегда можно восстановить нужный уровень первичного сигнала из-за недостаточной мощности аппаратуры на приемном конце, а также из-за условий слушания (например, в квартирах с плохой звукоизоляцией).

Смещение уровней приводит к изменению соотношения между громкостями низкочастотных и среднечастотных составляющих первичного и вторичного сигналов, так как смещение среднего уровня вторичного сигнала вверх по отношению к среднему уровню первичного приводит к субъективному повышению громкости низкочастотных составляющих, смещение вниз – к их ослаблению.

**Ограничение динамического диапазона.** Поскольку динамический диапазон канала ограничен снизу шумами, а сверху – перегрузкой и нелинейностью отдельных звеньев канала передачи, то во избежание искажений его сжимают в начале тракта (во всяком случае, до звена, в котором, скорее всего, может ограничиться или исказиться сигнал). Этот дефект может быть частично исправлен путем расширения динамического диапазона сигнала на конце тракта, что не всегда возможно, так как на приемном конце может быть неизвестно, насколько был сжат этот диапазон. Использование цифровой обработки звуковых сигналов практически устраняет проблему передачи натурального динамического диапазона. Обращаю внимание, что именно передачи. Воспроизведение звуковых сигналов всегда будет выполняться аналоговыми устройствами, которые имеют ограниченный динамический диапазон неискаженного звучания.

**Линейные искажения.** К линейным искажениям звукового сигнала относятся нежелательные изменения соотношений между амплитудами частотных составляющих сигнала при передаче его по тракту. Эти искажения называют амплитудно-частотными или просто частотными.

Частотная зависимость коэффициента передачи, называемая частотной характеристикой тракта передачи, приводит к изменению соотношений между амплитудами частотных составляющих, входящих в первичный сигнал. Субъективно эти искажения ощущаются как изменение тембра первичного сигнала. Например, если подавлены низкочастотные составляющие, то звучание будет звенящим. При подавлении высокочастотных составляющих звук становится глухим. При резком подчеркивании низкочастотных составляющих звучание получается бубнящим, а при резком подчеркивании высокочастотных – свистящим. Линейные искажения оценивают по величине **неравномерности частотной характеристики**

$$M = \frac{K_{\text{макс}}}{K_{\text{мин}}},$$

где  $K_{\text{макс}}$  и  $K_{\text{мин}}$  – максимальный и минимальный коэффициенты передачи в заданном диапазоне частот.

Неравномерность часто измеряют в логарифмических единицах:

$$\Delta L = L_{\text{макс}} - L_{\text{мин}},$$

где  $L_{\text{макс}}$  и  $L_{\text{мин}}$  – максимальный и минимальный уровни вторичного сигнала при одном и том же уровне первичного.

Как правило, частотная характеристика наиболее неравномерна в областях самых низких и самых высоких частот диапазона, то есть вблизи его границ, поэтому для широкополосных трактов передачи сигнала, например вещательных, неравномерность частотной характеристики часто задают в двух диапазонах: номинальном и в основном (200...5000 Гц). Установлено, что на низких частотах искажения более заметны, чем на высоких. В тех случаях, когда аппаратура не может быть изготовлена с заданной неравномерностью, в требуемом частотном диапазоне, оговаривают частотный диапазон, в котором неравномерность не превышает заданную норму.

Амплитудно-частотные искажения обычно устраняют путем частотной коррекции в звеньях тракта, ближайших к искажающим устройствам.

**Нелинейные искажения.** Нелинейными искажениями называют искажения сигнала, обусловленные нелинейностью зависимости между вторичным и первичным сигналами. Нелинейные искажения приводят к появлению в воспроизводимом сигнале новых частотных составляющих, которых не было в спектре исходного звука. Появление новых частот при нелинейной характеристике устройства можно показать с помощью несложных математических выводов.

Пусть источник звука создает одновременно два колебания с одинаковой амплитудой  $U_m$  и частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ :  $u = U_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$ .

Предположим, что амплитудная характеристика устройства описывается выражением  $y = ax + bx^2$ .

В этом случае сигнал на выходе определится как:

$$u_{\text{вых}} = aU_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + bU_m^2(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)^2 =$$

$$aU_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + bU_m^2(\cos^2 \omega_1 t + 2\cos \omega_1 t \cos \omega_2 t + \cos^2 \omega_2 t).$$

Учитывая, что  $\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$ ,  $\cos \alpha \cos \beta = \frac{\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)}{2}$ ,

получим:

$$u_{\text{вых}} = aU_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + bU_m^2[1 + \frac{1}{2}\cos 2\omega_1 t + \cos(\omega_1 + \omega_2)t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t].$$

Из последнего выражения видно, что кроме колебания с основными частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$  в сигнале появились новые (паразитные) составляющие:

- с частотами  $2\omega_1$  и  $2\omega_2$  в два раза больше основных (вторые гармоники);
- с частотой  $\omega_1 + \omega_2$  – суммарный тон;
- с частотой  $\omega_1 - \omega_2$  – разностный тон.

Суммарный и разностный тоны называются комбинационными тонами первого порядка, а появившиеся нелинейные искажения квадратичными. В том случае, когда уравнение амплитудной характеристики описывается уравнением  $y = ax + bx^2 + cx^3$ , то появляются комбинационные тоны второго порядка, а нелинейные искажения называются кубическими, так как имеется третья гармоника.

Количественно нелинейные искажения чаще всего оцениваются с помощью коэффициента гармоник – отношения корня квадратного из суммы квадратов эффективных значений напряжений гармоник к эффективному значению напряжения полезного сигнала:

$$K_g = \frac{\sqrt{U_{m2}^2 + U_{m3}^2 + \dots}}{U_{m1}} 100, \%$$

где  $U_{mi}$  – амплитуды гармоник сигнала, начиная со второй;  $U_{m1}$  – амплитуда основной составляющей.

Метод коэффициента гармоник является наиболее распространенным методом оценки нелинейных искажений, однако, он имеет существенные недостатки. Так, с его помощью трудно измерить нелинейные искажения в высокочастотной части звукового диапазона, так как гармонические составляющие выходят за пределы воспроизводимого устройством диапазона частот. Кроме того, при некоторых видах нелинейности преобладают не паразитные гармонические составляющие, а комбинационные частоты.

Намного лучшие результаты для оценки нелинейных искажений дает использование метода разностного тона. При измерении на вход испытуемого устройства подается сумма двух синусоидальных сигналов с одинаковыми амплитудами и некратными частотами  $f_1$  и  $f_2$ . Разность частот  $f_1 - f_2$  должна

быть не менее 80 Гц. На выходе устройства измеряют напряжения на частотах  $f_1$  и  $f_2$ ;  $f_1 - f_2$ ;  $2f_2 - f_1$  и  $2f_1 - f_2$ .

Затем определяют коэффициент разностного тона второго и третьего порядков

$$K_{\text{рт2}} = 2 \frac{U_{f_2-f_1}}{U_{f_1} + U_{f_2}} 100, \%, \quad K_{\text{рт3}} = \frac{4}{3} \frac{U_{2f_2-f_1} + U_{2f_1-f_2}}{U_{f_1} + U_{f_2}} 100, \%.$$

Результаты исследований показали, что слушатель меньше замечает несимметричные искажения, когда наибольшей по амплитуде оказывается вторая гармоника, так как она находится в октаве с основной частотой. Симметричные искажения более заметны, и по этой причине до настоящего времени высококачественные усилители изготавливаются на лампах, а не на транзисторах. При сужении полосы частот заметность искажения уменьшается. Это объясняется тем, что ряд гармоник и комбинационных составляющих оказывается за пределами передаваемого диапазона частот.

Кроме рассмотренных искажений, называемых степенными, существует нелинейность из-за ограничения амплитуды. Последняя делится на ограничение сверху и ограничение снизу (центральное). На рис. 13.2 показаны эти ограничения. При первом виде ограничения искажаются только громкие сигналы, при втором – все сигналы, но более слабые искажаются сильнее, чем громкие.

Искажения, вызванные амплитудным ограничением сверху, мешают восприятию сигналов меньше, а при центральном ограничении – больше, чем искажения степенного типа. Нелинейные искажения степенного типа в виде гармонических составляющих вызывают ощущения дребезжания (а на высоких частотах – хрипы), а нелинейные искажения в виде разностных тонов вызывают ощущение модуляции громкости звука (обычно это заметно на низких частотах).

**Переходные и параметрические искажения.** Переходными искажениями называют появление «посторонних» составляющих во вторичном сигнале, обусловленных свободными колебаниями в звеньях тракта. Частоты этих колебаний могут не совпадать с частотами составляющих входного сигнала. Как и при нелинейных искажениях, появляются комбинационные частоты. Эти искажения возникают при изменении режима работы тракта, при изменении амплитуды входного сигнала, а также вследствие инерционности устройств обработки сигналов. Слуховое ощущение этих искажений сходно с ощущением нелинейных искажений.

К параметрическим искажениям относятся автопараметрический резонанс и детонация. Первый вид искажений наблюдается в громкоговорителях второй – в системах записи звука. Автопараметрический резонанс выражается в появлении субгармоник, то есть колебаний с частотами, кратными дробной величине частоты основного колебания. Характер этих искажений сходен со звучанием нелинейных искажений на низких частотах. Детонация сигнала выражается в изменении частоты вторичного сигнала по отношению к частоте пер-

вичного. Эти искажения прослушиваются и в виде «плавания» частоты сигнала, а при быстрых изменениях – в виде хрипов и дребезжания.

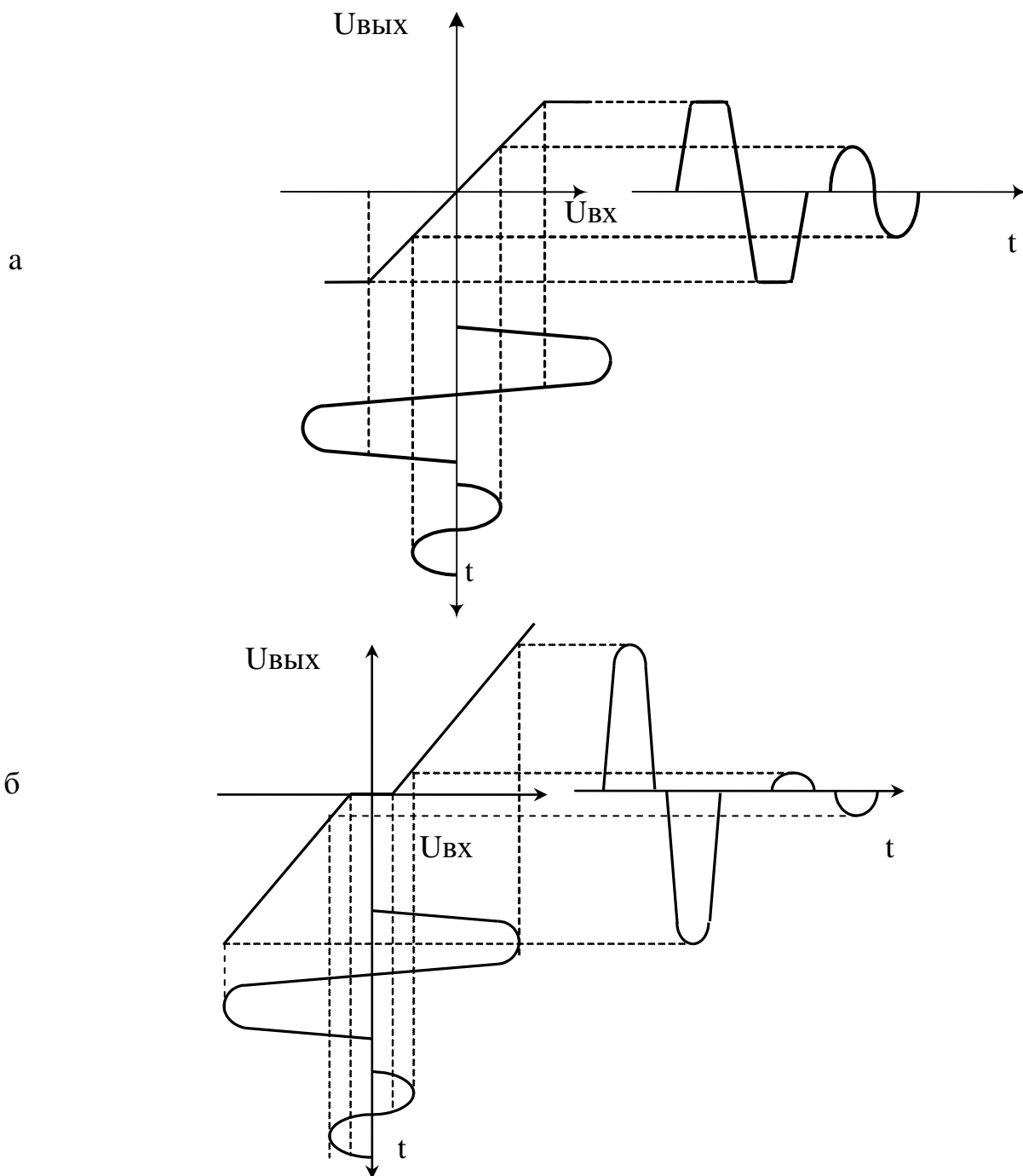


Рис. 13.2. Амплитудное ограничение для сигналов с большой и небольшой амплитудами: а – ограничение сверху; б – снизу (центральное)

**Шумы и помехи.** Влияние шумов и помех сводится к маскировке вторичного акустического сигнала независимо от их происхождения (акустического или электрического). Любой шум повышает порог слышимости, и если спектр шума сравнительно «гладкий», то это повышение не зависит от времени. К таким шумам относятся различные флуктуационные шумы, например шумы дробового эффекта, речевые шумы от нескольких голосов, звучащих одновремен-



но. Импульсные шумы изменяют порог слышимости в зависимости от пикфактора шума и длительности импульсов. Из-за инерционности слуха ощущение кратковременных импульсов получается сглаженным: происходит выравнивание временной зависимости порога слышимости. Импульсные шумы не только маскируют полезный сигнал, но и искажают его, создавая комбинационные частоты шума и сигнала. Получается нечто похожее на взаимную модуляцию сигнала и шума.

Спектр шумов электрического происхождения, как правило, близкий к равномерному, а акустического происхождения – ближе к речевому. Поэтому частотная зависимость порога слышимости для первых имеет тенденцию роста к высоким частотам. Для речевых шумов порог слышимости почти не зависит от частоты.

Индустриальные и атмосферные помехи, кроме тональных, могут быть отнесены и к импульсным, и к гладким, с равномерным или низкочастотным спектром. Кроме этих помех, приходится иногда считаться с помехами от самомаскировки речи, то есть с маскировкой слабых звуков, следующих за громкими. Борьба с акустическими шумами ведется путем устранения (или ослабления) действия источников шума, а также путем повышения звукоизоляции помещений. Учет их действия на прием речевого сигнала делается при расчете и измерении разборчивости речи.

**Фазовые искажения.** Считается, что при монофоническом звуковоспроизведении слух не реагирует на изменение фазы сигнала. Однако при организации многоканальных звуковых систем (в том числе и стереофонических) фазовые искажения обязательно необходимо учитывать. Дело в том, что фаза несет информацию о местоположении источника звука. Количественные характеристики этого влияния будут рассмотрены в следующей главе.

## ГЛАВА 14. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СЛУХА

### 14.1. Устройство слухового органа человека

Исследования свойств слуха, наряду с исследованием анатомического строения слухового органа, имеют более чем столетнюю историю. По существу, цель этих исследований – получить количественное выражение реакций человека на звуковые раздражители. Только на основе количественных характеристик слуха можно сформулировать такие технические требования, как диапазон частот громкоговорителей, необходимый для передачи музыки и речи, диапазон интенсивности звука, который соответствовал бы звучанию естественных источников (голоса, музыкальных инструментов), допустимые уровни интенсивности мешающих звуков при прослушивании концертных программ и речевых сообщений.

Знание свойств слуха необходимо и для понимания того, какие составляющие звуков речи являются информативными, какие искажения сигнала, передаваемого электроакустическими трактами, заметны на слух и как это связывается с разборчивостью или с художественностью передачи. Наконец, слуховой аппарат человека в целом представляет собой очень совершенную, биологическую распознающую систему, элементы которой могут оказаться полезным прототипом при создании искусственных акустических и электронно-акустических распознающих систем.

Слуховой аппарат является своеобразным приемником информации и состоит из периферической части и высших отделов слуховой системы. Наиболее изучены процессы преобразования звуковых сигналов в периферической части слухового аппарата. Строение периферической слуховой системы показано на рис. 14.1, а её схематичное представление на рис. 14.2.

Обычно периферическую слуховую систему делят на три части: внешнее, среднее и внутреннее ухо.

Внешнее ухо состоит из ушной раковины и слухового канала, заканчивающегося тонкой мембраной, называемой барабанной перепонкой.

Внешние уши и голова – это компоненты внешней акустической антенны, которая соединяет (согласовывает) барабанную перепонку с внешним звуковым полем. Основные функции внешних ушей – бинауральное (пространственное) восприятие, локализация звукового источника и усиление звуковой энергии, особенно в области средних и высоких частот. Слуховой канал представляет собой изогнутую цилиндрическую трубку длиной 22,5 мм, которая имеет первую резонансную частоту порядка 2,6 кГц. Поэтому в этой области частот находится область максимальной чувствительности слуха. Считается, что за счет резонансных свойств слухового канала происходит усиление звука на 5...10 дБ в диапазоне от 2000 до 5000 Гц. Барабанная перепонка – тонкая плёнка толщиной 74 мкм, имеет вид конуса, обращённого остриём в сторону среднего уха. На низких частотах она движется как поршень, на более высоких – на ней образу-

ется сложная система узловых линий, что также имеет значение для усиления звука.

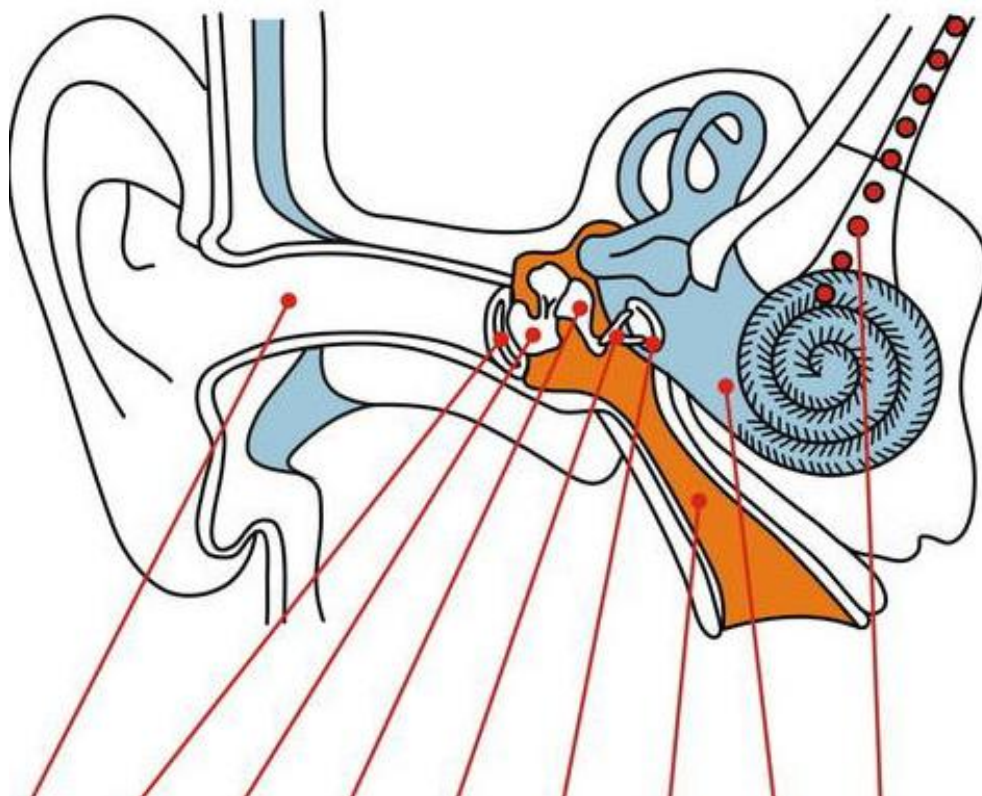


Рис. 14.1. Строение периферической слуховой системы:

1. Слуховой канал, 2. Барабанная перепонка, 3. Молоточек, 4. Наковальня,
5. Стремя, 6. Овальное окно, 7. Евстахиева труба, 8. Улитка, 9. Слуховой нерв

Среднее ухо выполняет следующие функции: согласование сопротивления воздушной среды среднего уха с жидкостной средой улитки внутреннего уха; защита от громких звуков и усиление.

В среднем ухе находятся три маленькие слуховые косточки: молоточек, наковальня и стремя. Молоточек 4 (рис. 14.2) прикреплен к барабанной перепонке 3 одним концом, вторым он соприкасается с наковальней 5, которая соединена со стремемем 6. Основание стремени соединено овальным окном 10 с внутренним ухом.

Для выравнивания атмосферного давления среднее ухо соединено с носоглоткой евстахиевой трубой. При изменении атмосферного давления воздух может входить или выходить из среднего уха, поэтому барабанная перепонка не реагирует на медленные изменения статического давления – спуск-подъем и т. п. Обычно евстахиева труба закрыта. Она открывается лишь при внезапном изменении давления. Если у человека евстахиева труба заблокирована, например, в результате простуды, то выравнивания давлений не происходит, и человек ощущает боль в ушах.

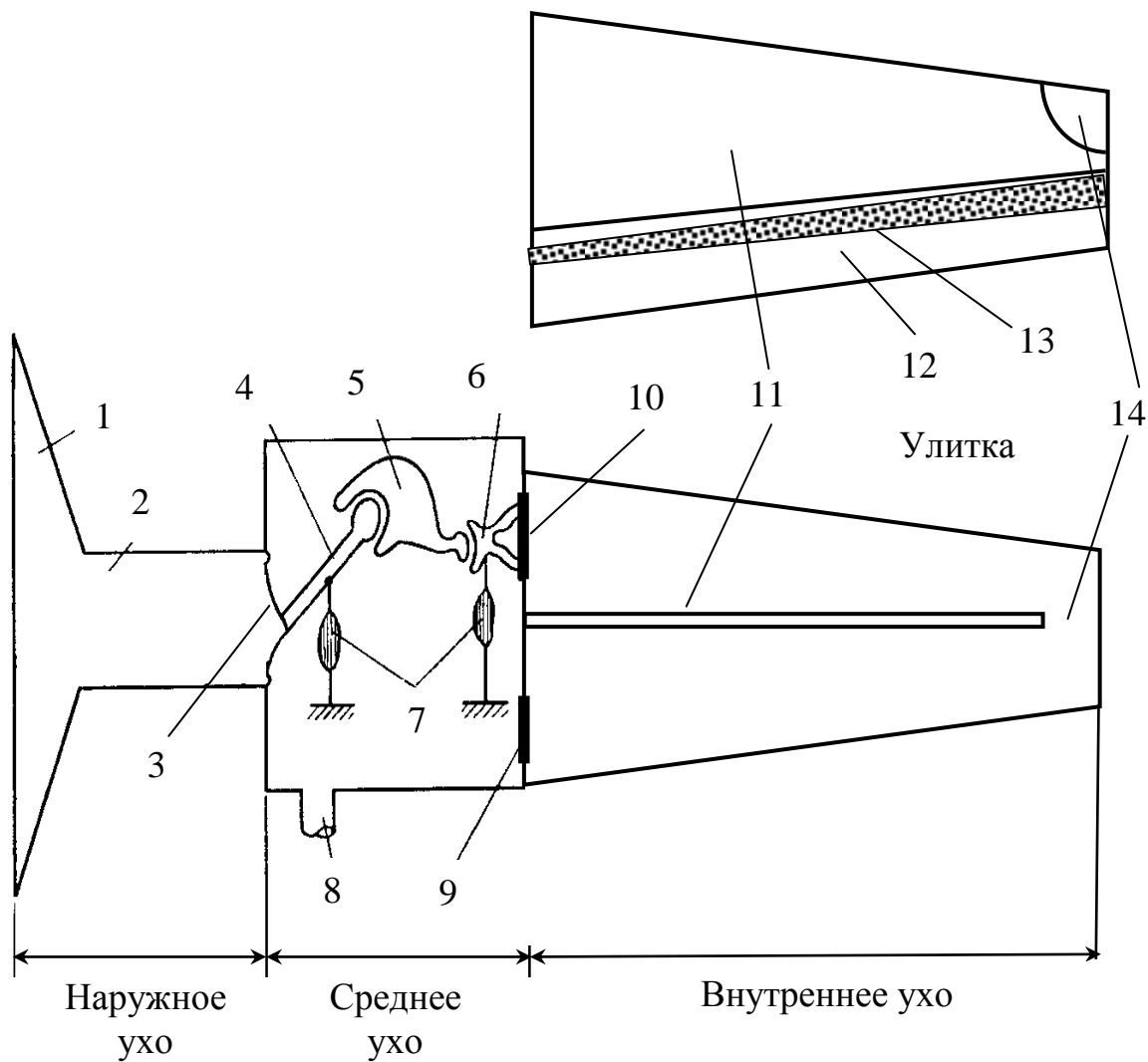


Рис. 14.2. Схематичное представление слухового аппарата человека: 1 – ушная раковина; 2 – слуховой канал; 3 – барабанная перепонка; 4 – молоточек; 5 – наковальня; 6 – стремя; 7 – мышцы; 8 – евстахиева труба; 9 – круглое окно; 10 – овальное окно; 11 – перегородка улитки; 12 – основная (базиллярная) мембрана; 13 – кортиев орган; 14 – геликотрема.

Барабанная перепонка и косточки среднего уха действуют наподобие трансформатора (коэффициент трансформации равен примерно 50...60), превращая воздушные колебания с большой амплитудой и сравнительно малым давлением в колебания жидкости внутреннего уха с большим давлением и малой амплитудой. Трансформация происходит, во-первых, вследствие того, что площадь овального окна в 20 раз меньше площади барабанной перепонки, и, во-вторых, вследствие рычажной системы передачи косточек, которые увеличивают силу, передаваемую в полость внутреннего уха, ещё в несколько раз. Напомним, что при равной энергии звук в воздухе имеет в 58 раз большую ам-

плитуду частиц, чем в воде; давление воздушной волны, наоборот, в 58 раз меньшую.

Для защиты слухового аппарата от повреждений существуют специальные мышцы 7. При сильном звуке под действием этих мышц ось вращения стремени смещается, уменьшая силу давления на овальное окно. При дальнейшем возрастании звука вступают в дело другие мышцы, одна из которых туго натягивает барабанную перепонку, а другая частично смещает стремя.

Внутреннее ухо находится в височной кости и включает в себя вестибулярный аппарат (на рис. 14.2 и 14.3 не показан) и улитку.

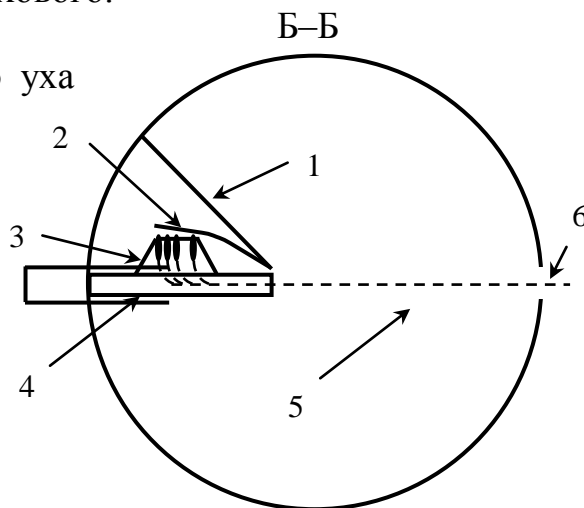
Улитка играет основную роль в слуховом восприятии. Она представляет собой трубку переменного сечения, свёрнутую в 2,5 раза подобно улитке (на рис. 14.2 она изображена в виде усечённого конуса). В развёрнутом состоянии она имеет длину 3,5 см. Внутри улитка имеет чрезвычайно сложную структуру. Её полость разделена на верхнюю и нижнюю части перегородкой 11, представляющей собой тонкую костяную пластинку. Перегородка оканчивается непосредственно у верхушки улитки, где верхняя и нижняя части её полости связаны отверстием – геликотремой 14. Перегородка примыкает только к одной стенке улитки. Вдоль внешней стенки на всём её протяжении остаётся щель, перекрытая подвижной основной (базиллярной) мембраной 12. Базиллярная мембрана состоит из нескольких тысяч поперечных волокон: длина 32 мм, ширина у стремени – 0,05 мм (этот конец узкий, легкий и жесткий), у геликотремы – ширина 0,5 мм (этот конец толще и мягче). На мембране вдоль всей её длины от овального окна до геликотремы располагается своего рода валик – кортиев орган 14.

Орган Корти содержит слуховые рецепторы – «волосковые» клетки. Каждая из таких клеток имеет до ста волосковых окончаний. С наружной стороны мембраны располагается три-пять слоев таких клеток, а под ними находится внутренний ряд, так что общее число волосковых клеток, взаимодействующих между собой послойно при деформациях мембраны, около 22...25 тысяч.

От свободной кромки перегородки улитки вверх под углом натянута очень тонкая мембрана Рейснера 1 (рис. 14.3), ниже которой расположена покровная (текториальная) мембрана 2. Мембрана Рейснера отгораживает жидкую среду вестибулярного аппарата от слухового.

Рис.14.3. Схематичный разрез внутреннего уха

- 1 – мембрана Рейснера;
- 2 – покровная мембрана;
- 3 – кортиев орган;
- 4 – основная мембрана;
- 5 – перегородка улитки;
- 6 – слуховой нерв.



На рис. 14.3 показан поперечный разрез внутреннего уха. Между левой стенкой и кромкой перегородки улитки видна основная мембрана с кортиевым органом.

Заметим, что кроме овальной мембраны в улитке имеется мембрана круглого окна 9 (рис. 14.2). Большинство авторов при описании роли мембраны круглого окна ограничиваются туманной фразой, что эта мембрана «выполняет вспомогательную функцию согласования среднего и внутреннего уха». Полагаю, что если бы не было этой мембраны, то не было бы и движения жидкости в улитке, так как лимфа практически не сжимаема. При воздействии звукового давления мембрана круглого окна перемещается в сторону, противоположную движению мембраны овального окна, тем самым давая возможность лимфе перемещаться и воздействовать на волосковые клетки.

Общий механизм передачи звука упрощенно может быть представлен следующим образом: звуковые волны проходят слуховой канал и возбуждают колебания барабанной перепонки. Эти колебания через систему косточек среднего уха передаются овальному окну, которое толкает жидкость в верхнем отделе улитки. Возникает импульс давления, который заставляет жидкость переливаться из верхней половины в нижнюю. Жидкость при этом оказывает давление на мембрану круглого окна, вызывая при этом ее смещение в сторону, противоположную движению стремени. Движение жидкости вызывает колебания основной мембраны в виде бегущей волны.

Преобразование механических колебаний мембраны в дискретные электрические импульсы нервных волокон происходят в органе Корти. Когда основная мембрана вибрирует, реснички на волосковых клетках изгибаются и контактируют с покровной мембраной.

Результатом этого сложного процесса является преобразование входного сигнала в электрическую форму, и после этого с помощью слуховых нервов выполняется его передача к слуховым областям мозга, где и формируется окончательная реакция на звуковое воздействие.

## 14.2. Восприятие по амплитуде

**Порог слышимости.** Если волокно основной мембраны при своих колебаниях не достает до ближайшей волосковой клетки, то человек не воспринимает звук. При увеличении амплитуды колебаний волокна, как только оно коснется ближайшей клетки, произойдет раздражение нервного окончания, которое сразу же начнет посылать электрические импульсы в слуховой центр мозга; звук будет услышан.

Для того чтобы в полной тишине звук с частотой 1000 Гц был услышан, амплитуда давления вблизи человеческого уха должна достигать всего лишь  $2,84 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup> (эффективное значение –  $2 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup>), что составляет всего лишь  $2 \cdot 10^{-10}$  атмосферного давления. Интенсивность соответствующей плоской волны в воздухе при этом составит  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Интересно заметить, что амплитуда смещения частиц воздуха при этом меньше десятой доли радиуса молекулы.

Величина случайных флуктуаций силы давления на барабанную перепонку, связанная с тепловым молекулярным движением, всего в 5...10 раз меньше силы давления звука, заметного в полной тишине.

Величина звукового давления, которая едва заметна на слух при отсутствии всяких других мешающих шумов и звуков, называется пороговой величиной звукового давления, или, сокращенно, **порогом слышимости**. Определение порога слышимости предпринимались исследователями неоднократно. Было выяснено, что пороги слышимости, определенные у ряда людей, могут сильно различаться. Эти различия имеют случайный характер для группы людей одинакового возраста, имеющих нормальный здоровый слуховой орган. Порог слышимости может изменяться у одного и того же человека в зависимости от состояния организма в данный момент: возбуждения, утомления и т. п. Поэтому надежные сведения о пороге слышимости можно получить только статистическим путем, измерив его в определенных условиях у большого числа людей.

Такие статистические исследования проводились в США (1938–1939 гг.), в Англии (1956–1957 гг.), СССР (1958 г.). На основании международного соглашения в качестве стандарта принята кривая зависимости порога слышимости от частоты для чистого синусоидального звука, приведенная на рис. 14.4. При этом в качестве испытуемых привлекались лица в возрасте от 18 до 23 лет с заведомо здоровыми органами слуха.

Как видно из рис. 14.4, порог слышимости сильно зависит от частоты. Звуки в области частот от 2000 до 4000 Гц замечаются при звуковом давлении даже меньшем  $2 \cdot 10^{-5}$  Па. В то же время на нижних и верхних звуковых частотах порог слышимости существенно возрастает. Как бы мы ни увеличивали интенсивность звука на частотах выше 20000 Гц, ощущение звука не возникает, то есть звуки с частотой выше 20000 Гц лежат за пределами частот слышимых звуков большинства людей. Точно так же дело обстоит со звуками с частотой ниже 16...20 Гц. Частоты ниже 16 Гц называются инфразвуковыми, а выше 20000 Гц – ультразвуковыми.

**Уровень ощущения.** При плавном увеличении интенсивности звука выше пороговой слуховое ощущение нарастает скачками по мере увеличения числа возбужденных нервных окончаний.

Значения этих скачков зависят от частоты и интенсивности звука. На высоких и средних уровнях порог заметности изменения интенсивности звука составляет 0,05 дБ на частоте 1000 Гц; 0,15 – на 100 Гц и 0,12 – на 8000 Гц. На низких уровнях ощущения эти значения значительно больше: для уровня 30 дБ они соответственно составляют 0,6 на частоте 100 Гц; 0,35 – на 1000 Гц и 0,4 – на 8000 Гц. Следовательно, порог заметности изменения интенсивности на высоких и средних уровнях ощущения составляет 0,2...0,6 дБ, на низких уровнях он доходит до нескольких децибел, а в среднем немного менее 1 дБ.

Увеличение уровня интенсивности, в конце концов, приводит к появлению ощущения боли, наступает болевой порог, который составляет по интенсивности около  $1 \text{ Вт/м}^2$ , тогда как минимальный порог слышимости составляет на частоте 3000 Гц около  $10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ , поэтому динамический диапазон по уров-

ню звука от порога слышимости до болевого порога равен 120 дБ.

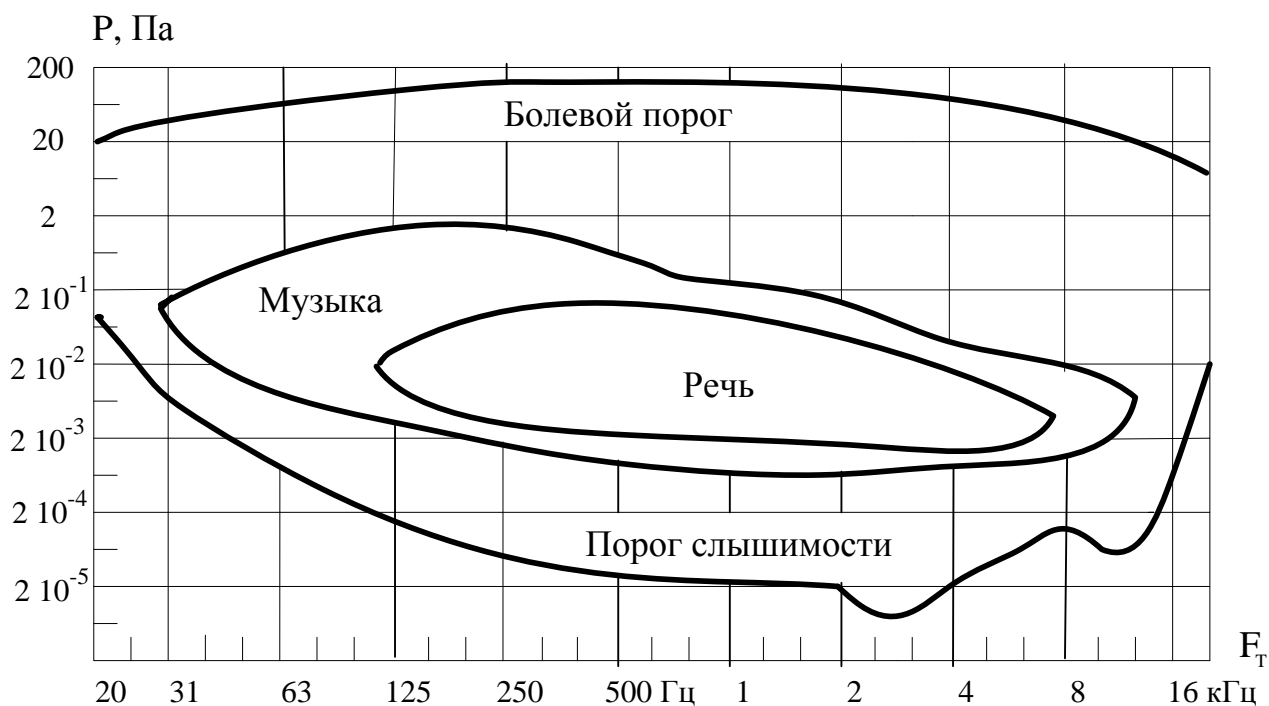


Рис. 14.4. Области слышимости звука

Между болевым порогом и порогом слышимости несколько сотен элементарных скачков ощущения, причем на низких и высоких частотах их значительно меньше, чем на средних. Дискретность восприятия слуха по частоте и амплитуде дает около 22000 элементарных градаций во всей области слухового восприятия, ограниченных снизу порогом слышимости, сверху – болевым порогом, и охватывающей диапазон частот 16 ... 20 000 Гц.

Немецкие ученые Вебер и Фехнер сформулировали следующий закон ощущения звука: одинаковые относительные изменения раздражающей силы вызывают одинаковые приращения слухового ощущения, то есть слуховое ощущение пропорционально логарифму раздражающей силы. Поэтому введенное нами в предыдущей главе понятие уровня звукового давления и уровня интенсивности звука удобно не только с точки зрения расчетов, но и соответствует механизму слухового восприятия.

**Уровень громкости.** Звуковое давление и интенсивность тонального звука, измеренные приборами, не дают представления об ощущении громкости. Между тем человек может довольно точно установить равенство громкостей двух звуков любого частотного состава. Это свойство слуха было использовано для введения понятия уровня громкости, позволяющего определить громкость одного звука относительно другого, принятого в качестве опорного.

За эталон уровня громкости принимают уровень интенсивности чистого тона с частотой 1000 Гц. Единица уровня громкости называется **фоном**. Уровень громкости в фонах на частоте 1000 Гц равен уровню его интенсивности в децибелах. Чтобы определить уровень громкости какого-либо звука, достаточ-



но взять тон с частотой 1000 Гц и изменять его уровень до тех пор, пока его громкость не будет одинаковой с громкостью определяемого звука. Уровень интенсивности эталонного тона при этом численно будет равен уровню громкости определяемого звука.

Исследованиями на больших группах лиц были найдены кривые зависимости интенсивности от частоты для равногромких чистых тонов. Это так называемые **кривые равной громкости** (рис. 14.5).

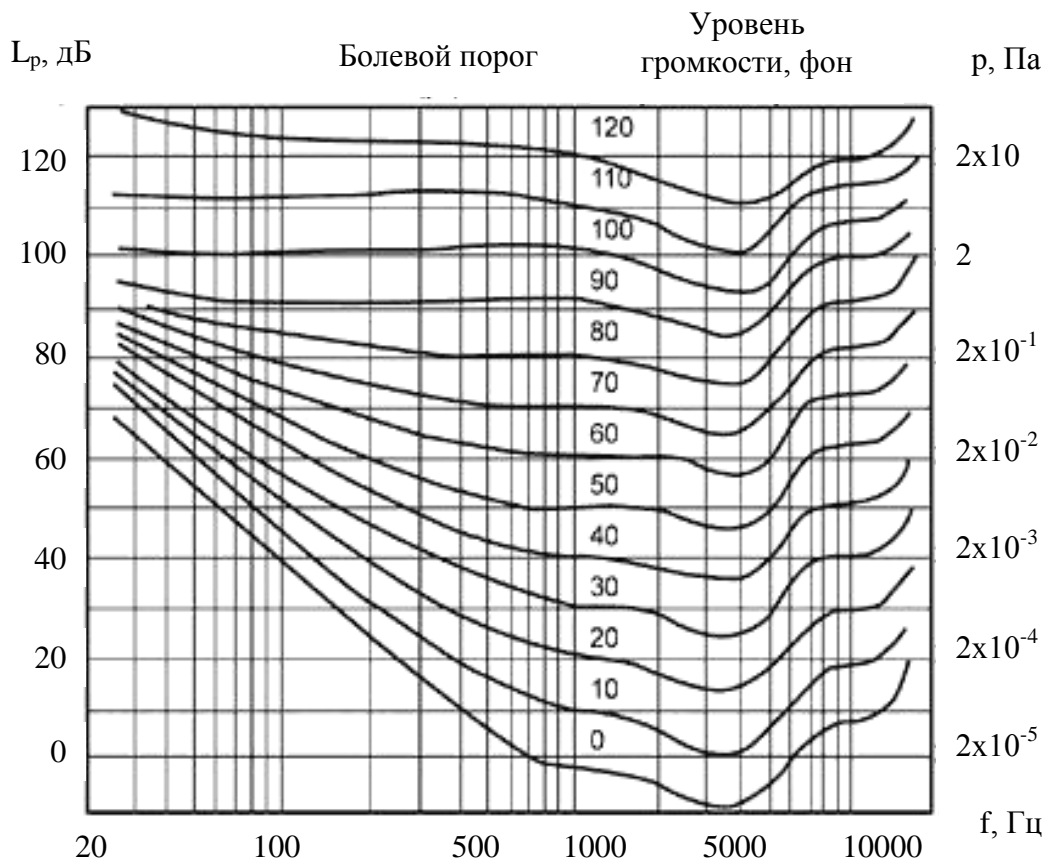


Рис. 14.5. Кривые равной громкости

Как видно из рисунка, по мере повышения уровня громкости кривые равной громкости немного спрямляются. Например, для нулевого уровня громкости (на пороге слышимости) уровень интенсивности тона с частотой 100 Гц равен 38, а тона с частотой 500 Гц – 7 дБ. Для получения уровня громкости, равного 80 фон (см. рис. 14.5, кривая 80), уровень интенсивности тех же тонов должен быть взят равным соответственно 83 и 80 дБ, то есть оба тона будут практически одинаково громки, если они будут иметь одинаковые уровни интенсивности. Следовательно, на высоких уровнях громкости слух имеет частотную характеристику чувствительности, близкую к линейной, поэтому физическая и субъективная характеристики будут близки друг к другу.

Чтобы получить представление об уровне громкости звуков, с которыми мы постоянно сталкиваемся в жизни, приведем ряд примеров. Громкий разговор на расстоянии 1 метр – 65...70 фон, уровень громкости в поезде метро –

85...90 фон, обычный разговор – 55...60 фон, уровень громкости в читальном зале библиотеки – 25...30 фон.

Из кривых равного уровня громкости следует, что сохранение естественного звучания, которое соответствует условиям записи, возможно только при условии воспроизведения записи с тем же уровнем. В противном случае нарушаются соотношения между частотными составляющими. При больших уровнях воспроизведения происходит субъективное усиление НЧ-составляющих. При малых уровнях возникает их субъективное подавление. Допустим, что слушание происходит на уровне 80 фон, при этом регулятором тембра вы установили оптимальное для себя звучание. Теперь уменьшим усиление на 30 дБ, тем самым уровень интенсивности звучания снизится на 30 дБ. Вследствие этого частотные составляющие, находящиеся около частоты 1000 Гц, будут иметь уровень громкости 50 фон, а составляющие, находящиеся около частоты 100 Гц, снизятся по уровню громкости до значения, равного 22 фон, то есть они будут звучать менее громко, чем средние частоты. Чтобы звучание низких частот осталось таким же, как и звучание средних, необходимо скорректировать частотную характеристику тракта звукопередачи путем подъема его чувствительности на низких частотах (на 17...20 дБ на частоте 100 Гц). В хороших усилителях при уменьшении коэффициента усиления автоматически корректируется величина усиления на низких частотах.

Свойство слуха по-разному оценивать уровень громкости звука в зависимости от его частоты и уровня интенсивности используется в измерительных приборах. Например, в шумомерах при оценке шума в производственных помещениях используют три взвешивающих фильтра, которые ослабляют низкие частоты, как это делает слуховая система. Эти фильтры имеют разные амплитудно-частотные характеристики: А, В и С (рис. 14.6).

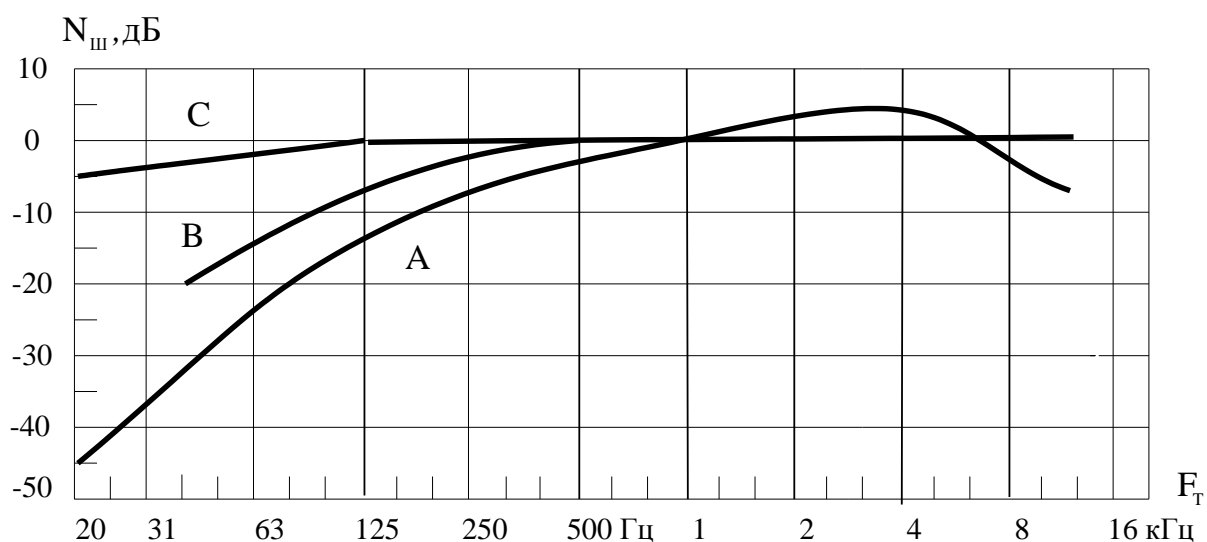


Рис. 14.6. Взвешенные амплитудно-частотные характеристики фильтров для измерения уровня громкости шума

С помощью этих кривых мы как бы оцениваем уровень громкости при различных уровнях звука:

- А – соответствует изофоне 30 дБ – дБА,
- В – соответствует изофоне 70 дБ – дБВ,
- С – соответствует изофоне 100 дБ (очень высокий уровень) – дБС.

**Громкость.** Уровень громкости, хотя и характеризует субъективное восприятие звука по уровню, не соответствует действительному субъективному масштабу восприятия. Например, увеличение уровня громкости на 10 фон в диапазоне уровней выше 40 фон соответствует субъективному ощущению увеличения громкости в два раза. Фон как единица громкости неудобен ещё тем, что, зная уровень громкости для двух, например, синусоидальных сигналов разной частоты, нельзя простым их сложением найти громкость двухтонального сигнала. В связи с этим введена величина **громкости S**, измеряемая в сонах. За звук единичной громкости ( $S = 1$  сон) принят тон 1000 Гц, имеющий уровень звукового давления, равный 40 дБ.

На рис. 14.7 приведена кривая зависимости громкости чистых тонов от уровня громкости, полученная на основании сравнения результатов ряда групповых экспериментов.

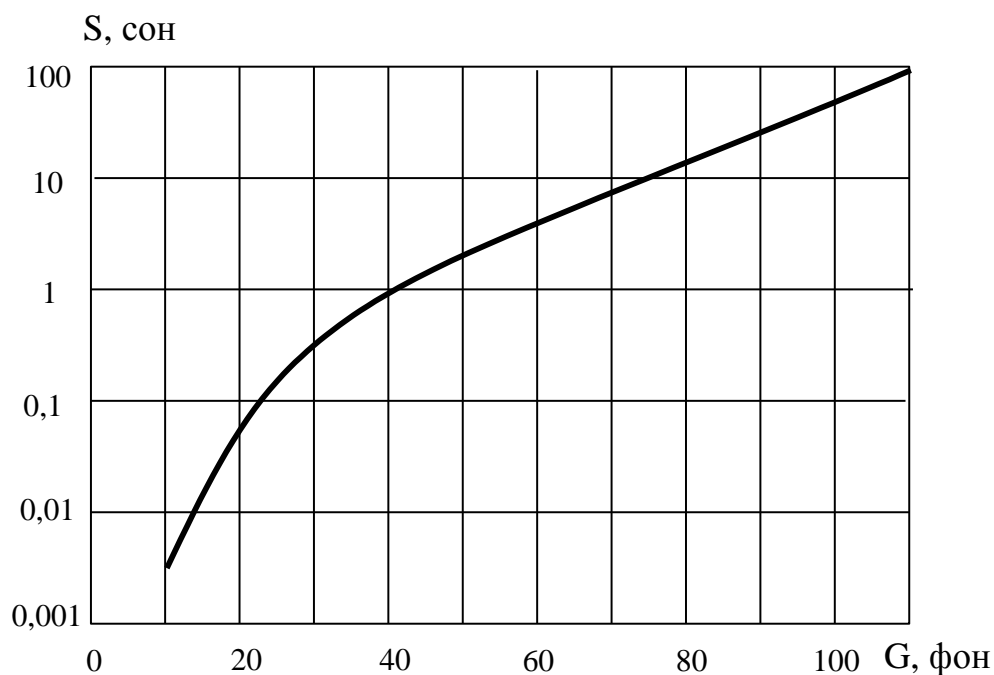


Рис. 14.7. Зависимость громкости от уровня громкости

Приближенная эмпирическая формула, связывающая уровень громкости с громкостью, имеет вид:

$$S = 2^{(L(\text{фон})-40)/10}, \text{ сон или } \lg S = \frac{L - 40}{33}.$$

Эта формула даёт хорошее приближение только в диапазоне  $L=40\dots120$  дБ. Для меньших значений уровней громкости можно воспользоваться формулой Стивенса для частоты 1 кГц.

$$S_{1000\text{Гц}} = 42P^{0,6}.$$

Чтобы представить громкость звуков, с которыми мы постоянно сталкиваемся в жизни, в таблице 14.1 приведены уровни громкости и громкость для наиболее типовых звучаний.

Таблица 14.1. Средний уровень громкости и громкость наиболее часто встречающихся звуков и шумов

Источник шума и место его измерения	Уровень громкости, фон	Громкость, сон
<b>Шумы вне помещений</b>		
Авиационный мотор на расстоянии 5 м	116...120	346...556
Громкий автомобильный сигнал на расстоянии 8 м	95...100	57...88
Электропоезд на эстакаде на расстоянии 6 м	90	38
Шум в поезде метро во время движения	85...90	25...38
Автобус (полный ход) на расстоянии 5 м	85...88	25...32,2
Трамвай на расстоянии 10...20 м	80...85	17,1...25
Грузовой автомобиль в городе на расстоянии 5...20 м	60...75	4,35...11,4
Легковой автомобиль в городе на расстоянии 5...20 м	50...65	2,2...5,87
Свисток милиционера на расстоянии 20 м	70	7,95
Шумная улица без трамвайного движения	60...75	4,35...11,4
Обычный средний шум на улице	55...60	3,08...4,35
То же, в момент затишья днем	40	1,0
Тихая улица (без движения транспорта)	30...35	0,36...0,62
Тихий сад	20	0,097
<b>Производственные шумы</b>		
Удары молота по стали, клепальная машина на расстоянии 2...4 м	110...113	215...288
Котельные цехи	100...103	88...116
Общий шум в ткацком цехе	96...100	62...88
Деревообрабатывающая фабрика	96...98	62...74
<b>Театры, школы, больницы</b>		
Симфонический оркестр	80...100	17,1...88
Аплодисменты	60...75	4,4...11,4

Источник шума и место его измерения	Уровень громкости, фон	Громкость, сон
Громкая музыка по радио	80	17,1
Радиоцентр (студия во время исполнения)	40...50	1...2,2
Актовые залы в школах во время перерыва	55...62	3,1...4,7
Библиотеки	25...30	0,2...0,36
Больницы	20...30	0,1...0,36
Шумное собрание	65...70	5,87...7,95
Громкий разговор на расстоянии 1 м	65...70	5,87...7,95
Обычный на расстоянии 1 м	55...60	3,08...4,35
<b>Жилые помещения</b>		
Разговор трех человек в обычной комнате	45...50	1,5...2,2
Шёпот средней громкости на расстоянии 1 м	20	0,1
<b>Степени музыкальной громкости</b>		
Форте-фортиссимо	100	88
Фортиссимо	90	38
Форте	80	17,1
Меццо-форте	70	7,95
Меццо-пиано	60	4,35
Пиано	50	2,2
Пианиссимо	40	1,0
Пиано-пианиссимо	30	0,36

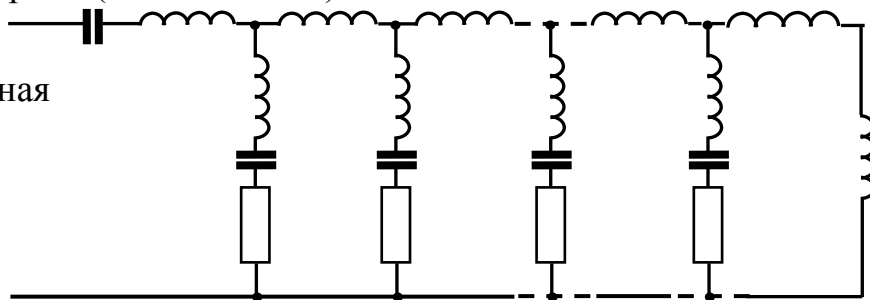
### 14.3. Восприятие по частоте

Как было описано ранее, при воздействии звуковых колебаниях стремя приводит в движение мембрану овального окна, которая вызывает движение лимфы. Лимфа колеблется касательно к поверхности основной мембраны, поперек её волокон. На колебания лимфы отзываются (резонируют) в зависимости от частоты колебаний только вполне определенные волокна. Около геликотремы расположены наиболее длинные волокна, резонирующие на низких частотах, а в основании улитки расположены наиболее короткие волокна, которые резонируют на высоких частотах. Сложный звук, состоящий из нескольких составляющих, возбуждает несколько групп волокон (в соответствии с частотами составляющих). Таким образом, основная мембрана служит частотным анализатором. Резонансная частота каждого из волокон определяется не только

параметрами волокна как натянутой струны, но и массой лимфы, соколеблющейся с волокном. Эта масса определяется расстоянием резонирующего волокна от овального окна. Поэтому на низких частотах в колебаниях участвует большая масса лимфы, а на высоких – меньшая. На рис. 14.8 приведена эквивалентная электрическая модель слухового анализатора.

Как видно из рис.14.8, эквивалентная схема улитки представляет собой полосовой фильтр, при этом границы воспринимаемого слухом частотного диапазона довольно широки (16...20000 Гц).

Рис. 14.8. Эквивалентная электрическая схема улитки



Представляет значительный интерес частотная избирательность слухового анализатора, так как от этого параметра зависят требования к электроакустической аппаратуре. Для количественной оценки избирательных свойств слуха удобно воспользоваться понятием высоты звука. Возможность определения высоты звука является важнейшим свойством слуховой системы. Это свойство имеет огромное значение для идентификации и классификации звуков в окружающем звуковом пространстве, эта же способность слуховой системы лежит в основе восприятия интонационного аспекта музыки, то есть мелодии и гармонии.

В соответствии с международным стандартом ANSI-994 «**Высота (Pitch)** – это атрибут слухового ощущения в терминах, в которых звуки можно расположить по шкале от низких к высоким. Высота зависит главным образом от частоты звукового стимула, но она также зависит от звукового давления и от формы волны». Таким образом, высота – это линейная классификация звуковых сигналов, в отличие от громкости, о которой можно только сказать больше или меньше, то есть это – относительная классификация.

Прежде всего, необходимо отметить, что слуховая система способна различать высоту звука только у периодических сигналов, поэтому определяющим параметром для различения высоты тона является частота сигнала. Если это сложный звук, то высоту слуховая система может присвоить по его основному тону, но только если он имеет периодическую структуру, то есть его спектр состоит из гармоник (обертонов, частоты которых находятся в целочисленных отношениях). Если это условие не выполняется, то определить высоту тона слуховая система не может. Например, звуки таких инструментов как тарелки, гонги и др. не имеют определенной высоты.

Изучение связи частоты звука и воспринимаемой высоты предпринималось еще Пифагором, а также многими известными физиками: Галилеем, Гельмгольцем, Омом и др. В настоящее время на основе тщательных экспери-

ментов, в процессе которых слушателю предъявлялись два звука разной частоты с просьбой расположить их по высоте, установлена зависимость высоты тона от частоты сигнала, показанная на рис. 14.9.

Высота тона измеряется в специальных единицах – мелах. Один мел равен ощущаемой высоте звука частотой 1000 Гц при уровне 40 дБ. Как видно из рисунка, эта связь не линейна – при увеличении частоты, например, в три раза (от 1000 до 3000 Гц), высота повышается только в два раза (от 1000 до 2000 мел). Нелинейная зависимость особенно выражена на низких и высоких частотах. В средней части диапазона частот изменение высоты тона в мелах пропорционально логарифму частоты.

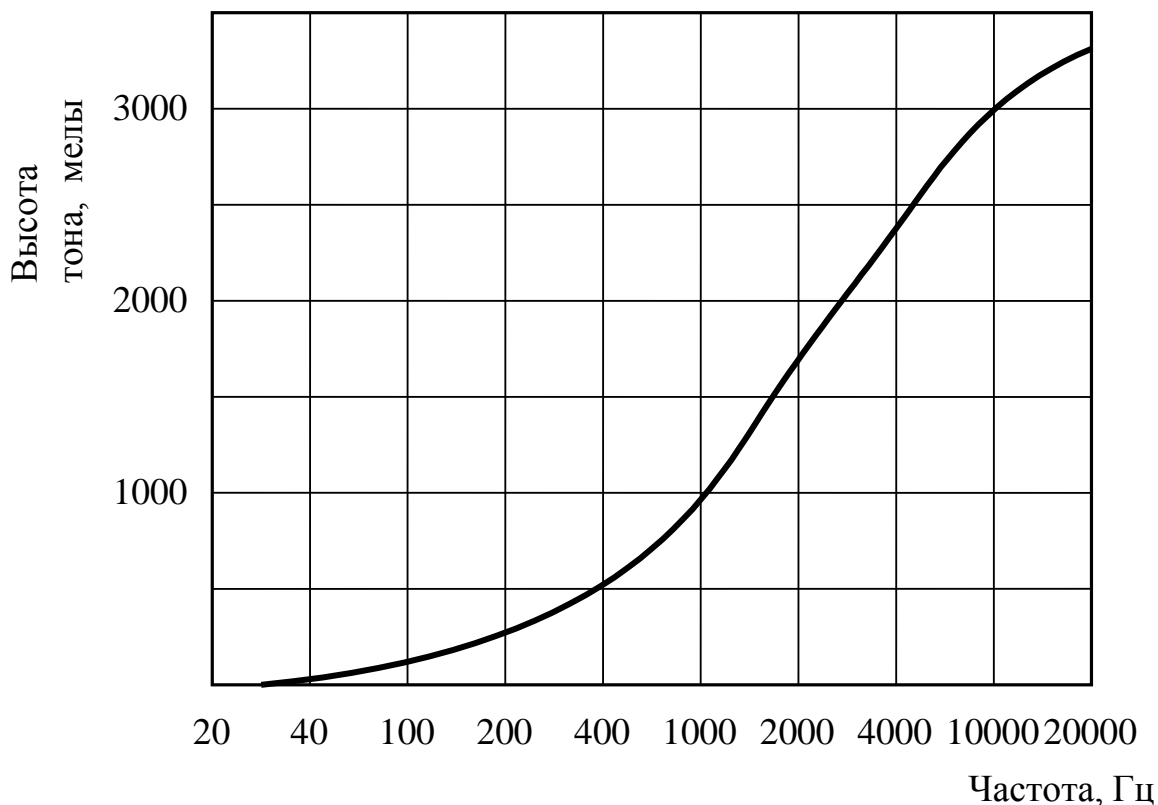


Рис. 14.9. Связь частоты и высоты тона

Многочисленные исследования были посвящены определению порога различимости по высоте двух разных тонов, отличающихся по частоте. Ухо очень чувствительно к небольшим изменениям частоты и может различать синусоидальные тоны, отличающиеся по частоте всего на 0,2%, на частотах от 500 до 4000 Гц. На более низких, а также на более высоких частотах слух менее чувствителен к изменению частоты. В диапазоне ниже частоты 500 Гц можно выделить примерно 140 градаций высоты тона, в диапазоне от 500 Гц до 16 кГц – примерно 480 градаций высоты тона. Заметим, что в европейской музыке инструменты используют примерно 100 градаций высоты. Так как возможности слуховой системы гораздо больше – 620 градаций высоты, то это является основой для развития современной музыки, особенно в связи с появлением компьютерных технологий.

На слух расстояния по высоте тона называются интервалами или музыкальными интервалами. Простейшие для слуха интервалы следующие:

- унисон – 1:1 (два звука одинаковой частоты);
- октава – 1:2;
- квинта – 2:3;
- кварта – 3:4;
- большая терция – 4:5;
- малая терция – 5:6 или 6:7;
- большая секунда (или тон) – 7:8 или 8:9;
- малая секунда (или полутон) – 15:16.

Музыкальные свойства интервалов составляют основу, на которой строится теория музыки. В технике используются понятия октавы 1:2, полуоктавы  $1:\sqrt{2}$ , третьоктавы  $1:\sqrt[3]{2}$ .

Ощущение высоты чистого тона связано не только с частотой, но и с интенсивностью звука и его длительностью. Как показали различные исследования, при повышении интенсивности звука громкие низкие звуки кажутся еще ниже, а высокие звуки с повышением громкости кажутся слегка выше (только для средних частот 1...2 кГц влияние интенсивности незаметно). Следует отметить, что эта зависимость весьма незначительна, а для сложных музыкальных звуков почти незаметна. И в этом музыка повезло, так как иначе при переходе от самых слабых к самым громким звукам мелодия и гармония были бы нарушены.

Ощущение высоты тона зависит и от его длительности: короткие звуки воспринимаются как сухой щелчок, но при удлинении звука щелчок начинает давать ощущение высоты тона. Время, требуемое для перехода от щелчка к тону, зависит от частоты: для низких частот для распознавания высоты тона длительность импульса должна быть примерно 60 мс; для частот от 1 до 2 кГц – 15 мс. Для сложных звуков это время увеличивается, для звуков речи оно может составлять 20...30 мс.

Заметим, что приведенные данные о высокой частотной избирательности слуха получены для случая восприятия чистых тонов. Реально чистые тоны встречаются крайне редко. Поэтому при воздействии сложных звуков человек определяет во всём диапазоне частот не более 250 градаций частоты, причём число этих градаций сокращается с уменьшением интенсивности звука и в среднем составляет около 150. Таким образом, соседние градации в среднем отличаются друг от друга по частоте не менее чем на 4%. Поэтому фильмы, снятые для кино со скоростью 24 кадров в секунду, можно демонстрировать на телевидении со скоростью 25 кадров в секунду и наоборот. При этом самые лучшие музыканты с абсолютным слухом не замечают разницы в звучании, так как расхождение в частотах колебаний не превосходит 4%. При расхождении на два кадра в секунду эту разницу уже можно обнаружить.

Большая точность слуха по частоте предъявляет довольно жёсткие требования к точности скорости и стабильности вращения дисков с записью звука.



#### 14.4. Критические полосы слуха

Каждой точке вдоль основной мембраны можно поставить в соответствие так называемую характеристическую частоту – частоту звука, который вызывает максимальный отклик в этой точке мембраны. В частотной области до 500 Гц (рис. 14.10) расстояние от вершины до точки с определенной характеристической частотой примерно пропорционально частоте, при частотах выше 500 Гц это расстояние пропорционально логарифму характеристической частоты. Вибрации основной мембраны в ответ на некоторый тон не могут быть локализованы в точке, то есть бесконечно малой области мембраны. Это неудивительно, мембрана – довольно эластичная пленка, но нельзя заставить колебаться одну точку этой пленки, сохраняя неподвижными остальные. Чистый тон возбуждает довольно широкую область основной мембраны, а выбранная точка откликается на близкие частоты.

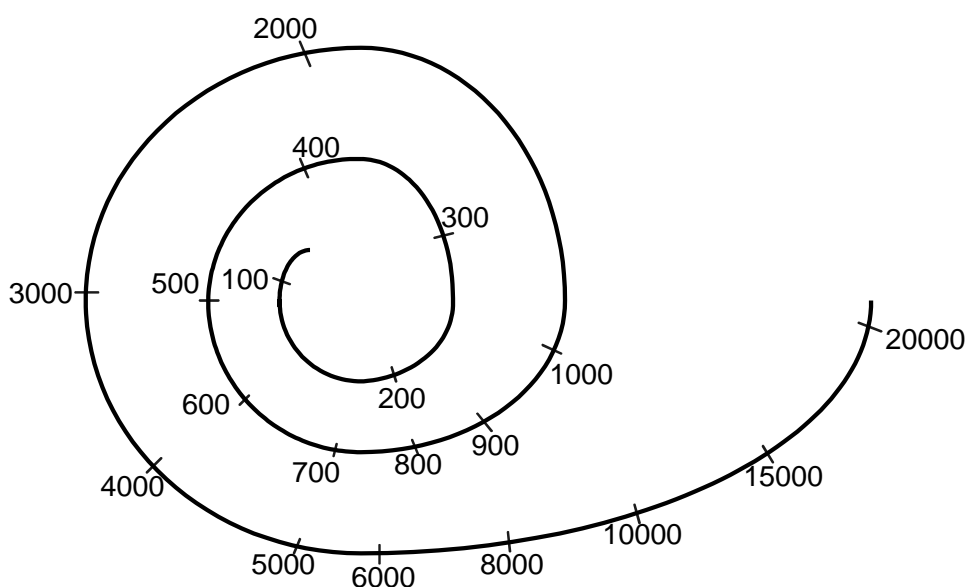


Рис. 14.10. Распределение критических частот по длине мембраны улитки

Таким образом, каждой точке основной мембраны можно поставить в соответствие полосовой фильтр с центральной частотой, равной характеристической. На рис. 14.11 показаны характеристики частотного отклика точек мембраны. Жирная линия – частотная характеристика фильтра с центральной частотой в 1 кГц, описывающая возбуждение точки мембраны с характеристической частотой, равной 1 кГц. Видно, что фильтр откликается на все частоты ниже резонансной (хотя и с малым уровнем, составляющим около -60 дБ по отношению к резонансной частоте). Правый склон резонансной кривой очень крутой, спектральные составляющие с частотами, превышающими резонансную, значительно подавляются. Все точки мембраны имеют подобную форму резонансной кривой.

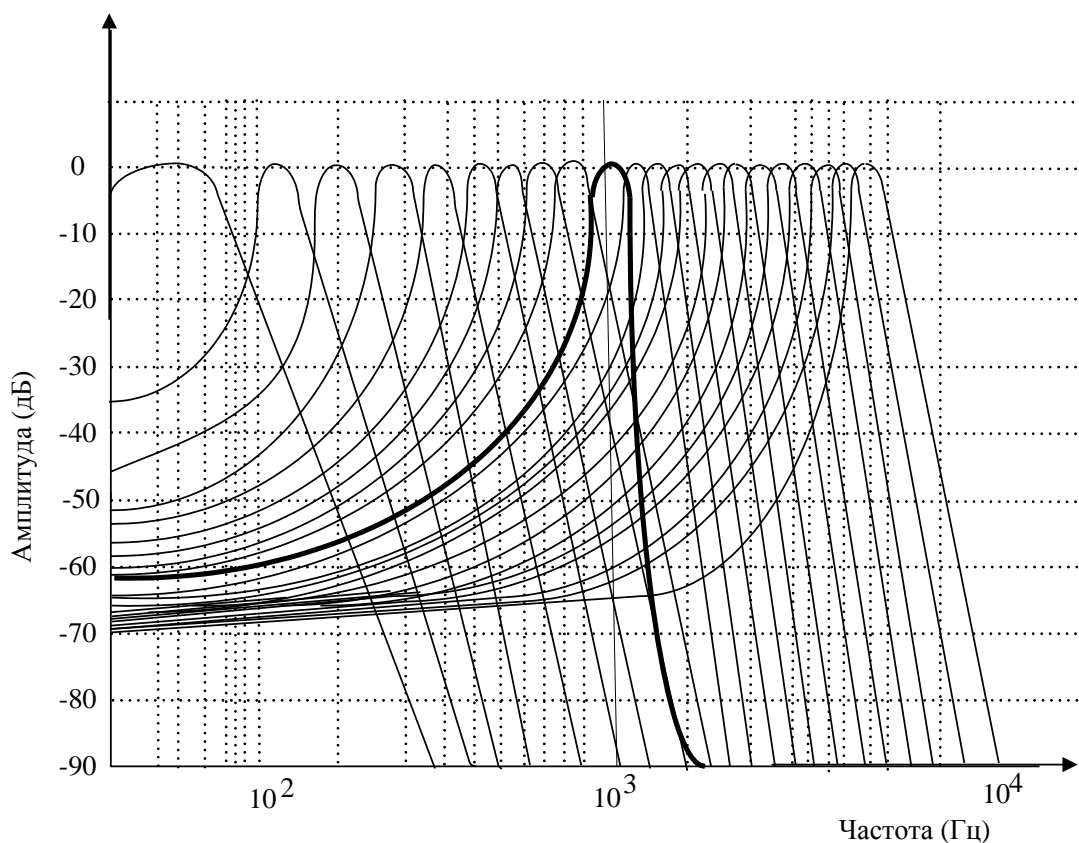


Рис. 14.11. Частотный отклик точек основной мембраны

Полосу слухового фильтра, представляющего эквивалентное описание возбуждения точки мембраны, называют критической полосой или частотной группой. Зависимость ширины критической полосы от частоты показана на рис. 14.12.

В практических приложениях ухо моделируется конечным набором фильтров с неперекрывающимися полосами, равными критическим на центральных частотах фильтров. Верхняя граница полосы пропускания одного фильтра равна нижней границе полосы пропускания следующего. Таких фильтров, или частотных групп, оказывается всего 25 в диапазоне слышимых звуков. Интересно, что критической полосе соответствует смещение примерно на 1,5 мм вдоль основной мембраны.

В пределах частотных групп слух интегрирует возбуждение по частоте и не различает тонкой структуры возбуждения. На этом основании при субполосном кодировании звука в пределах каждой частотной группы достаточно передавать лишь одну максимальную составляющую спектра. По этой же причине слух реагирует не на общую мощность шума, а на мощность шума в критических полосах. Таким образом, при воздействии широкополосного шума слух как бы превращает сплошной спектр в дискретный. Такой спектр состоит из конечного числа составляющих по числу критических полос слухового аппарата.

Если ширина спектра узкополосного шума меньше ширины критической полосы слуха, то уровень громкости в этой полосе определяется лишь общей

энергией шума и совершенно не зависит от характера распределения интенсивности в полосе. Она может быть распределена равномерно или сосредоточена в части полосы или быть в виде одного тона.

Основываясь на результатах измерения критических полос как функции частоты, можно построить шкалу субъективной частоты, или высоты тона, на которой ширина всех критических полос принята равной единице субъективной частоты. Эта единица называется «барк». Следовательно, расстояние по оси частот, равное критической полосе, всегда составляет один барк. Шкала, связывающая высоту тона в барках с частотой в герцах, показана на рис. 14.13. В настоящее время в психоакустических моделях слуха вместо частотных шкал используются шкалы высоты тона звука в барках.

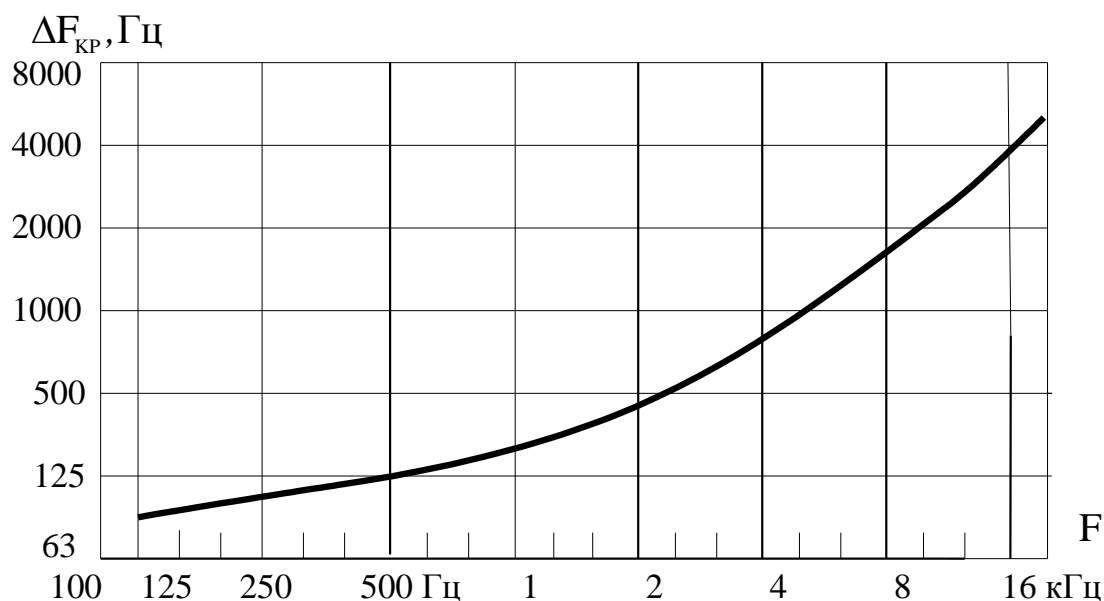


Рис. 14.12. Зависимость ширины критической полосы слуха от частоты

Описанный механизм преобразования колебаний во внутреннем ухе позволяет сформулировать положение о частотно-избирательном характере отклика слуховой системы на звук. С каждой точкой основной мембраны ассоциируется характеристическая частота. Поток нервных импульсов, передаваемых в головной мозг от этой точки мембраны, соответствует отклику слухового фильтра, центральная частота которого равна характеристической частоте, а полоса пропускания – критической полосе. Таким образом, основная мембрана внутреннего уха действует как некий биомеханический спектроанализатор. Это дает слуховой системе возможность, например, «слушать» колебания отдельной точки мембраны, исключая все остальные, то есть отделять звуки на интересующей частоте от остальных, или, наоборот, игнорировать звуки определенной частоты. Частотная селекция в этом анализаторе определяет способности слуховой системы человека различать разные звуки.

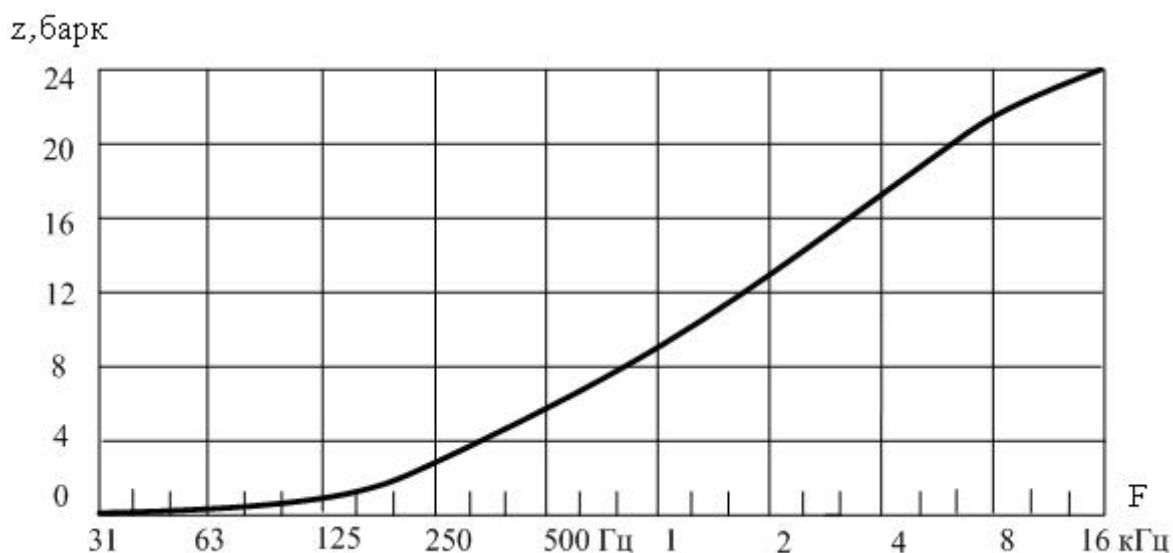


Рис. 14.13. Зависимость высоты тона в барках от частоты в герцах

### 14.5. Эффект маскировки

Известно, что в тишине можно слышать писк комара и жужжание мухи, тиканье часов и т. п., а в шуме и при помехах можно не услышать даже громкий звонок, то есть при наличии шума и помех порог слышимости для слабого звука увеличивается. Это повышение порога слышимости называют **маскировкой**. Количественно это повышение порога слышимости полезного сигнала в присутствии мешающего выражают уровнем маскировки. Степень маскировки есть разность в децибелах между уровнем порога слышимости данного тона в присутствии маскирующего тона и его уровнем порога слышимости в тишине.

Эффект маскировки может быть объяснен следующим образом. Как было отмечено выше, даже чистый тон возбуждает довольно широкую область основной мембраны. Предположим, что появляется второй звук – чистый тон с меньшей амплитудой и частотой, немного отличающейся от частоты первого тона. Второй тон должен возбудить колебания той области мембраны, которая уже колеблется под действием первого тона. Если бы второй тон был один, то он бы возбудил мембрану в соответствующей области и был бы слышен. Но мембрана в этой области уже колеблется, поэтому второй тон может оказаться неслышимым на фоне первого тона.

Чтобы второй тон стал слышимым, его уровень должен сравниться или стать больше уровня первого тона. Но тогда уже первый тон может оказаться неслышимым на фоне более интенсивного второго тона. Этот эффект называется спектральной, или частотной, маскировкой. Второй тон может также оказаться слышимым, если при том же малом уровне его частота изменится настолько, что частотный интервал между тонами станет больше критической полосы.

Итак, два звука с близкими частотами, находящимися на расстоянии, меньшем ширины критической полосы, могут маскировать друг друга, по-

сколькx они возбуждают практически одну область основной мембраны и взаимодействуют нелинейным образом. Обнаружению маскируемого тона не может помочь тренировка или стремление услышать. Процессы высшей нервной деятельности не могут исключить маскировку, поскольку информация о маскируемом тоне не образуется во внутреннем ухе и не направляется по слуховому нерву в головной мозг.

Влияние уровня узкополосного шума на маскировку тона показано на рис. 14.14. Ширина полосы маскирующего шума составляет 160 Гц, а его уровень соответственно равен 100, 80, 60, 40 и 20 дБ. Все пять зависимостей имеют чёткий максимум на средней частоте полосы шума 1000 Гц, равной частоте тона. Все изображённые на рис. 14.14 зависимости имеют крутой спад к нижним частотам и пологий в сторону, обращённую к высшим частотам.

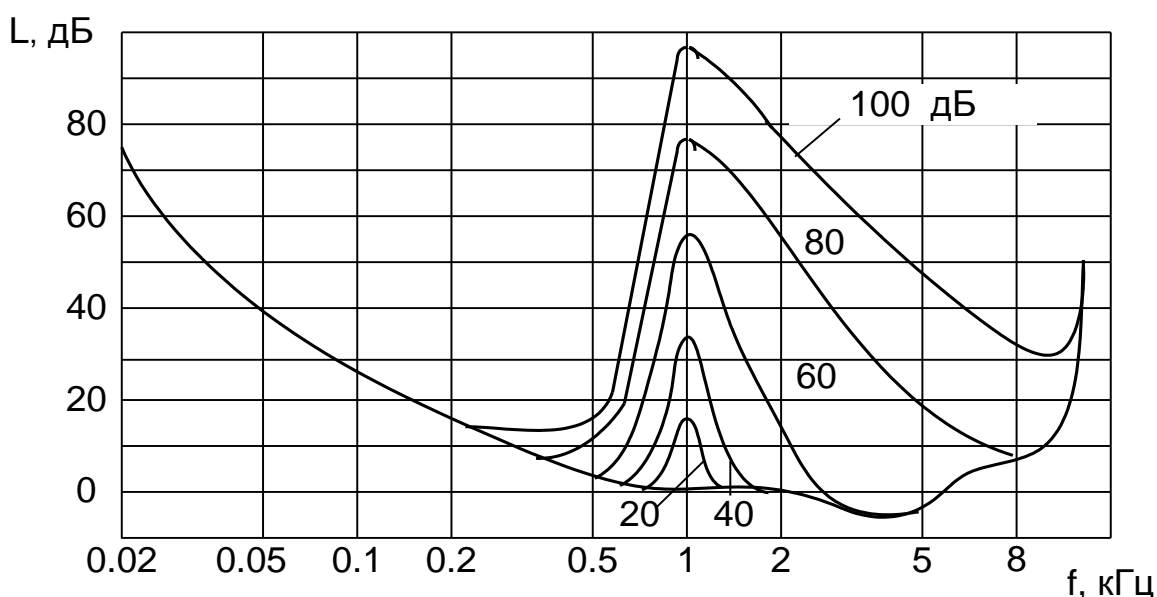


Рис. 14.14. Зависимости порога слышимости тона при его маскировке шумом с разными значениями уровней

Экспериментальным путём установлено, что низкочастотные тоны сильнее маскируют высокочастотные. Объясняется это тем, что волокна улитки, резонирующие на низких частотах, находятся далеко от овального окна (см. рис. 14.2), поэтому лимфа, колеблющаяся в каналах улитки в той или иной степени, возбуждает все волокна, находящиеся ближе к овальному окну, в том числе и высокочастотные волокна. На высоких частотах резонирующие волокна находятся близко от овального окна, и колебание лимфы прекращается, не доходя до более удаленных низкочастотных волокон.

Заметим, что если в какой-либо частотной группе мощность полезного сигнала достигнет определенного значения от приходящейся на эту полосу мощности маскирующего шума, то полезный сигнал будет услышан. Именно этим объясняется тот факт, что если помеха широкополосная, то даже при большом превышении общего ее уровня над уровнем принимаемого тона последний

может быть услышан, поскольку уровень помех, находящихся в пределах критической полосы (в которой находится и принимаемый тон), может быть довольно малым. Для равномерной помехи в диапазоне частот 100...5000 Гц это превышение достигает 15 дБ.

До сих пор мы говорили о маскировке в предположении, что маскируемый и маскирующий звуки присутствуют одновременно. Однако из-за явления адаптации слуха возникают ситуации, когда достаточно громкие звуки маскируют, делают практически неслышимыми звуки, следующие за ними. В некоторых случаях маскируются предшествующие звуки.

Такой вид маскировки, когда звуки не перекрываются по времени, называется **временной маскировкой**. Она разделяется на **постмаскировку** и **предмаскировку** (рис. 14.15). Постмаскировка проявляется на интервале времени 100...200 мс после окончания маскирующего звука.

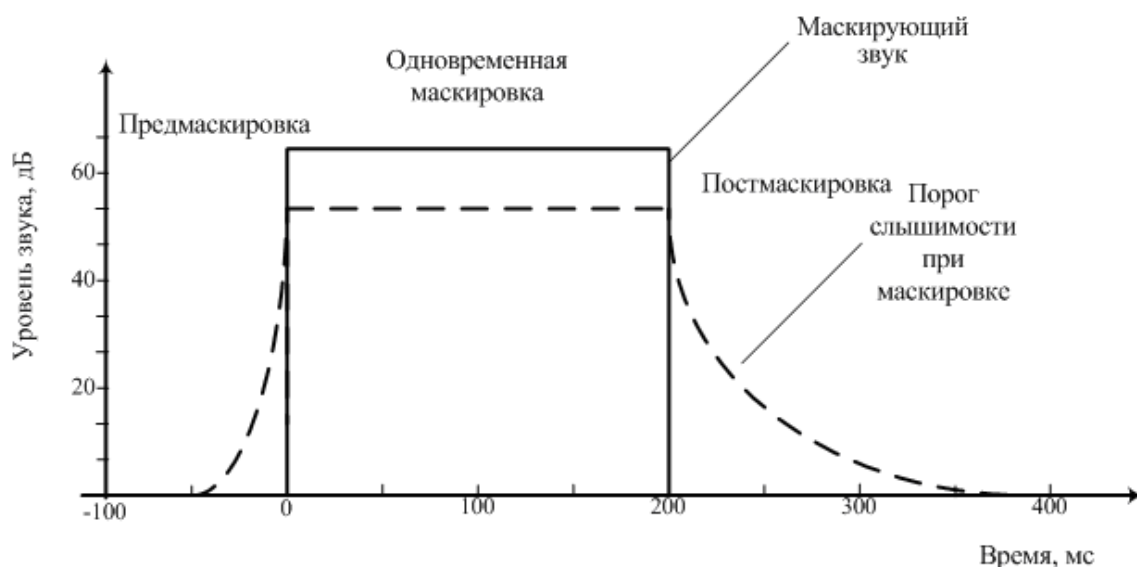


Рис. 14.15. Постмаскировка и предмаскировка

Постмаскировка может быть объяснена следующим образом. Для того чтобы вибрации основной мембраны (как механической резонансной системы) при возбуждении достигли стационарного уровня, требуется время. Вибрации основной мембраны не исчезают мгновенно после прекращения звука, они затухают постепенно. В результате эффект маскировки проявляется не только при одновременном существовании двух звуков, но и тогда, когда маскирующий сигнал большой интенсивности исчезает до появления слабого маскируемого сигнала.

Если с постмаскировкой все понятно, то явление предмаскировки на первый взгляд кажется необъяснимым, так как вроде бы противоречит фундаментальному закону физики — принципу причинности. Действительно, как слуховая система может предвидеть появление звука?

Объяснение заключается в том, что слуховой системе требуется некоторое время для того, чтобы из звука сформировать ощущение. Чем сильнее звук, тем скорее слуховая система реагирует на него. Формирование ощущения сла-

бого сигнала требует большего времени, которое затрачивается на обработку в центральной нервной системе. Сильный маскирующий звук уже слышен к моменту формирования ощущения слабого испытательного звука, что и объясняет эффект предмаскировки.

На рис. 14.15 показано, что увеличение порога слышимости испытательного импульсного звука, предшествующего маскирующему звуковому импульсу, происходит в сравнительно небольшом интервале, длительность которого составляет 20...50 мс.

Основные особенности временной маскировки:

- послемаскировка более эффективна, чем предмаскировка;
- более высокий уровень маскировки наблюдается при поступлении маскирующего звука через короткий временной интервал вслед за маскируемым звуком;
- маскировка выражена сильнее, когда маскирующий и маскируемый звуки подаются в одно ухо;
- уровень маскировки обычно резко падает при увеличении временного интервала свыше 15 мс;
- увеличение уровня интенсивности маскирующего звука на 10 дБ вызывает сдвиг порога маскировки на 3 дБ;
- длительность маскирующего звука влияет на степень предмаскировки, но не на постмаскировку;
- временная маскировка зависит от частотного соотношения маскирующего и маскируемого звуков, маскировка проявляется сильнее, когда частоты этих звуков близки.

Длительность предмаскировки в очень сильной степени зависит от особенностей конкретных людей и по этой причине механизм временной предмаскировки при цифровом кодировании звука пока не используются. Однако звукорежиссерам эти механизмы надо знать.

## 14.6. Временные характеристики слуха

Слуховой аппарат инерционен: при исчезновении звука слуховое ощущение исчезает не сразу, а постепенно, уменьшаясь до нуля.

Время, в течение которого ощущение по уровню громкости уменьшается на 9...10 фон, называется **постоянной времени слуха**. В среднем она равна 30...50 мс.

Если к слушателю приходят два коротких звуковых импульса, одинаковые по составу и уровню, но один из них запаздывает, то они будут восприниматься слитно, когда запаздывание не превышает 50 мс. При больших интервалах запаздывания оба импульса воспринимаются отдельно. Это явление известно как **эхо**. Эхо возникает, когда разность хода прямого и отраженного звуков более 18 м.

Если уровень запаздывающего звука намного меньше уровня первого, то он не будет принят отдельно, даже если время запаздывания больше 50 мс. Это

обусловлено эффектом маскировки – ощущение от первого звука маскирует второй.

К временным характеристикам слуха относится и рассмотренное нами явление постмаскировки: слабые звуки, идущие сразу после громких звуков, оказываются полностью или частично замаскированными из-за последствия предыдущего звука. К временным характеристикам звука относится и время установления высоты тона звука. Чтобы слух мог приближенно оценить высоту звука необходимо два-три периода колебаний.

## 14.7. Бинауральный слух

**Бинауральным слухом** называется его способность определять направление прихода звуковой волны, то есть локализовать положение источника звука в пространстве. Эта способность достигается благодаря пространственной несовместности двух ушей в сочетании с экранирующим влиянием головы. Это приводит к тому, что всегда имеет место неидентичность возбуждения правого и левого уха. Этот факт обеспечивает человеку возможность воспринимать пространственный звуковой мир и оценивать перемещение источников звука в пространстве.

К числу основных свойств бинаурального слуха можно отнести:

- пространственную локализацию;
- эффект предшествования;
- бинауральное суммирование громкости;
- бинауральную демаскировку.

Такие возможности слуха достигаются благодаря трем факторам:

1. Временным, возникающим из-за несовпадения моментов воздействия одинаковых фаз звука на левое и правое ухо.

2. Амплитудным, возникающим из-за неодинаковой величины звуковых давлений на левое и правое ухо вследствие дифракции звуковой волны вокруг головы, например, образования акустической тени со стороны, обратной источнику звука.

3. Спектральным, возникающим из-за разницы в спектральном составе звуков, воспринимаемых левым и правым ухом, вследствие не одинакового экранирующего влияния головы и ушных раковин на низких и высоких звуковых частотах.

**Локализация источников звука.** Прослушивая звучание симфонического оркестра в концертном зале, слушатель отчетливо воспринимает и разделяет расположение инструментов в горизонтальной плоскости на сцене, их расположение по глубине, а также ощущает пространственность звукового образа. Механизмы локализации источников звука по глубине, в горизонтальной и вертикальной плоскостях различаются.

**Азимутальная локализация источников звука.** Если под некоторым углом  $\varphi$  к медианной плоскости головы 1-1 слушателя находится источник звука (рис. 14.16), то фронтальная локализация включает определение азимута (уг-



ла  $\varphi$ ) и расстояния  $l$  до источника звука. Вследствие дифракции звуковой волны вокруг головы слушателя и частотно-зависимого затухания этой волны с расстоянием  $l$  звуки к правому и левому ушам слушателя приходят не одинаковыми. Они отличаются по уровню интенсивности на величину  $\Delta N$  и по времени – на величину  $\Delta t$ , а также являются функцией азимута и частоты. Эти параметры и являются носителями информации о локализации источника звука.

Низкие частоты имеют длину волны больше, чем диаметр головы слушателя, поэтому они огибают голову и не дают акустической тени. Звуки высокой частоты имеют длину волны меньше, чем диаметр головы слушателя, поэтому они не проходят к левому уху. Возникающая при этом вследствие явления дифракции акустическая тень уменьшает интенсивность звука, поступающего в левое ухо (рис. 14.17).

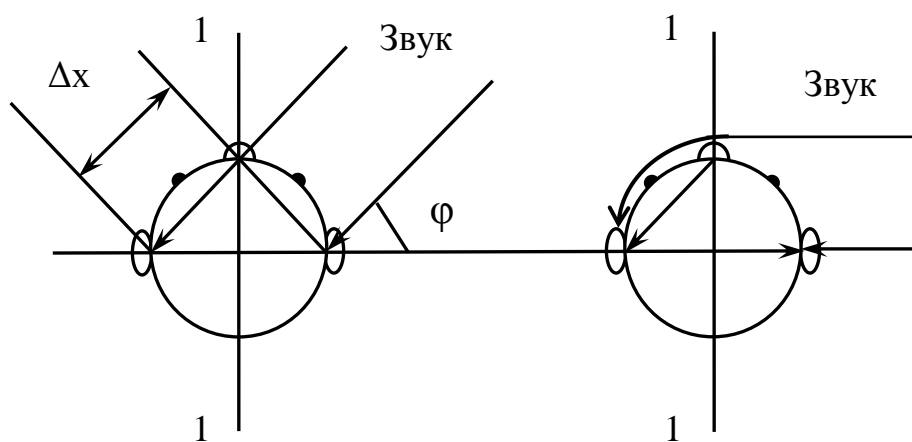


Рис. 14.16. Возникновение разности времени прихода звуковой волны в левое и правое уши слушателя

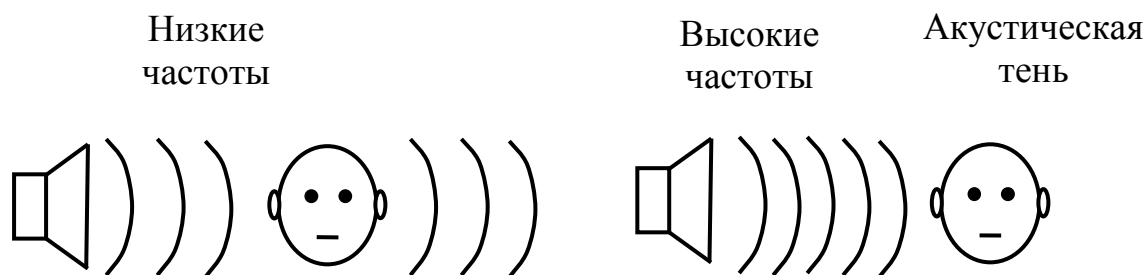


Рис. 14.17. Образование акустической тени

Разность времени  $\Delta t$  прихода одинаковых фаз звука к ушам равна

$$\Delta t = \Delta x / C_0,$$

где  $\Delta x$  – разность хода звуковой волны до левого и правого уха,  $C_0$  – скорость распространения звука в воздухе.

Максимальная разность хода  $\Delta x = 21$  см при расположении источника под углом  $90^\circ$  (сбоку). Величина  $d$  больше средней базы между ушами  $B = 18$  см и

меньше наикратчайшего расстояния вокруг головы, равного 26 см (рис. 14.16). Максимальное время задержки равно 0,63 мс. Это справедливо только для синусоидальных звуков с частотой не выше 800 Гц. На больших частотах время запаздывания становится больше половины периода колебания, поэтому понятие фазы теряет смысл.

Из опыта следует также, что чистые тоны высоких частот (свыше 8 кГц) почти не поддаются локализации. Также слабо выражена способность локализации на частотах ниже 300 Гц. На частотах меньше 150 Гц локализация отсутствует вообще. На этом основании неважно, где следует размещать НЧ акустические системы при стереовоспроизведении.

Наибольшая точность локализации достигается при восприятии сложных звуков и звуковых импульсов. При этом важным фактором является спектральный состав звуков. Так, если звук содержит НЧ и ВЧ составляющие и действует под углом  $90^\circ$  на правое ухо, то в левом ухе ВЧ составляющих не будет из-за акустической тени головы.

Наименьший ощутимый угол восприятия отклонения источника звуковых импульсов равен  $3^\circ$ . Эту величину следует считать бинауральной разрешающей способностью слуха для фронтального направления. Для тылового направления эта величина равна около  $6^\circ$ .

При локализации источников звука параметры  $\Delta N$  и  $\Delta t$  полностью взаимозаменяемы. При оценке азимута  $\varphi$  орган слуха обменивает эквивалентное значение интенсивностной разности  $\Delta N_{\text{ЭК}}$  на временную разность

$$\Delta N_{\text{ЭК}} = K^* \Delta t,$$

где  $K^*$  – коэффициент эквивалентности. Суммарное значение эквивалентной интенсивности  $\Delta N_{\text{СУМ}}$

$$\Delta N_{\text{СУМ}} = \Delta N + K^* \Delta t$$

является дополнительным фактором для определения азимута.

Величины  $\Delta t$  и  $\Delta N$  являются не только линейными функциями азимутального угла, но зависят также от частоты. Они изменяются при переходе от одной частотной группы слуха к другой, оставаясь примерно постоянными в пределах одной частотной группы. На низких частотах (ниже 500 Гц)  $\Delta N \ll K^* \Delta t$ . В диапазоне средних частот от 500 до 5000 Гц оба фактора  $\Delta N$  и  $\Delta t$  примерно в равной степени способствуют созданию ощущения направления.

Таким образом, при оценке азимута источника звука голова и ушные раковины выполняют функцию пространственного фильтра. Суждение о величине углового смещения  $\varphi$  источника звука от медианной плоскости связано с оценкой слуховой системой временных  $\Delta t$  интенсивностных  $\Delta N$  различий пары бинауральных звуков. Такая оценка осуществляется в каждой частотной группе слуха и сравнивается с заученными, приобретенными в результате опыта образцами, которые хранятся в слуховой памяти. Все это и позволяет определить азимут.

**Локализация источников звука в вертикальной плоскости.** Способность определять направление прихода звука в вертикальной плоскости у чело-

века развита очень слабо, и разрешение составляет всего 10...15°. Эта способность связана с ориентацией и формой ушей.

**Эффект предшествования.** Одним из механизмов, помогающий осуществлять локализацию источников звука в помещении, – «эффект предшествования», или «эффект Хааса», или «закон первой волны». Явление это известно достаточно давно, однако его объяснение с точки зрения современной психоакустики появилось только в настоящее время. Эффект предшествования впервые детально описан в 1949 г., хотя о нем было известно и раньше. В общем виде эффект предшествования заключается в том, что в пределах определенного отрезка времени ранее поступивший звуковой сигнал доминирует в слуховом восприятии над звуками, поступившими позднее.

Рассмотрим, например, ситуацию, когда две акустические системы воспроизводят одинаковый сигнал одного уровня. Если слушатель находится на определенном расстоянии от них на средней линии, то в этом случае звук исходит из мнимого источника, находящегося между ними. Однако если ввести задержку во вторую акустическую систему, то звук начнет перемещаться в сторону первой акустической системы. Как показал Хаас, при изменении задержки от 0 до 10 мс мнимый источник переместится и совпадет с первой акустической системой. При изменении задержки на второй акустической системе от 10 до 30 мс, звук будет казаться исходящим только из первой акустической системы (хотя вторая система будет продолжать воспроизводить звук той же интенсивности), то есть локализация будет производиться только по опережающему сигналу – в этом и состоит эффект Хааса. Звук второй системы как бы подавляется мозгом, хотя собственно слуховая система продолжает его слышать. Однако звук, приходящий от второй акустической системы, создает определенные ощущения объема. При дальнейшем увеличении задержки от 30 до 50 мс, слушатель ощущает, что звук идет и из второй системы, хотя локализация продолжает идти на первую. Только при задержке более ~50 мс (это зависит от характера сигнала – речь, музыка и др.), ощущается звук второй системы, как эхо.

Разумеется, эти эффекты зависят от соотношения интенсивностей сигналов, от степени их подобия и их спектрального состава.

# ГЛАВА 15. ЦИФРОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

## 15.1. Аналого-цифровое преобразование

Преобразование аналогового звукового сигнала в цифровой происходит в несколько этапов. Сначала аналоговый звуковой сигнал подается на аналоговый фильтр, который ограничивает полосу частот сигнала. Затем из аналогового сигнала с помощью схемы выборки/хранения выделяются отсчеты: с определенной периодичностью осуществляется запоминание мгновенного уровня аналогового сигнала. Далее производится квантование, при котором каждое мгновенное значение сигнала заменяется ближайшим к нему разрешенным значением. И, наконец, полученные отсчеты кодируются, преобразуя значение каждого отсчета в цифровой код или числа.

Полученная последовательность бит цифрового кода, собственно, и является звуковым сигналом в цифровой форме. Таким образом, в результате преобразования непрерывный аналоговый звуковой сигнал превращается в цифровой – дискретный как по времени, так и по величине. Отметим, что для защиты от возможных ошибок, а также для согласования с параметрами канала записи в цифровой код может вводиться дополнительная служебная информация. Для примера на рис. 15.1 показана структурная схема канала (тракта) цифровой записи звука.

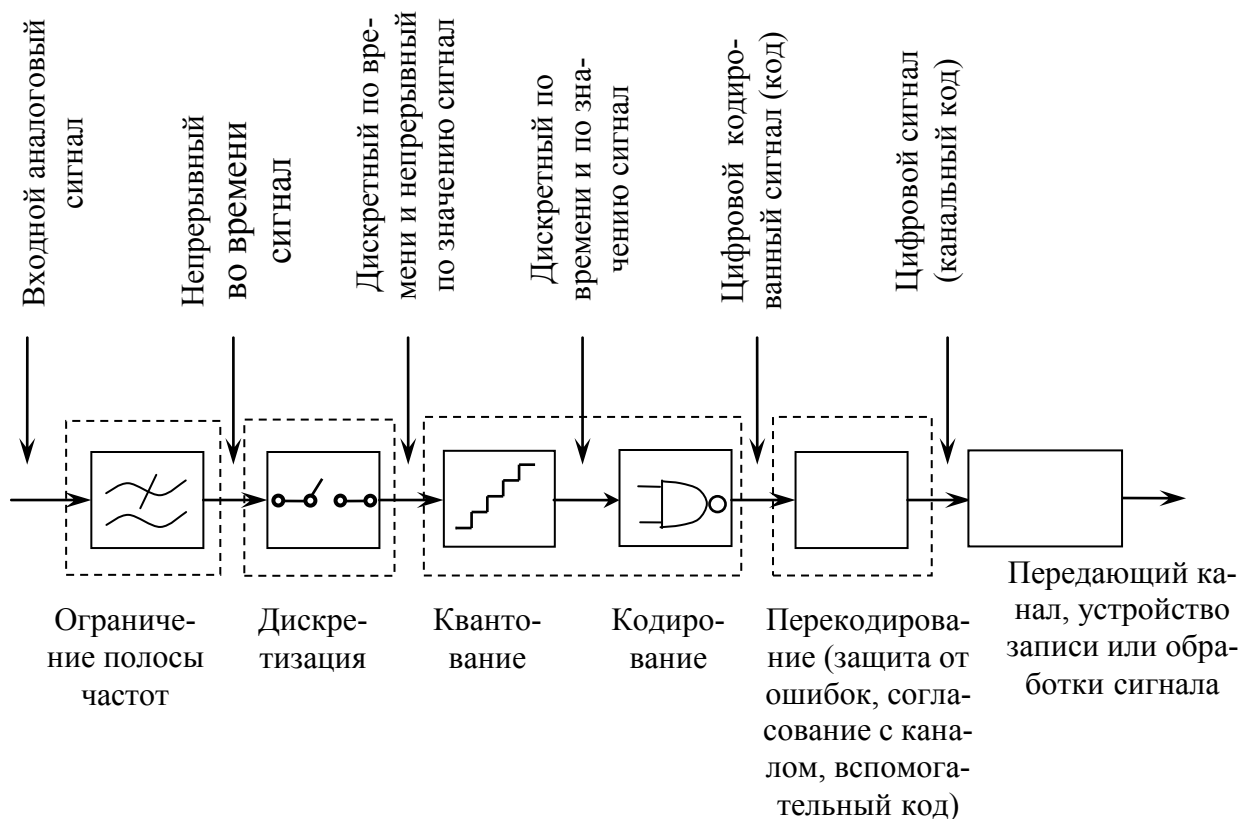


Рис. 15.1. Обобщенная структурная схема канала цифровой записи звука

Главную роль в процессе преобразования сигнала из аналоговой формы в цифровую играет аналого-цифровой преобразователь – АЦП (Analog/Digital Converter – ADC). Обратный процесс – преобразование цифрового звукового сигнала в аналоговый – реализуется с помощью цифро-аналогового преобразователя – ЦАП (Digital/ Analog Converter – DAC).

Рассмотрим подробнее процедуру аналого-цифрового преобразования.

### 15.1.1. Дискретизация

Важнейшим этапом аналого-цифрового преобразования является дискретизация аналогового сигнала. Вместо термина «дискретизация» в технической литературе иногда употребляют термин «выборка», а в литературе, посвященной обработке звука используется понятие – «сэмплирование»\*.

По определению, дискретизация – это процесс взятия отсчетов непрерывного во времени сигнала в равноотстоящих друг от друга по времени точках (рис. 15.2).

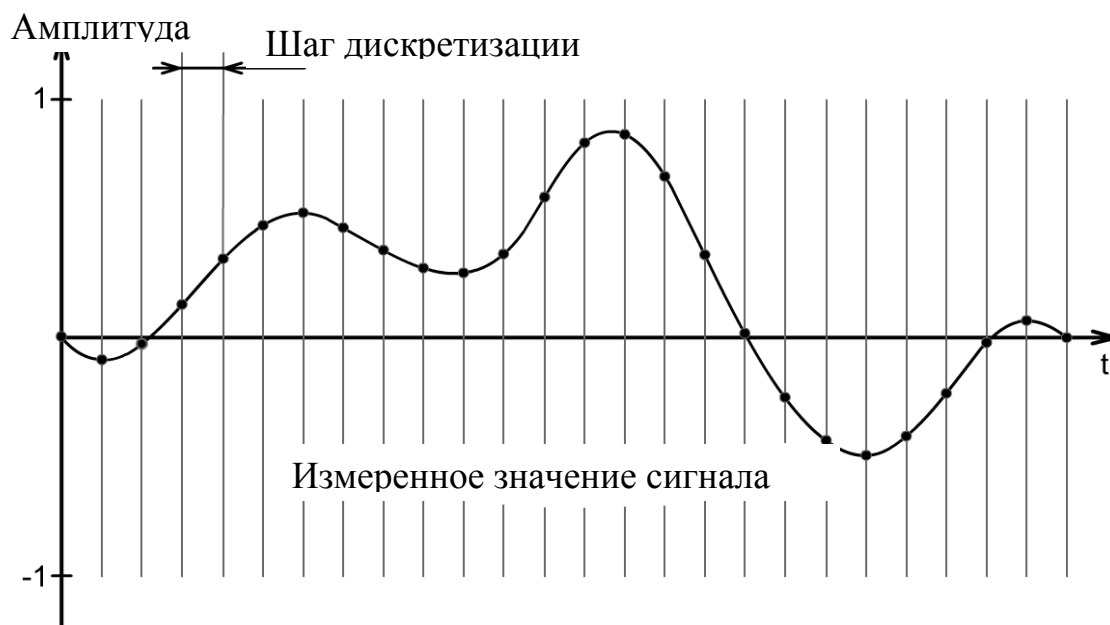


Рис. 15.2. Процесс дискретизации

Иными словами, в процессе дискретизации измеряется и запоминается уровень аналогового сигнала. Через заданный интервал времени, который на-

---

\* С английского языка слово Sample дословно переводится как «образец». Поэтому это слово в мультимедийной и профессиональной терминологии имеет несколько значений, для обозначения разных типов «образцов». Чаще всего сэмплом называют промежуток времени между двумя измерениями аналогового сигнала. Кроме промежутка времени сэмплом называют последовательность цифровых данных, полученных в результате аналого-цифрового преобразования, а сам процесс преобразования – сэмплированием. В иностранных журнальных публикациях такой термин как частота дискретизации вы не встретите, зато в изобилии столкнетесь с частотой сэмплирования, хотя эти термины обозначают одно и то же. Полагаю, что термин «дискретизация» нам более привычен, к тому же он имеет более общий характер, так как термин «сэмплирование» не применяется к цифровой обработке изображений.

зывается интервалом дискретизации, процедура повторяется. Для качественного преобразования аналогового сигнала в цифровой необходимо производить достаточно большое количество отсчетов даже в течение одного периода изменения аналогового сигнала, другими словами, значение частоты дискретизации не может быть произвольным.

И действительно, значение частоты дискретизации фактически определяет ширину полосы частот сигнала, который может быть записан с помощью используемой цифровой системы. Ширина этой полосы в соответствии с теоремой Котельникова-Найквиста не может быть больше половины значения частоты дискретизации. Эта теорема имеет важнейшее значение в технике записи и передачи звука в цифровой форме. Теорема гласит: сигнал, спектр частот которого занимает область от  $F_{\text{мин}}$  до  $F_{\text{макс}}$ , может быть полностью представлен своими дискретными отсчетами с интервалом  $T_{\text{д}}$ , если  $T_{\text{д}}$  не превышает  $\frac{1}{2F_{\text{макс}}}$ . Другими словами, частота дискретизации  $f_{\text{д}} = 1/T_{\text{д}}$  должна быть, как минимум, вдвое больше наивысшей частоты звукового сигнала  $F_{\text{макс}}$ .

Почему же именно в два раза? Да потому что спектр сигнала, преобразованного с помощью АЦП в цифровую форму, имеет периодический характер.

В соответствии с теоремой Фурье сигнал любой формы может быть представлен в виде суммы простейших синусоидальных колебаний разной частоты и амплитуды. По окончании аналого-цифрового преобразования звуковой сигнал, представленный в цифровой форме, содержит, кроме низкочастотных, соответствующих исходному аналоговому сигналу, еще и высокочастотные компоненты (рис. 15.3). Эти компоненты есть повторение низкочастотного спектра сигнала в виде боковых полос с центрами в точках, кратных частоте дискретизации ( $f_{\text{д}}$ ,  $2f_{\text{д}}$ ,  $3f_{\text{д}}$ ,  $4f_{\text{д}}$  и т. д.).

Если уменьшить частоту дискретизации, то произойдет наложение (перекрывание) низкочастотной части спектра и боковой полосы. Наложение спектров приведет к появлению новых спектральных составляющих в сигнале и, следовательно, к невозможности его правильного восстановления.

Классическим примером наложения спектров является случай, когда при просмотре кинофильма кажется, что колесо движущегося автомобиля крутится со скоростью, не соответствующей скорости движения автомобиля, или даже в обратную сторону. Возникновение этого эффекта обусловлено тем, что скорость смены кадров (частота дискретизации изображения) мала по сравнению с угловой скоростью вращения колеса.

Чтобы при записи звукового сигнала избежать наложения спектров, перед АЦП устанавливается фильтр низких частот (ФНЧ), подавляющий все частоты, лежащие выше половины частоты дискретизации. При этом желательно, чтобы фронты АЧХ этого фильтра были как можно круче.

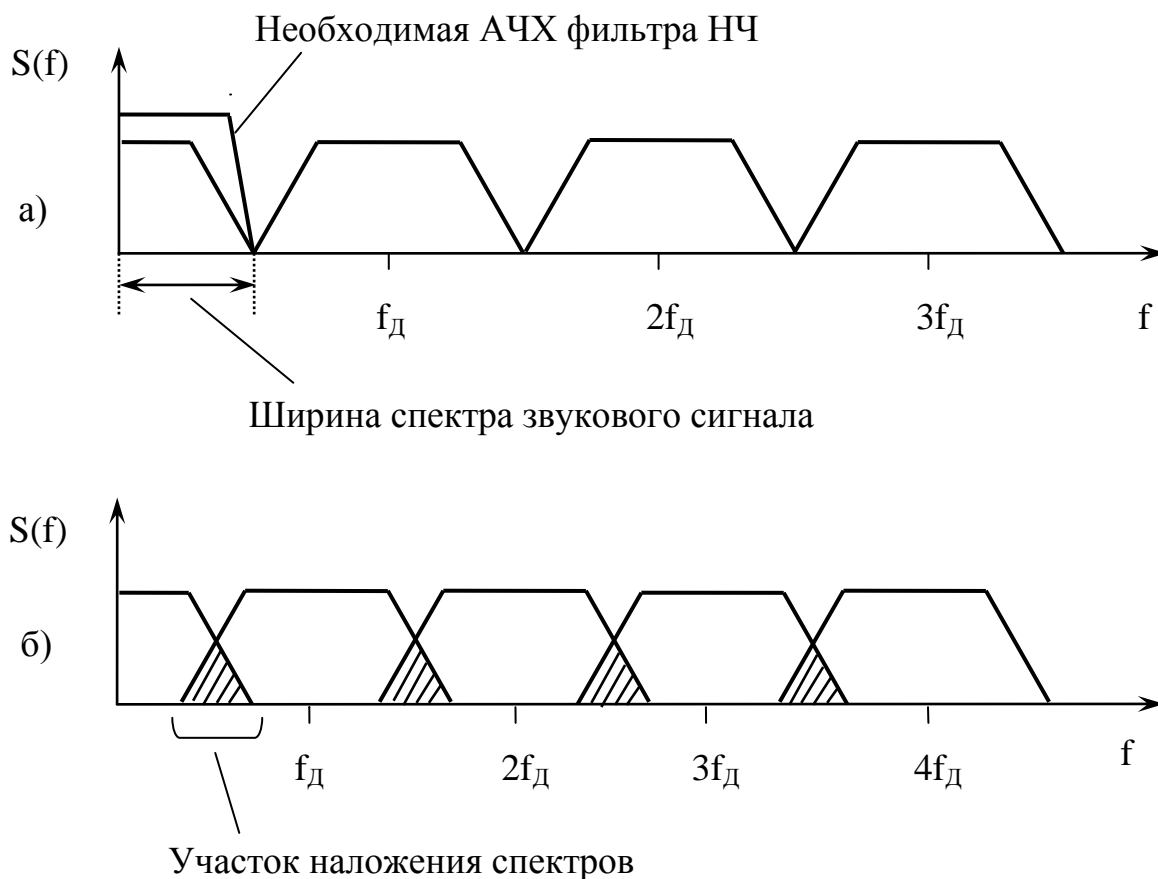


Рис. 15.3. Перекрывание спектров сигнала при дискретизации

Если учесть, что человек способен слышать звуковые колебания, частота которых находится в диапазоне от 16...20 Гц до 20 кГц, и с позиций теоремы отсчетов взглянуть на требования к частотным характеристикам высококачественной звукотехники (например, проигрывателей аудио компакт-дисков), становится ясно, что частота дискретизации исходного звукового сигнала должна составлять не менее 40 кГц. На выбор частоты дискретизации влияют также и системные факторы. Поскольку в системах связи звуковые сигналы кодируются и передаются совместно с другими, например с телефонными сигналами, то частота дискретизации звукового сигнала должна быть кратна частоте дискретизации телефонного сигнала. В противном случае в общей структуре цифрового потока системы связи невозможно обеспечить передачу широкополосных сигналов звукового вещания вместо нескольких телефонных. С учетом этих соображений в цифровых трактах звукового вещания с верхней частотой 15 кГц принято значение частоты дискретизации, равное 32 кГц, что соответствует учетверенному значению для сигнала в телефонном канале.

В системах телевидения при передаче цифровых сигналов звукового сопровождения во избежание биений между гармониками строчной частоты и частоты дискретизации значение последней выбирается кратной частоте строчной развертки.

В трактах формирования программ с верхней частотой 20 кГц принято

значение частоты дискретизации 48 кГц, в лазерных проигрывателях – 44,1 кГц.

Именно поэтому стандартное значение частоты дискретизации большинства звуковых карт составляет 44,1 и 48,0 кГц.

Казалось бы, для завершения процесса оцифровки теперь осталось лишь записать измеренные мгновенные значения амплитуды сигнала в численной форме. Полученная последовательность чисел (по одному результату замера амплитуды сигнала на каждый шаг) и образует цифровую форму исходного аналогового сигнала – так называемый импульсный сигнал. Здесь, однако, обнаруживается основная трудность оцифровки, заключающаяся в невозможности записать измеренные значения сигнала с идеальной точностью.

### 15.1.2. Квантование

Допустим, что для записи одного значения амплитуды сигнала в памяти компьютера мы отводим  $m$  бит. Соответственно, с помощью одного  $m$ -битного слова (слово – последовательность  $m$  бит) можно описать  $2^m$  разных положений. Допустим теперь, что амплитуда оцифровываемого сигнала колеблется в пределах от  $-1$  до  $1$  некоторых условных единиц. Заметим, что измеренным значениям амплитуды ничто не мешает быть дробными (например,  $-0,126$  или  $0,997$ ). Представим этот диапазон изменения амплитуды (динамический диапазон сигнала) в виде  $2^m - 1$  равных промежутков, разделив его на  $2^m$  уровней-квантов. Теперь, для записи каждого отдельного значения амплитуды, его необходимо округлить до ближайшего уровня квантования. Этот процесс называется **квантованием по амплитуде**. Говоря более формальным языком, квантование по амплитуде – это процесс замены реальных (измеренных) значений амплитуды сигнала значениями, приближенными с некоторой точностью. Каждый из  $2^m$  возможных уровней называется **уровнем квантования**, а расстояние между двумя ближайшими уровнями квантования называется **шагом квантования**. В случае линейного разбиения амплитудной шкалы на уровни, квантование называют линейным (однородным). На рис. 15.4 представлен пример такого квантования. Как видно, результатом такой оцифровки стал ступенчатый сигнал, составленный из прямоугольников, каждый из которых имеет ширину равную величине шага дискретизации, и высоту равную квантованному значению амплитуды сигнала.

Очевидно, что точность округления зависит от выбранного количества ( $2^m$ ) уровней квантования, которое, в свою очередь, зависит от количества бит ( $m$ ), отведенных для записи значения амплитуды. Чем больше уровней квантования и чем ближе они друг к другу, тем на меньшую величину приходится округлять измеренные значения амплитуды, и, таким образом, тем меньше получаемая погрешность квантования.

Описанный способ оцифровки сигнала – дискретизация сигнала во времени в совокупности с методом равномерного квантования – называется им-



пульсно-кодовой модуляцией, ИКМ (англ. Pulse Code Modulation – PCM). Стандартный аудио компакт-диск (CD- DA), применяющийся с начала 80-х годов 20-го столетия, хранит информацию в формате PCM, с частотой дискретизации 44,1 кГц и разрядностью квантования 16 бит.

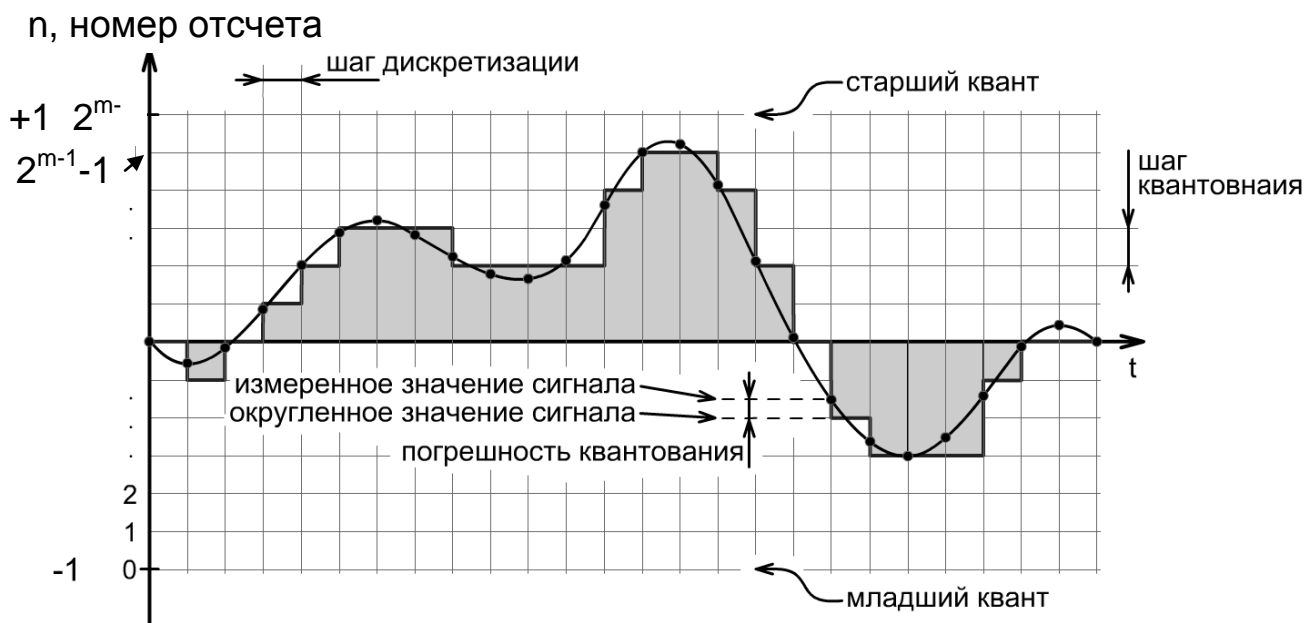


Рис. 15.4. Процесс квантования

Появление ошибок квантования при записи звукового сигнала в цифровой форме эквивалентно добавлению к восстановленному сигналу некоторого шума. Поэтому ошибки квантования называются шумом квантования. Шум квантования можно рассматривать и как специфические искажения сигнала, особенно заметные при его малых уровнях. Уровень шума квантования обычно измеряется относительно максимального значения сигнала. Чем меньше этот уровень, тем выше качество звука. Уровень шума определяется разрядностью квантования и частотой дискретизации.

Зависимость между числом двоичных разрядов  $m$  и относительным уровнем шума квантования  $N_{ш}$  для АЦП, работающего в двоичном коде, имеет достаточно простой вид:

$$N_{ш} = -(6m + 1,8), \text{ дБ.}$$

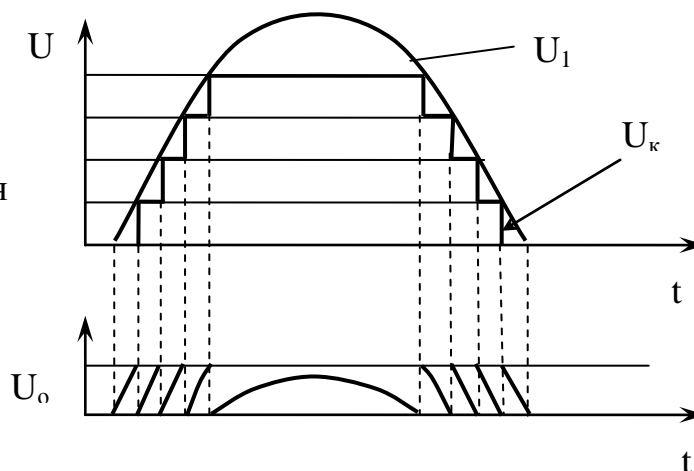
Следовательно, для 16-разрядных АЦП уровень шума квантования составляет около -98 дБ ( $6 \times 16 + 1,8 = 97,8$ ). Такая разрядность используется при записи звука на компакт-диски.

В некоторых случаях допустим более высокий уровень собственного шума цифровой системы. Например, при передаче звукового сопровождения телепрограммы для представления звукового сигнала в цифровой форме достаточно 12...13 разрядов, и, следовательно, уровень шумов квантования может достигать значения от -78 до -72 дБ.

Следует отметить, что, если в исходном аналоговом сигнале уже содержится некоторый шум, то для высококачественной записи/воспроизведения

звука разрешающую способность АЦП и ЦАП бессмысленно делать выше разрядности, соответствующей уровню шума. Данное обстоятельство позволяет установить разумные требования к техническим характеристикам ЦАП, АЦП и всему тракту записи/воспроизведения цифрового звукового сигнала.

Рис. 15.5. Ошибки квантования



Заметим, что характер воздействия шума на качество воспроизводимого сигнала в аналоговом и цифровом трактах звукозаписи принципиально различный. В аналоговом тракте помехи суммируются с полезным сигналом, поэтому даже небольшой уровень шума существенно ухудшает качество звукового сигнала. В цифровой системе шум до некоторого, достаточно высокого (порогового) значения (точнее, до тех пор, пока еще удастся правильно распознать передаваемое число) вообще не влияет на качество записи.

Зная разрядность АЦП, а точнее, количество разрядов, используемых для записи звукового сигнала в цифровой форме, можно получить некоторые интересные цифры.

Например, если умножить число разрядов кодового слова на частоту дискретизации сигнала, выраженную в герцах, то мы получим скорость передачи данных, которую должен обеспечивать цифровой канал записи/воспроизведения (или передачи) звука. Если теперь полученную скорость передачи данных умножить на общую длительность звукового сигнала в секундах, получим объем памяти на магнитном носителе, например, на жестком диске, который потребуется для хранения звуковых данных. Как вы понимаете, в случае записи стереосигнала, скорость передачи данных и необходимый объем памяти удваиваются. Учет подобного рода информации поможет вам правильно оценить свои возможности перед записью на жесткий диск какого-нибудь звукового фрагмента.

### 15.1.3. Кодирование

В результате дискретизации и квантования получается дискретный сигнал (дискретен по уровню и во времени). Для передачи этого сигнала, а также для записи он должен быть преобразован в другой вид. Этот процесс называется

ся кодированием. На практике квантование и кодирование обычно объединяются в общем функциональном узле аппаратуры.

Цель кодирования – представить один элемент с большим основанием в виде группы элементов с малым основанием, так как последние лучше согласуются с параметрами канала передачи. Эта группа называется **кодовым словом**. Например, выборка, квантованная в один из 128 уровней, может быть представлена семиэлементной комбинацией двоичных символов ( $2^7=128$ ).

Существует много способов установления однозначного соответствия между квантованными уровнями и кодовыми комбинациями. Один из удобных способов – выражать порядковые номера квантованных уровней в виде двоичных чисел.

$$n = a_{m-1}2^{m-1} + a_{m-2}2^{m-2} + \dots + a_02^0,$$

где  $n$  – номер кодируемого уровня квантования;

$m$  – число разрядов в кодовой группе (слове);

$a$  – число, принимающее значение 0 или 1.

Кодовая комбинация, соответствующая числу  $n$ , содержит передаваемые последовательно  $a_{m-1}, a_{m-2}, \dots, a_0$ .

Необходимое число разрядов (длина кодового слова) для кодирования при заданном максимальном числе уровней шкалы квантования  $n_{\text{макс}}$  определяется из выражения  $m = \log_2 n_{\text{макс}}$ . Если кодовая группа содержит  $m$  символов 0 или 1, то с помощью такого  $m$ -разрядного двоичного кода можно закодировать число до  $n_{\text{макс}} = 2^m$ .

Двоичные символы, входящие в состав кодовых групп, называются битами, и они имеют разный вес. Наименьший вес имеет младший бит  $a_0$ , несущий информацию об одном шаге квантования. Старший значащий бит  $a_{m-1}$  несет информацию о  $2^{m-1}$  шагах квантования и имеет наибольший вес. Пусть, например, кодируется отсчет сигнала, имеющий уровень  $n=115$ , а шкала квантования содержит  $n_{\text{макс}}=256$  отсчетов. В этом случае  $m = \log_2 256 = 8$  и число  $n$  записывается в двоичной системе следующим образом:

$$n = 115 = 0 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0.$$

Соответствующая кодовая комбинация имеет вид 01110011. Такой код называют натуральным. В цифровых системах связи и вещания распространены также симметричные коды, характеризующиеся тем, что первый символ кодовой комбинации определяется полярностью кодируемого отсчета сигнала, а остальные символы несут информацию об абсолютном значении отсчета. Если кодируется сигнал положительной полярности, первым битом кодового слова является 1, а если отрицательной полярности, то 0. Разнополярные отсчеты, равные по абсолютному значению, различаются только первым символом в кодовом слове.

Последовательность  $m$ -разрядных кодовых слов является **выходным** сигналом аналого-цифрового преобразователя. Обычно при передаче и записи к выходному сигналу АЦП добавляется дополнительная информация, которая служит для повышения достоверности передачи и синхронизации. При этом кодовые слова, подвергаемые одновременной обработке, объединяются в блоки. Соответствующий данному коду порядок следования кодовых слов и отдельных символов в блоке называется **форматом кода**.

В цифровой звукотехнике стандартизованы два формата двоичного кодирования положительных и отрицательных чисел. В зарубежной технике в основном используется вариант, называемый **2S Complement format** – двоичное дополнение. В отечественной аппаратуре используется способ, называемый за рубежом – **offset binary (двоичный сдвиг)**.

В обоих форматах старший разряд является знаковым, при этом значащие положительные значения образуются обычным образом путем перевода десятичных значений в двоичные, а отрицательные значения – из соответствующих положительных путем инверсии значащей части и прибавления 1 в младшем разряде. Однако есть и различие. В формате двоичного дополнения положительные числа обозначаются нулем – 0 в старшем разряде, а отрицательные – единицей (1); в формате двоичного сдвига – наоборот. Таким образом, переход из одного формата в другой сводится лишь к введению инверсии на знаковый разряд.

#### 15.1.4. Сложности, связанные с оцифровкой звука

Не смотря на кажущуюся простоту и интуитивность процесса оцифровки, эта процедура сопряжена со многими трудностями и проблемами.

Во-первых, частота дискретизации, устанавливаемая теоремой Котельникова, является минимально необходимой, но не достаточной. Дискретизация вносит дополнительные помехи в спектр исходного сигнала, добавляя в него его же зеркальную копию. Поэтому значение частоты дискретизации должно выбираться несколько большим, чем частота, устанавливаемая теоремой Котельникова, чтобы сделать возможной успешную фильтрацию лишних спектральных составляющих.

Во-вторых, природа шума квантования такова, что ширина спектральной области, в которой он простирается, пропорциональна значению частоты дискретизации. При этом при фиксированной разрядности квантования, общая энергия шума квантования остается постоянной. А это значит, что чем выше частота дискретизации, тем в более широкой спектральной области простирается шум квантования и, соответственно, тем ниже его мощность в некоторой фиксированной интересующей нас полосе спектра, например, в полосе слышимых частот. Этот факт имеет большое практическое значение.

Надо сказать, что уровень шума квантования также зависит и от формы самого сигнала. Теоретически, ошибка при округлении значений сигнала является случайной и, значит, спектр шума квантования оказывается равномерным.

В реальности, однако, этого не происходит. Форма реальных звуковых сигналов является в определенной степени не случайной, а, значит, и ошибка квантования тоже является не случайной. В этом случае спектр шума квантования оказывается не равномерным и концентрируется в какой-то определенной области, что отрицательно сказывается на звучании цифрового сигнала. Существует несколько способов борьбы с этим явлением. Так, нежелательную концентрацию шума квантования в некоторой частотной области можно нейтрализовать путем подмешивания к исходному аналоговому сигналу некоторого слабого по мощности псевдослучайного шума. Этот шум минимизирует степень зависимости ошибок округления от формы преобразуемого сигнала, что хорошо рассеивает спектр шума квантования и делает его равномерным. Таким образом, описанный прием (называемый дизерингом, от англ. «dithering» – «размывание, дрожание») как бы подменяет нежелательный шум квантования искусственно подмешанным псевдослучайным шумом. При этом подмешанный псевдослучайный шум оказывается менее заметным на слух, чем тот шум квантования, какой получился бы без применения дизеринга.

Еще один прием борьбы с уровнем шума квантования называется формовкой шума (от англ. «noise shaping»). В этом методе присутствует обратная связь: разница между квантованным и исходным сигналами пропускается через фильтр и прибавляется к следующему отсчету сигнала.

Варьируя частотную характеристику фильтра, можно добиться нужного спектра ошибки квантования. Наиболее часто ошибку квантования вытесняют в диапазон высоких частот и ультразвука, где она будет наименее слышна. В слышимом диапазоне частот спектр нойз-шейпинга обычно приблизительно повторяет кривую порога слышимости.

При нойз-шейпинге общая мощность ошибки квантования возрастает (по сравнению с дизерингом), но ее субъективная громкость снижается. Чем сильнее требуется снизить мощность шума в слышимой полосе (нижние и средние частоты), тем больше шума появляется в области верхних частот. Слишком большая мощность верхних частот в аудиосигнале нежелательна: она может затруднить последующую обработку сигнала, его кодирование в mp3, восстановление царапин при ошибках чтения с CD. Поэтому при 16-битном квантовании принято использовать нойз-шейпинг, не превышающий по уровню -60 дБ. Снижение субъективной слышимости шума при этом достигает 10...15 дБ по сравнению со стандартным дизерингом.

Еще одной причиной искажений исходного сигнала является то, что осуществление выборки сигнала при оцифровке происходит не через абсолютно равные промежутки времени, а с некоторыми случайными отклонениями от номинала, при этом результирующий импульсный сигнал вдобавок имеет неидеальную прямоугольную форму. Если, скажем, дискретизация проводится с частотой 44,1 кГц, то отсчеты берутся не точно каждые  $\frac{1}{44100}$  секунды, а то чуть

раньше, то чуть позднее. А так как входной сигнал постоянно меняется, то такая погрешность приводит к регистрации не совсем верного уровня сигнала.

Описанный неприятный эффект называется джиттером (от англ. «jitter» – как и «dithering», тоже переводится как «дрожание») и по сути является исключительно результатом неабсолютной стабильности аппаратуры (АЦП). На слух джиттер воспринимается как некоторое дрожание сигнала на высоких частотах, при этом на низких частотах джиттер выражается в некотором «размазывании» спектра сигнала. Для борьбы с джиттером применяют высокостабильные тактовые генераторы. Следует заметить, что причиной появления джиттера может быть не только аналогово-цифровое преобразование, но и передача импульсного сигнала по цифровому каналу от одного устройства к другому. В этом случае появление джиттера является результатом неидеальной коммутации/синхронизации устройств и может быть устранено только путем использования аппаратуры, регенерирующей цифровой сигнал.

Рассмотрим, наконец, еще один неприятный эффект оцифровки, называемый гранулярным шумом. Гранулярным шумом (от англ. «granular noise») называют эффект нестабильности округления в процессе квантования. Если величина сигнала незначительно меняется около некоторой величины, являющейся границей между двумя соседними уровнями квантования, даже самые маленькие колебания величины сигнала вокруг этой границы могут вызывать заметные изменения результатов округления при квантовании значений амплитуды. Это связано с тем, что квантователь в этом случае округляет измеренное значение сигнала то до величины одного, то до величины второго из соседствующих уровней квантования. Мощность гранулярного шума обратно пропорциональна количеству ступеней квантования, однако из-за логарифмической характеристики слуха при линейном квантовании (постоянная величина ступени) на тихие звуки приходится меньше ступеней квантования, чем на громкие, и в результате основная плотность нелинейных искажений приходится на область тихих звуков. Это приводит к ограничению динамического диапазона, который в идеале (без учета гармонических искажений) был бы равен соотношению сигнал/шум, однако необходимость ограничения этих искажений снижает динамический диапазон для 16-разрядного кодирования до 50...60 дБ.

**Передискретизация (оверсэмплинг).** Поскольку до АЦП сигнал имеет аналоговую форму, в качестве ФНЧ может быть использован лишь аналоговый фильтр. В свою очередь, аналоговая фильтрация сигнала представляет собой довольно сложную задачу.

Дело в том, что аналоговый ФНЧ подавляет сигналы с частотами выше некоторой частоты, называемой частотой среза. Подавление плавно усиливается с ростом частоты. Это означает, что аналоговый ФНЧ не может пропустить, например, сигналы всех частот от 0 до 22 кГц и подавить все сигналы с частотой выше 22 кГц. Чтобы добиться отсутствия в звуковом сигнале частот выше 22 кГц, следует устанавливать частоту среза фильтра примерно 16 кГц. Однако в этом случае будут ослаблены не только помехи, но и полезные сигналы из воспринимаемого человеческим ухом диапазона.

Для качественного аналого-цифрового преобразования подавление сигнала ФНЧ на частоте, равной половине частоты дискретизации, должно быть не

менее 60 дБ. При этом крутизна АЧХ получается очень высокой. Так, при полосе пропускания 22 кГц и частоте дискретизации 48 кГц подавление сигнала фильтром на частоте 24 кГц должно составить 60 дБ, то есть на участке в 2 кГц коэффициент передачи фильтра должен уменьшиться примерно в 1000 раз.

Для достижения этого результата должны использоваться фильтры 12-го порядка. Порядок фильтра определяется числом его полюсов. Термин «полюс» взят из теории функций комплексного переменного, используемого для вывода соотношений при расчете частотных характеристик фильтров. Каждый полюс вносит в наклон фронта АЧХ примерно 6 дБ на октаву.

При использовании ФНЧ высокого порядка возрастает необходимое число усилительных каскадов, шумы, другие искажения сигнала. Настройка фильтров высокого порядка трудоемка, в них применяются прецизионные пассивные элементы и высококачественные усилительные схемы.

Но не это главное. Фильтр высокого порядка имеет существенно нелинейную фазовую характеристику, что приводит к искажениям импульсных сигналов. Поскольку реальный звуковой сигнал имеет импульсный характер (имеются достаточно резкие перепады уровня: ударные, клавишные, шумоподобные звуки), то ФНЧ высокого порядка вносят заметные на слух искажения, проявляющиеся в потере «прозрачности» звучания.

В современных АЦП проблема фильтрации с целью устранения высокочастотных компонент спектра решается с помощью передискретизации – дискретизации на повышенной частоте. Термину передискретизация в зарубежной технической литературе соответствует термин оверсэмплинг, который в дальнейшем и будем использовать.

При оверсэмплинге диапазон частот входного аналогового звукового сигнала ограничивается с помощью ФНЧ низкого порядка (обычно 3–5-го), имеющего линейную фазовую характеристику и практически не искажающего импульсный сигнал. Частота среза фильтра выбирается значительно выше частоты полезного сигнала и составляет 25...30 кГц. В результате исключаются фазовые искажения, характерные для аналоговых фильтров высокого порядка, и подавление полезных сигналов высших частот. Отфильтрованный сигнал, имеющий ограниченный по частоте спектр, подвергается дискретизации на повышенной частоте, что исключает наложение и искажение спектра.

Далее дискретные отсчеты сигнала преобразуются в последовательность чисел с помощью АЦП, причем поток цифровых данных включает и нежелательные высокочастотные компоненты спектра.

Полученные цифровые данные подвергаются цифровой фильтрации. Цифровой фильтр высокого порядка с крутым срезом частотной характеристики изготовить гораздо проще. Причем, благодаря линейности фазовой характеристики цифрового фильтра, отсутствуют фазовые искажения сигнала. После цифрового фильтра сигнал будет иметь спектр, корректно ограниченный по частоте.

После цифровой фильтрации частота дискретизации сигнала понижается до удвоенного значения наивысшей полезной частотной составляющей путем

удаления «избыточных» отсчетов.

В результате оверсэмплинга нежелательные высокочастотные составляющие будут ликвидированы, в то время как высокочастотные составляющие исходного звукового сигнала будут сохранены.

Другой аспект применения оверсэмплинга – увеличение эффективной разрядности АЦП для снижения шумов квантования.

В обычном АЦП число бит на один отсчет выходного цифрового потока данных квантователя равно разрядности выхода АЦП, так как числа с квантователя поступают непосредственно на выход устройства. Как было отмечено, для 16-разрядного АЦП с частотой дискретизации 44,1 кГц шум квантования в идеальном случае будет иметь уровень -98 дБ, при этом спектр шума квантования будет равномерен в диапазоне 0...22,05 кГц.

Если АЦП будет дискретизировать сигнал с большей частотой, то полная мощность шумов квантования останется неизменной, но спектр сигнала будет шире (от 0 до новой, большей частоты дискретизации, деленной на 2). Например, если частота дискретизации удваивается (88,2 кГц), то спектр шумов квантования будет простираться уже до 44,1 кГц (вместо 22,05 кГц), в то время как полезный сигнал, как и раньше, будет иметь спектр от 0 до 22,05 кГц. Таким образом, удвоение частоты дискретизации приведет к тому, что спектр шума станет в два раза шире спектра сигнала при прежней мощности шума и, следовательно, мощность шумов квантования «внутри» спектра полезного сигнала упадет вдвое. В результате цифровой фильтрации сигналы в полосе частот 22,05...44,10 кГц, представляющие собой шумы квантования, будут подавлены, и отношение сигнал/шум увеличится на 3 дБ. В случае 4-кратного увеличения частоты дискретизации (четырёхкратный оверсэмплинг) отношение сигнал/шум станет выше на 6 дБ.

В настоящее время ведущие производители компонентов звуковой системы компьютера предлагают АЦП с 128- и даже 256-кратным оверсэмплингом, использование которых увеличивает исходное отношение сигнал/шум на 21...24 дБ.

Таким образом, повысить качество цифрового звука и увеличить эффективную разрядность АЦП можно с помощью оверсэмплинга и цифровой фильтрации.

## 15.2. Цифро-аналоговое преобразование

Для воспроизведения звукового сигнала, записанного в цифровой форме, необходимо преобразовать его в аналоговую форму, то есть осуществить цифро-аналоговое преобразование сигнала (рис. 15.6).

Цифро-аналоговое преобразование производится в два этапа.

На первом этапе из потока цифровых данных с помощью цифро-аналогового преобразователя выделяют отсчеты сигнала, следующие с частотой дискретизации. На втором этапе из дискретных отсчетов формируется путем сглаживания (интерполяции) непрерывный аналоговый сигнал. Эта операция рав-



носильна фильтрации сигнала идеальным фильтром низкой частоты, который подавляет периодические составляющие спектра дискретизированного сигнала.

Сразу после первого этапа цифро-аналогового преобразования сигнал представляет собой серию узких импульсов, имеющих многочисленные высокочастотные спектральные компоненты. На аналоговый фильтр в этом случае возлагается задача полностью пропустить сигнал нужного частотного диапазона (например, 0...24 кГц) и как можно сильнее подавить ненужные высокочастотные компоненты. Аналоговому фильтру выполнить такие противоречивые требования не под силу.

При использовании аналоговых усилителей с ограниченной полосой пропускания и нелинейной передаточной характеристикой, высокочастотные составляющие, содержащиеся в выходном сигнале ЦАП, при недостаточной их фильтрации вызывают заметные на слух интермодуляционные искажения. Поэтому цифровой сигнал сначала интерполируют – вставляют дополнительные отсчеты, вычисленные по специальным алгоритмам, что приводит к увеличению частоты дискретизации без искажения исходного спектра сигнала. Это приводит к тому, что высокочастотные спектральные компоненты на выходе ЦАП далеко отстоят от низкочастотных компонентов звукового сигнала, и чтобы отфильтровать их, достаточно использовать простой аналоговый фильтр.

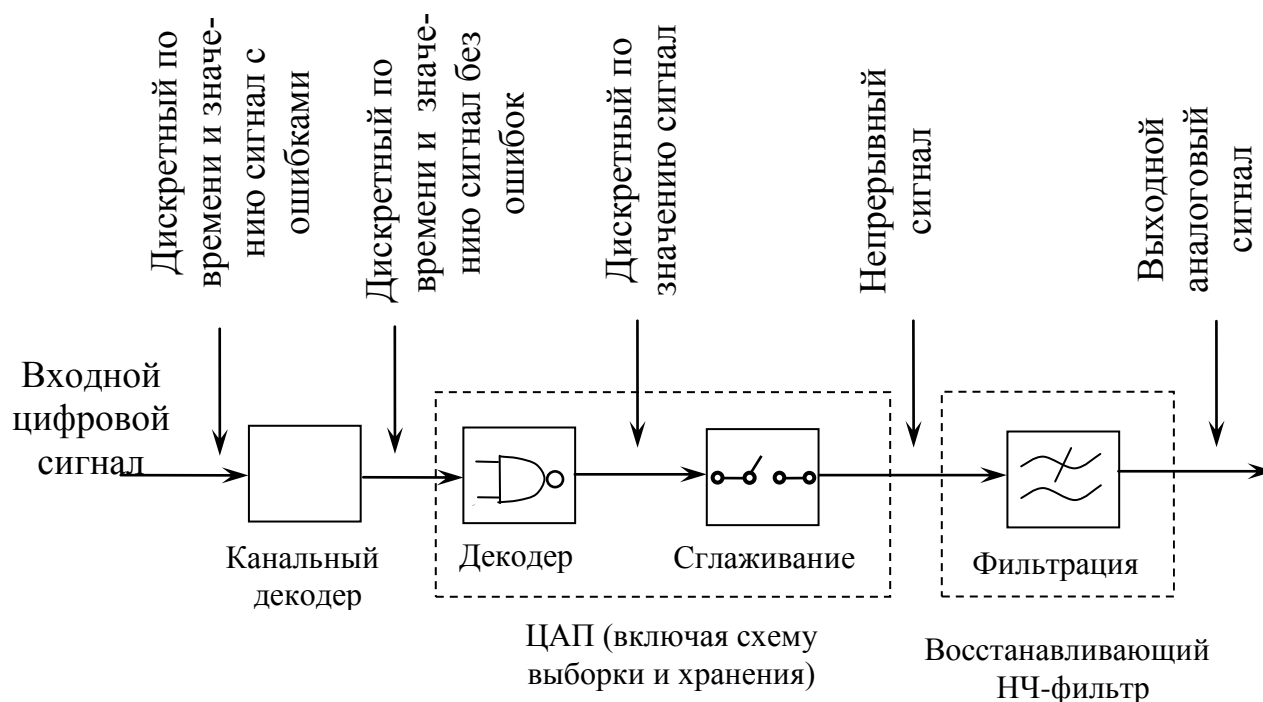


Рис. 15.6. Обобщенная схема преобразования цифрового сигнала в аналоговый

В современных ЦАП интерполяция может выполняться нелинейными и линейными методами в сочетании с аналоговой фильтрацией.

## ГЛАВА 16. СЖАТИЕ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

### 16.1. Общие сведения

Все существующие методы сжатия аудиоинформации можно условно разделить всего на два типа.

1. Сжатие данных без потерь (англ. «lossless coding») – это способ кодирования (уплотнения) цифровой аудиоинформации, позволяющий осуществлять стопроцентное восстановление исходных данных из сжатого потока. К такому способу уплотнения данных прибегают в случаях, когда требуется полное сохранение качества оригинального звучания.

Во многом алгоритмы lossless-сжатия схожи с алгоритмами обычных архиваторов. Но архиваторы ориентированы на сжатие любой информации, lossless-кодеки же обладают некоторой спецификой, которая позволяет им лучше справляться со своей прямой задачей – компрессией звука. Кроме того, при декодировании (проигрывании) сжатого звукового файла требуется возможность быстрой перемотки. Закодированный файл должен быть разделен на сравнительно короткие промежутки, каждый из которых сжимается независимо от остальных. Обычные архиваторы, дающие лучшее сжатие, могут позволить себе работу только с непрерывными архивами.

Беспотерное сжатие, хотя и идеально с точки зрения сохранности качества аудиоматериалов, но оказывается неспособным обеспечить высокий уровень компрессии (20...50%). Заметим, что существует метод кодирования звуковой информации и без сжатия данных.

2. Существует другой, более современный путь уплотнения данных. Это так называемое сжатие данных с потерями (англ. «lossy coding»). Цель такого кодирования заключается в достижении любыми путями максимально высокого коэффициента компрессии данных при сохранении качества их звучания на приемлемом уровне. В основе идеи кодирования с потерями лежит два простых основополагающих соображения:

- исходные цифровые аудиоданные избыточны – они содержат много лишней, бесполезной для слуха информации, которую можно удалить, тем самым повысив коэффициент компрессии;
- требования к качеству звучания аудиоматериала могут быть разными и зависят от конкретных целей и сфер использования.

Кодирование с потерями потому и называется «с потерями», что приводит к утрате некоторой части аудиоинформации. Такое кодирование приводит к тому, что декодированный сигнал при воспроизведении звучит похоже на оригинальный, но фактически перестает быть ему идентичным.

В основе большинства методов кодирования с потерями лежит использование психоакустических свойств слуховой системы человека, а также различных хитростей, связанных с переквантованием и передискретизацией сигнала. В процессе компрессии аудиоданные анализируются кодером на предмет выявления различных деталей звучания, которыми можно пренебречь. Замаскиро-

ванные частоты, неслышимые и слабослышимые детали звучания – всем этим можно пожертвовать с целью достижения более высокого значения коэффициента компрессии.

Там, где в звучании важна лишь разборчивость (например, в телефонии, где наличие частот выше 4 кГц не является необходимым), аудиоинформация в процессе кодирования подвергается серьезному «упрощению», что вкупе с использованием «умных» квантователей и удачных «жадных» алгоритмов компрессии данных позволяет достичь высочайших степеней компрессии (1:50 и выше).

Там, где к качеству звучания предъявляются более высокие требования, аудиоматериалы подвергаются более щадящему кодированию. Надо отметить, что степень агрессивности кодера по отношению к деталям звучания может регулироваться. В среднем, современные кодеры даже при столь высокой степени компрессии, как 1:10 позволяют обеспечить отличное звучание, качество которого средним слушателем на средней аппаратуре оценивается как равное качеству звучания исходных аудиоданных.

Кодирование с потерями – это очень удобный, но, в отличие от беспотерного кодирования, достаточно опасный инструмент. Применяться lossy-кодирования должно там, где ему место. Совершенно очевидно, что кодированию с потерями ввиду самой его сути не место, например, в студийной звукозаписи. При этом совершенно нелогично отказываться от его использования, например, как упоминалось, в телефонии. Таким образом, очень важно уметь правильно пользоваться имеющимся под рукой инструментарием и, образно говоря, не использовать кувалду при огранке алмазов, равно как и пинцет на камennomломне.

Далее мы будем как синонимы использовать термины «метод» и «формат», так как собственно метод приводит к созданию формата.

## 16.2. Форматы без сжатия и без потерь

### 16.2.1. Формат WAV

WAVE или WAV является короткой формой записи **Wave Audio File Format** (реже именуемой как **Audio для Windows**). Этот формат является основным стандартом для хранения обычного несжатого звука в системе Windows. Как правило, для этого применяется кодирование методом линейной импульсно-кодовой модуляции (LPCM).

Несмотря на то, что WAV-файл может содержать сжатое аудио, наиболее обычным его применением является хранение как раз несжатого звука. Стандартным форматом Audio-CD, например, является звук в формате LPCM, с двумя каналами, частотой дискретизации 44,1 кГц и разрядностью 16 бит на сэмпл. Так как формат LPCM хранит несжатое аудио, которое абсолютно идентично оригиналу, это позволяет использовать его профессиональным пользователям и аудиоэкспертам для получения максимального качества звучания. Кро-

ме того, WAV-файлы могут быть изменены практически в любом аудиоредакторе.

WAV-файлы достаточно большие, что делает этот формат неудобным для обмена по сети Интернет, и это сильно подрывает его популярность. Однако этот формат, как правило, чаще всего используется для сохранения первоначального вида для файлов высокого качества в таких случаях, где размер свободного дискового пространства не является ограничением. Он также используется в программах для редактирования, где экономят время на сжатии и распаковке данных.

Несмотря на большой размер, формат WAV используется в некоторых странах для радиовещания (BBC в Соединенном Королевстве и система ABC D-Cart в Австралии).

### **16.2.2. Формат AIFF**

Фирма Apple позаимствовала формат IFF фирмы Electronic Arts для использования на платформе Macintosh и внесла некоторые изменения. В результате появился формат, названный Audio Interchange File Format (AIFF, формат файлов для обмена аудио). Оригинальный AIFF не поддерживал сжатые аудиоданные, поэтому был разработан еще один вариант Audio Interchange File Format Extension for Compression (AIFF-C или AIFC, формат файлов для обмена аудио с поддержкой компрессии). Файлы AIFF и AIFF-C почти идентичны, поэтому все, что говорится об AIFF, в равной степени относится и к AIFF-C.

Формат AIFF похож на формат WAV. Его особенностью является то, что он позволяет размещать вместе со звуком дополнительную информацию, в частности, сэмплы WaveTable (примеры звучания инструментов вместе с параметрами синтезатора), что улучшает качество итогового результата. Как и любые несжатые файлы, файлы AIFF занимают много места. Обычно для записи звука используются компакт-диски. Стандартный CD-файл AIFF является 16-битовым и с частотой дискретизации 44,1 кГц и имеет два канала для стереозвуча.

### **16.2.3. Форматы CD-DA, SACD и DVD-audio**

Формат CD-DA (Compact Disk – Digital Audio) появился в далеком 1979 году, благодаря усилиям компаний Sony и Philips. В этом формате применяется безкомпрессионный метод кодирования разрядностью 16 бит с частотой 44,1 кГц на двух дорожках (стерео). Появление Audio CD буквально за несколько лет убило выпуск виниловых пластинок, чего не могут ему простить большое количество ценителей музыки. Виниловый диск, или как говорят – формат LP, и по сей день остается самым натуральным и естественным источником звука. Но так как производство проигрывателей – «вертушек» и самих пласти-

нок перестало быть массовым, то и цена на такую продукцию стала доступной очень небольшому кругу меломанов.

Формат CD-DA – основной, первичный формат, из которого растет целое дерево форматов компакт-дисков (CD-I, Video CD, CD-Text, CD-R, CD-RW и т.п.). Этот формат определяет способ кодирования информации на диске и его структуру – до 99 дорожек, каждая из которых обычно представляет собой одно музыкальное произведение.

В адрес Audio CD было сказано много чего, от хвалебного до абсолютно отрицательного. Но одно утверждение неоспоримо. Качество диска напрямую зависит от качества студийной записи и последующего мастеринга. Если все это сделано достойно, то Audio CD с помощью хорошей Hi-Fi аппаратуры способен обеспечить вполне впечатляющий звук, который удовлетворит очень и очень многих. А наличие техники класса Hi-End для воспроизведения CD говорит о признании формата и искушенными любителями музыка.

Дальнейшим совершенствованием Audio CD стал формат Super Audio CD или SACD. Его разработали все те же Sony и Philips. Физическим носителем остался собственно сам компакт-диск CD. А вот метод кодирования был применен совершенно иной – технология прямого цифрового потока DSD (Direct Stream Digital). Этот метод использует одноканальную дискретизацию, но на большой частоте в 2 822,4 кГц. Такой подход позволяет почти в точности повторить аналоговый сигнал, коим изначально и является звук.

Теоретически, диапазон воспроизводимых частот может быть от 2 Гц до 100 кГц! Зачем такая избыточность? Ведь человеческое ухо не может слышать более 18 кГц (в среднем). Это верно. Но вспомните математику и физику – сложный аналоговый сигнал состоит из совокупности простейших гармоник и раскладывать такой сигнал на гармоники можно до бесконечности. Да, мы не слышим верхние гармоники, но именно они отвечают за достоверность деталей исходного сигнала, который мы прекрасно слышим. Поэтому, чем более широким является воспроизводимый диапазон, тем более естественным и детализованным мы воспринимаем звук.

Кроме того, диски формата SACD могут содержать не два канала, а уже шесть, что делает их пригодными к записи многоканального звука.

Зачастую можно услышать – у меня есть диск SACD и Audio CD с такой же записью, но я не чувствую разницы! А дело вот в чем. Большинство SACD дисков являются двухслойными – на верхнем слое записывается содержимое диска в формате PCM стерео, то есть делается обычный Audio CD, а вот на нижнем слое записывается содержимое методом DSD, – собственно SACD. Такое решение применено для полной совместимости диска на любой аппаратуре. Человек ставит диск SACD на свой CD проигрыватель и слышит... обычный Audio CD. Аппаратура должна поддерживать именно SACD, причем переключаться на второй слой. Ну и естественно, все остальные аудиокомпоненты также должны обеспечить звуковые возможности, заложенные в SACD. При воспроизведении, например, на компьютерной акустике, пусть даже и хорошей, вы действительно можете не почувствовать разницу.

Еще одним представителем качественного звука является DVD-Audio. Когда появился DVD для видео, то не воспользоваться столь емким (по тем временам) носителем для звука, было бы грех. Уже в 1998 году вся спецификация DVD-Audio была готова. В качестве кодека применен все тот же линейный PCM. Однако частота дискретизации применяется от 44,1 кГц и выше, да и разрядность может быть уже до 24 бит.

Вроде бы все хорошо, звучание и канальность гораздо выше, чем у обычного компакт-диска. Но высококачественный звук в формате 192 кГц 24 бита возможен только в двухканальном режиме. Дело в том, что сочетание физических особенностей DVD и кодека LPCM не могут обеспечить отдачу цифрового потока более чем 9,6 Мбит/с. А потребности многоканального HD Audio лежат выше. Такие ограничения весьма отрицательно повлияли на распространенность формата DVD-Audio.

Тогда за дело взялась компания Meridian Audio, которая понимала, что здесь скрыты гораздо более высокие возможности. Результатом её усилий явилось создание технологии кодирования MLP (Meridian Lossless Packing) или PPCM (Packed PCM). Этот кодек позволил записывать на диск многоканальный звук с качеством 192 кГц и 24 бит. Поэтому можно встретить диски, записанные в «старом» LPCM и в более прогрессивном MLP. Иногда из-за этого возникают недоразумения. Человек покупает DVD-Audio, ставит его на свой аппарат, поддерживающий такие диски, подключенный к весьма недешевому ресиверу и слышит... шум и ничего более! Увы, но не все, даже именитые ресиверы могут понять поток, кодированный MLP. Поэтому, приобретая DVD-Audio, будьте внимательны, на упаковке обозначен кодек. Ресиверы, поддерживающие MLP, естественно поддерживают и LPCM. В этом случае можно не опасаться несовместимости.

Какому формату отдать предпочтение? Это дело субъективное, решается индивидуально. Единственно, что хочу отметить – диски SACD имеют довольно несложную, но эффективную систему защиты от копирования, которую до сих пор никто не поборол. В потайных секторах спрятаны информация о диске и изготовителе, а также кодовый ключ, который должен быть считан проигрывателем перед началом воспроизведения. При перезаписи SACD эти данные не копируются, и такой диск любым SACD проигрывателем не читается. Защитные данные (PSP метки) могут быть скопированы только на лицензионном записывающем устройстве SACD.

В Интернете можно встретить копии и DVD-audio и SACD. Но в первом случае это точная копия, а во втором – это перекодированный другими кодеками SACD.

### **16.3. Форматы со сжатием без потерь**

#### **16.3.1. Формат FLAC**

Одним из самых популярных и свободных аудио-кодеков является FLAC (англ. Free Lossless Audio Codec – свободный беспотерный аудиокодек). Его

предназначение – сжатие звуковых данных без потерь качества. FLAC не допускает удаления никакой информации, которая находится в аудиопотоке.

По сути, FLAC является форматом сжатия данных, сходным с ZIP, но предназначен он для звуковых файлов, так как его алгоритмы лучше всего сжимают именно аудиопотоки, описывая их специальными математическими функциями прогнозирования.

FLAC поддерживает сжатие цифровых аудиозаписей практически любого качества и формата: до 24 бит глубины, 192-х кГц опорной частоты и восьми (7.1) каналов звука. Файлы FLAC могут содержать теги, изображения обложек и таблицы CUE. Таким образом, FLAC замечательно подходит как для ежедневного прослушивания музыки, так и для архивирования аудиокolleкций. А благодаря его поддержке десятками портативных и стационарных мультимедиа-устройств, прослушать записи, записанные в формате FLAC, можно практически везде: и на домашнем кинотеатре, и на своём смартфоне/планшете (включая устройства с ОС Android и iOS), и в машине.

Среди особенностей кодека FLAC стоит так же отметить:

- отсутствие патентной защиты формата FLAC и методов кодирования/декодирования;
- для кодирования и прямого декодирования FLAC не требуется много аппаратных ресурсов;
- посемпловая (точная) перемотка, которая важна не только для удобства прослушивания, но и для использования FLAC-файлов при редактировании и сведении звуковых дорожек в специальных программах;
- файлы FLAC проигрываются через сеть, не будучи загруженными полностью.

Декодеры и кодеры FLAC входят в состав стандартной установки практически всех современных дистрибутивов и поддерживаются большинством систем де/кодирования мультимедиа GNU/Linux (GStreamer, Xine и т.п.), программными проигрывателями, построенными как их базе, так и самостоятельными.

### 16.3.2. Формат ALAC

Apple Lossless (также известный как Apple Lossless Encoder, ALE, или Apple Lossless Audio Codec, ALAC) – это аудиокодек, разработанный Apple для сжатия цифровой музыки без потерь данных.

Данные, сжатые в формат Apple Lossless, хранятся в файлах-контейнерах MP4 с расширением .m4a. Несмотря на то, что Apple Lossless имеет такое же расширение файла, как и у AAC, это не AAC, кодек схож с другими lossless-кодеками, такими как FLAC и др.

Тесты показали, что сжатые в ALAC файлы получаются меньше примерно от 40% до 60% от размера оригиналов в зависимости от вида музыки, подобно другим lossless-форматам. Кроме того, скорость, с которой он может быть декодирован, делает его полезным для устройств с ограниченными вычислительными ресурсами, таких, как iPod.

Apple Lossless Encoder был представлен в качестве одного из компонентов QuickTime 6.5.1 28 апреля 2004 года и был встроен в iTunes 4.5. Кодек используется также в AirPort Express в AirTunes реализации.

Декодер для Apple Lossless формата есть в открытых исходных кодах библиотеки libavcodec. Это означает, что любой мультимедийный проигрыватель на основе этой библиотеки, включая проигрыватели VLC и MPlayer, может воспроизводить Apple Lossless-файлы.

27 октября 2011 года, спустя 7 лет после первого релиза, Apple решила открыть исходники своего кодека, и теперь они доступны на официальной странице проекта.

### 16.3.3. Формат WavPack

WavPack является полностью открытым форматом аудиосжатия без потерь, высокого качества с потерями и уникального гибридного режима.

В режиме по умолчанию (без потерь) WavPack действует подобно WinZip архиватору для аудиофайлов. Коэффициент сжатия зависит от исходного материала, но обычно колеблется от 30% до 70%.

Формат WAVPack имеет также «гибридный» режим, который обеспечивает все преимущества сжатия без потери качества. При этом создаются два файла: один небольшой высокого качества, но с потерей (.wv) и второй, который позволит восстановить оригинал. Первый может проигрываться и сам по себе, второй – файл «коррекции», который позволит полностью восстановить исходное звучание.

Из особенностей WAVPack следует отметить кросс-платформенность, поддержку потокового вещания, поддерживание многоканальных записей и высоких частот дискретизации, быстрое декодирования.

Формат также примечателен тем, что позволяет хранить многоканальную музыку (например, 5.1) а не только моно- или стерео.

### 16.3.4. Формат APE

Появлением аудиоформата APE мы обязаны Мэтью Т. Эшланду – разработчику lossless-кодека Monkey's Audio\*, который сегодня является одним из популярнейших алгоритмов для сжатия цифрового звука без потерь. APE-формат используется для хранения звука в сжатом виде с возможностью последующего восстановления музыкального файла в оригинальном виде.

Более того, сохраняются дополнительные служебные данные, к которым можно отнести информацию о маркерах, регионах (расставленных, например, при помощи звукового редактора Sony Sound Forge), а также параметры петли (loop) и проч., имеющие место в оригинальном Wave-файле. К тому же, наряду

---

\* О странном названии своего детища автор получал так много вопросов, что даже вынес их в FAQ: «Q: Why name a lossless compression technology "Monkey's Audio"? A: Well...who doesn't love monkeys?».



с оригинальным алгоритмом сжатия, автор включил туда еще несколько менее известных алгоритмов – WavPack, RKAU и др., что делает этот пакет наиболее универсальным.

Фактически, перед нами настоящий, полноценный архиватор, обладающий рядом преимуществ перед своими традиционными конкурентами типа WinRAR:

- более высокая степень сжатия;
- более высокая (вплоть до различий на порядок) скорость работы;
- возможность прямого воспроизведения сжатых файлов;
- поддержка информационных тегов с вытекающей возможностью создания удобных в использовании звуковых архивов.

Доступно несколько режимов сжатия: от самого быстрого и наименее эффективного до самого медленного, но обеспечивающего наиболее сильное сжатие. По степени сжатия Monkey's Audio превосходит большинство аналогичных продуктов, включая FLAC, WavPack, WaveZIP, а также традиционные архиваторы типа WinZip и WinRAR.

Отметим, что плеер Monkey's Audio меньше загружает процессор при воспроизведении, чем многие другие программы, воспроизводящие подобные форматы, сжатые с потерями. Помимо оригинального плеера в комплект поставки входят подключаемые модули (плагины) для воспроизведения файлов в WinAmp и Microsoft Media Player. Плагины поддерживают кириллицу в тегах. Из интересных его особенностей можно выделить возможность нормализации файлов в реальном времени. Эта функция доступна при воспроизведении файлов, созданных при помощи конвертора Monkey's Audio версий 3.0 и выше.

К сожалению, Monkey's Audio долгое время распространялся без исходных кодов модулей кодирования/декодирования, а поддержку Monkey's Audio в сторонние продукты предлагалось добавлять с использованием заранее скомпилированной Windows-библиотеки. Поэтому перенос Monkey's Audio на другие платформы был затруднён, и на сегодня встроенная поддержка формата Monkey's Audio представлена не очень широко. В то же время описанный выше формат FLAC, несмотря на чуть менее эффективное сжатие, поддерживается исключительно широко – во многом благодаря тому, что программа для кодирования в формат FLAC распространяется с исходными кодами и лицензией, допускающей их свободное изменение и разработку независимых реализаций. В результате поддержка FLAC встроена во многие программные проигрыватели и характерна для самых разных платформ, включая Linux, Android и аппаратные плееры известных производителей (например, WD TV Live, ASUS O!Play и проч.).

### 16.3.5. Формат TTA

TTA представляет собой свободный формат со сжатием без потерь. Он был разработан в 2009 году группой российских разработчиков во главе с Александром Джуриком. Файлы этого формата имеют расширение .tta, размер

зависит от битрейта, степени сжатия, длительности трека и других характеристик.

Особенности TTA:

- компрессия до 30 % без потерь;
- алгоритм кодирования/декодирования в режиме реального времени;
- высокая скорость работы и минимальные системные требования;
- может быть скомпилирован на большом количестве различных платформ;
- бесплатный и открытый исходный код и документация;
- простой и открытый формат данных;
- подключаемые модули для большинства популярных программ-проигрывателей.

К сожалению, формат несколько лет не развивается (самой свежей версией формата является версия 2.1, изданная 11 марта 2011 года), поэтому все меньше и меньше устройств и программных плееров его поддерживают.

### 16.3.6. Формат SHN

Shorten (SHN) – это один из довольно известных форматов, который сжимает стандартные звуковые файлы WAV в два раза, сохраняя при этом их исходное качество.

На странице этого формата <http://www.etree.org> можно бесплатно скачать плагин для такого популярного музыкального проигрывателя, как WinAmp (модуль для этого плеера называется ShnAmp) и другие инструменты для работы со звуком в этом формате. При этом, в отличие от многих конкурентов, программа Shorten имеет стандартный Windows-интерфейс, позволяющий изменять различные параметры сжатия.

При сжатии в SHN не теряются ни низкие частоты, ни другие музыкальные нюансы, поэтому его можно смело рекомендовать любителям «живого» звука. Создатель этого формата – британский ученый Тони Робинсон (Tony Robinson). Идея SHN-компрессии пришла к нему во время работы над распознаванием речи. Проводя свои исследования, он и понятия не имел, что спустя почти десятилетие сотни тысяч музыкальных меломанов примут его технологию в качестве стандарта для записи «живых» концертов. Сегодня исследования Тони Робинсона продолжает в качестве хобби американский ученый Диана Хамайлтон, она же поддерживает ресурс по SHN в Интернете. SHN, вероятно, не завоеует в Сети широкую популярность, так как типичный двухчасовой концерт занимает в этом формате примерно 1 Гбайт, но для истинных ценителей файлы SHN – один из основных источников вдохновения.

### 16.3.7. Формат OptimFROG

OptimFROG – это алгоритм сжатия без потерь, главная цель которого – максимально уменьшить размер аудио файлов. Он чем-то напоминает ZIP-сжатие, но этот алгоритм высокоспециализирован для звука.

OptimFROG имеет один из лучших показателей сжатия, который обычно варьируется от 25% (тихая классическая музыка) до 70% (шумная рок-музыка). Формат реализован практически на всех платформах и имеет полнофункциональные плагины на всех проигрывателях. В формате присутствует оптимальная поддержка для всех форматов импульсно-кодовой модуляции вплоть до 32 бит. Можно также создавать самораспаковываемые архивы, с небольшим довеском к файлу в 54 кбайт.

OptimFROG использует новую технологию аудиосжатия – концепцию декорелляции стерео (совместно с оптимальным предсказателем), которая была введена в OptimFROG, начиная с версии 4.0b (декабрь 2001). Благодаря этому нововведению, эта технология позволила достичь значительного улучшения сжатия по сравнению с существующими показателями аудиокодеров без потерь.

Проект активно развивался до 2006 года, вплоть до версии 4.600ex. Затем последовал очень большой перерыв и, казалось, что на этом проект будет похоронен. Но почти через 5 лет, 12 февраля 2011 года разработчик проекта решил порадовать нас очередной версией 4.910b.

## **16.4. Форматы со сжатием с потерями**

### **16.4.1. Форматы семейства MPEG**

Форматам семейства MPEG мы уделим много внимания, ввиду их широчайшей распространенности.

Работы по анализу качества и оценке эффективности алгоритмов компрессии цифровых аудиоданных с целью их последующей стандартизации начались в 1988 году, когда была образована международная экспертная группа MPEG (Moving Pictures Experts Group). Итогом работы этой группы на первом этапе явилось принятие в ноябре 1992 года международного стандарта MPEG-1 ISO/IEC 11172-3 (здесь и далее цифра 3 после номера стандарта относится к той его части, где речь идет о кодировании звуковых сигналов).

К настоящему времени достаточное распространение получили еще нескольких стандартов MPEG, таких, как MPEG-2 ISO/IEC 13818-3, 13818-7 и MPEG-4 ISO/IEC 14496-3.

В отличие от этого в США, в качестве альтернативы стандартам MPEG, был разработан стандарт Dolby AC-3. Несколько позже четко сформировались две разные платформы цифровых технологий для радиовещания и телевидения – это DAB (Digital Audio Broadcasting), DRM (Digital Radio Mondiale), DVB (с наземной DVB-T, кабельной DVB-C, спутниковой DVB-S разновидностями) и ATSC (Dolby AC-3). Первая из них (DAB, DRM) продвигается Европой, ATSC – США. Отличаются эти платформы, прежде всего, выбранным алгоритмом компрессии цифровых аудиоданных, видом цифровой модуляции и процедурой помехоустойчивого кодирования звуковых сигналов (ЗС).

Несмотря на значительное разнообразие алгоритмов компрессии цифро-

вых аудиоданных, структура кодера, реализующего такой алгоритм обработки сигналов, может быть представлена в виде обобщенной схемы, показанной на рис. 16.1. В блоке временной и частотной сегментации исходный звуковой сигнал разделяется на субполосные составляющие и сегментируется по времени. Длина кодируемой выборки зависит от временных характеристик звукового сигнала. При отсутствии резких выбросов по амплитуде используется так называемая длинная выборка. В случае же резких изменений амплитуды сигнала длина кодируемой выборки существенно уменьшается, что дает более высокое разрешение по времени. Решение об изменении длины кодируемой выборки принимает блок психоакустического анализа, вычисляя значение психоакустической энтропии сигнала. После сегментации субполосные сигналы нормируются, квантуются и кодируются.

Обычно при компрессии цифровых аудиоданных используется энтропийное кодирование, при котором одновременно учитываются как свойства слуха человека, так и статистические характеристики звукового сигнала. Однако основную роль при этом играют процедуры устранения психоакустической избыточности. Учет закономерностей слухового восприятия звукового сигнала выполняется в блоке психоакустического анализа. Здесь по специальной процедуре для каждого субполосного сигнала рассчитывается максимально допустимый уровень искажений (шумов) квантования, при котором они еще маскируются полезным сигналом данной субполосы. Блок динамического распределения бит в соответствии с требованиями психоакустической модели для каждой субполосы кодирования выделяет такое минимально возможное их количество, при котором уровень искажений, вызванных квантованием, не превышал бы порога их слышимости, рассчитанного психоакустической моделью.

Алгоритмы сжатия звука MPEG основаны на описанных в главе 14 свойствах восприятия звуковых сигналов слуховым аппаратом человека. Использование эффекта маскировки позволяет существенно сократить объем звуковых данных, сохраняя приемлемое качество звучания. Принцип здесь достаточно простой: «Если какая-то составляющая не слышна, то и передавать ее не следует». На практике это означает, что в области маскирования можно уменьшить число битов на отсчет до такой степени, чтобы шум квантования все еще оставался ниже порога маскирования. Таким образом, для работы звукового кодера необходимо знать пороги маскирования при различных комбинациях воздействующих сигналов. Вычислением этих порогов занимается важный узел в кодере – психоакустическая модель слуха (ПАМ). Она анализирует входной сигнал в последовательные отрезки времени и определяет для каждого блока отсчетов спектральные компоненты и соответствующие им области маскирования. Входной сигнал анализируется в частотной области, для этого блок отсчетов, взятых во времени, с помощью дискретного преобразования Фурье преобразуется в набор коэффициентов при компонентах частотного спектра сигнала. Разработчики кодеров компрессии имеют значительную свободу в построении модели, точность функционирования которой зависит от требуемой степени сжатия.



Рис. 16.1. Обобщенная структурная схема кодера с компрессией цифровых аудиоданных

**Полосное кодирование и блок фильтров.** Наилучшим методом кодирования звука, учитывающим эффект маскирования, оказывается полосное кодирование. Сущность его заключается в следующем. Группа отсчетов входного звукового сигнала, называемая кадром, поступает на блок фильтров (БФ), который содержит, как правило, 32 полосовых фильтра. Учитывая сказанное ранее о критических полосах и маскировании, хорошо бы иметь в блоке фильтров полосы пропускания, по возможности совпадающие с критическими. Однако практическая реализация цифрового блока фильтров с неравными полосами достаточно сложна и оправдана только в устройствах самого высокого класса. Обычно используется блок фильтров с равными полосами пропускания, охватывающих с небольшим взаимным перекрытием всю полосу слышимых частот (рис. 16.2). При частоте дискретизации 48 кГц полоса пропускания секции фильтра составляет 750 Гц.

Далее, в каждой полосе с помощью ПАМ анализируется спектральный состав сигнала и оценивается, какую часть сигнала следует передавать без сокращений, а какая лежит ниже порога маскирования и может быть перекувантована на меньшее число бит. Поскольку в реальных звуковых сигналах максимальная энергия обычно сосредоточена в нескольких частотных полосах, может

оказаться, что сигналы в других полосах не содержат слышимых звуков и могут вообще не передаваться.

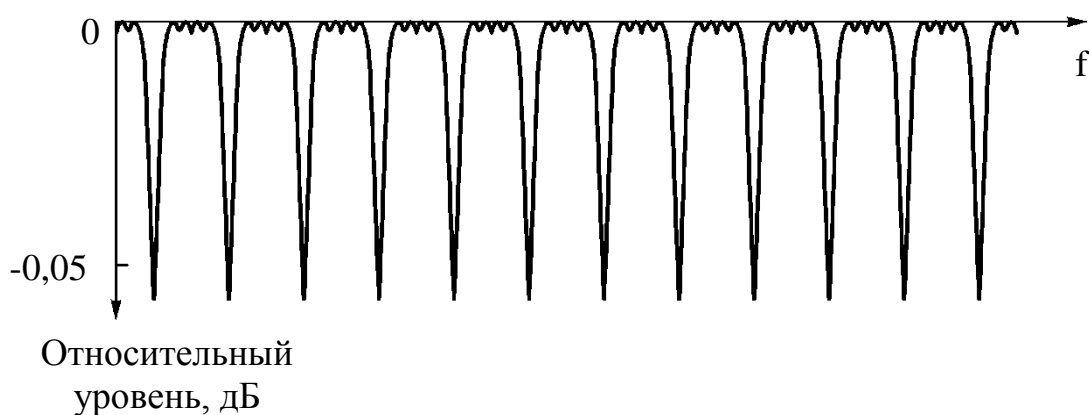


Рис. 16.2. Нормированная АЧХ блока фильтров

Для сокращения максимального динамического диапазона определяется максимальный отсчет в кадре и вычисляется масштабирующий множитель, который приводит этот отсчет к верхнему уровню квантования. Эта операция аналогична компрессии в аналоговом вещании. На этот же множитель умножаются и все остальные отсчеты. Масштабирующий множитель передается к декодеру вместе с кодированными данными для коррекции коэффициента передачи последнего. После масштабирования производится оценка порога маскирования и осуществляется перераспределение общего числа битов между всеми полосами.

**Квантование и распределение битов.** Все вышеописанные операции не сокращали заметно объем данных, они были как бы подготовительным этапом к собственно сжатию звука. Как и при компрессии графических сигналов, основное сжатие происходит в квантователе. Исходя из принятых ПАМ решений о переквантовании отсчетов в отдельных частотных полосах, квантователь изменяет шаг квантования таким образом, чтобы приблизить шум квантования в данной полосе к вычисленному порогу маскирования. При этом на отсчет может понадобиться вместо 16...20 всего 4 или 5 битов.

Принятие решения о передаваемых компонентах сигнала в каждой частотной полосе происходит независимо от других, и требуется некий «диспетчер», который выделит бы каждому из 32 полосных сигналов часть из общего ресурса битов, соответствующую значимости этого сигнала в общем ансамбле. Роль такого диспетчера выполняет устройство динамического распределения битов.

Возможны три стратегии распределения битов:

- В системе с прямой адаптацией кодер производит все расчеты и посылает результаты декодеру. Преимущество данного способа в том, что алгоритм распределения битов может обновляться и изменяться, не затрагивая работы декодера. Однако для пересылки дополнительных данных декодеру расходуется заметная часть общего запаса битов.
- Система с обратной адаптацией осуществляет одинаковые расчеты и в

кодере, и в декодере, поэтому нет необходимости пересылать декодеру дополнительные данные. Однако сложность и стоимость декодера значительно выше, чем в предыдущем варианте, и любое изменение алгоритма требует обновления или переделки декодера.

Компромиссная система с прямой и обратной адаптацией разделяет функции расчета распределения битов между кодером и декодером таким образом, что кодер производит наиболее сложные вычисления и посылает декодеру только ключевые параметры, затрачивая на это относительно немного битов, декодер проводит лишь несложные вычисления. В такой системе кодер не может быть существенно изменен, но настройка некоторых параметров допустима.

Обобщенная схема звукового кодера и декодера, выполняющих цифровое сжатие согласно описанному алгоритму с прямой адаптацией, приведена на рисунке 16.3,а. Сигналы на выходе частотных полос объединяются в единый цифровой поток с помощью мультиплексора.

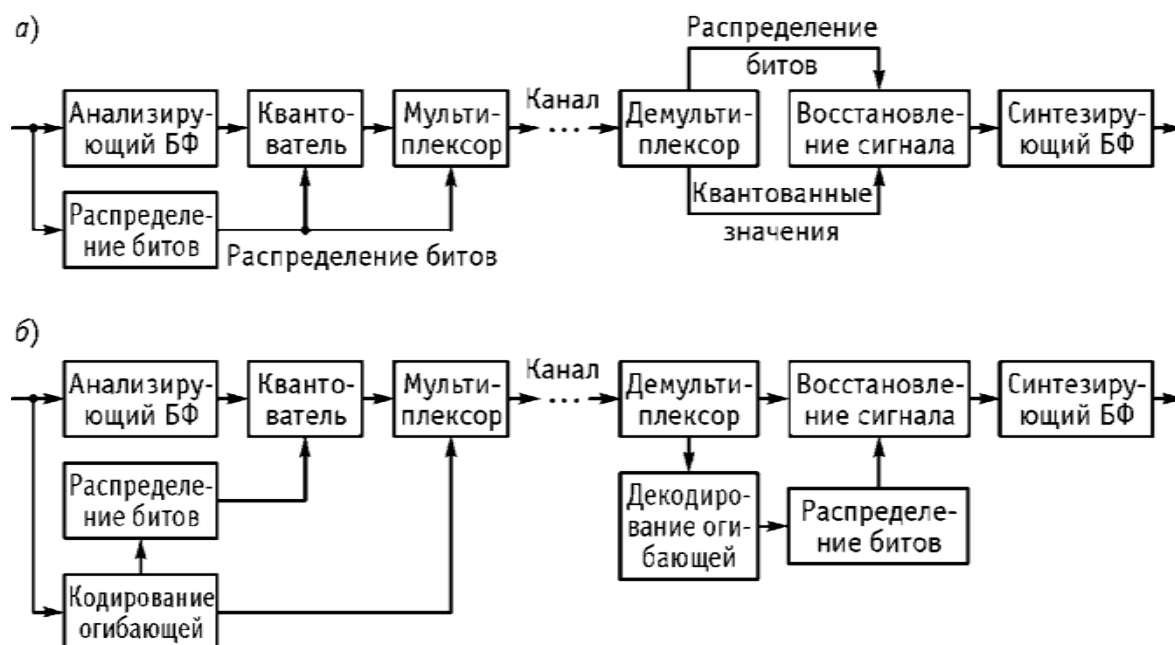


Рис. 16.3. Обобщенная структурная схема звукового кодера и декодера  
а) с прямой адаптацией, б) с обратной адаптацией

В декодере процессы происходят в обратном порядке. Сигнал демультимплексируется, делением на масштабирующий множитель восстанавливаются исходные значения цифровых отсчетов в частотных полосах и поступают на синтезирующий (объединяющий) блок фильтров, который формирует на выходе поток звуковых данных, адекватный входному с точки зрения психофизиологического восприятия звукового сигнала человеческим ухом. Вариант схемы с обратной адаптацией показан на рисунке 16.3, б.

### Стандарт MPEG-1

Звуковая часть стандарта MPEG-1 (ISO/IEC 11172-3) включает в себя три алгоритма различных уровней сложности: Layer (уровень) I, Layer II и Layer III.

Общая структура процесса кодирования одинакова для всех уровней. Однако, несмотря на схожесть уровней в общем подходе к кодированию, уровни различаются по целевому использованию и внутренним механизмам. Для каждого уровня определен свой цифровой поток (общая ширина потока) и свой алгоритм декодирования. Уровни имеют различия в обеспечиваемом коэффициенте сжатия и качестве звучания получаемых потоков.

MPEG-1 предназначен для кодирования сигналов, оцифрованных с частотой дискретизации 32, 44,1 и 48 кГц. Стандарт нормирует для всех трех уровней следующие номиналы скоростей цифрового потока: 32, 48, 56, 64, 96, 112, 192, 256, 384 и 448 кбит/с, число уровней квантования входного сигнала – от 16 до 24. Стандартным входным сигналом для кодера MPEG-1 принят цифровой сигнал AES/EBU (двухканальный цифровой звуковой сигнал с разрядностью квантования 20 ... 24 бита на отсчет). Предусматриваются следующие режимы работы звукового кодера:

- одиночный канал (моно);
- двойной канал (стерео или два моноканала);
- joint stereo (сигнал с частичным разделением правого и левого каналов).

Важнейшим свойством MPEG-1 является полная обратная совместимость всех трех уровней. Это означает, что каждый декодер может декодировать сигналы не только своего, но и нижележащих уровней.

В основу алгоритма **Уровня I** положен формат DCC (Digital Compact Cassette), разработанный компанией Philips для записи на компакт-кассеты. Кодирование первого уровня применяется там, где не очень важна степень компрессии и решающими факторами являются сложность и стоимость кодера и декодера. Кодер Уровня I обеспечивает высококачественный звук при скорости цифрового потока 384 кбит/с на стереопрограмму.

**Уровень II** требует более сложного кодера и несколько более сложного декодера, но обеспечивает лучшее сжатие – «прозрачность» канала достигается уже при скорости 256 кбит/с. Он допускает до 8 кодирований/декодирований без заметного ухудшения качества звука. В основу алгоритма Уровня II положен популярный в Европе формат MUSICAM.

Самый сложный **Уровень III** включает все основные инструменты сжатия: полосное кодирование, дополнительное ДКП, энтропийное кодирование, усовершенствованную ПАМ. За счет усложнения кодера и декодера он обеспечивает высокую степень компрессии – считается, что «прозрачный» канал формируется уже на скорости 128 кбит/с, хотя высококачественная передача возможна и на более низких скоростях.

В стандарте рекомендованы две психоакустические модели: более простая Модель 1 и более сложная, но и более высококачественная Модель 2. Они отличаются алгоритмом обработки отсчетов. Обе модели могут использоваться для всех трех уровней, но Модель 2 имеет специальную модификацию для Уровня III.

MPEG-1 оказался первым международным стандартом цифрового сжатия звуковых сигналов, и это обусловило его широкое применение во многих об-



лостях: вещании, звукозаписи, связи и мультимедийных приложениях. Уровень II вошел составной частью в европейские стандарты спутникового, кабельного и наземного цифрового ТВ вещания, в стандарты звукового вещания, записи на DVD. Уровень III (его еще называют MP-3) нашел широкое применение в цифровых сетях с интегральным обслуживанием (ISDN) и в сети Интернет. Подавляющее большинство музыкальных файлов в сети записаны именно в этом стандарте.

**Кодер первого уровня.** Рассмотрим более подробно работу кодера первого уровня (рис 16.4). Блок фильтров (БФ) обрабатывает одновременно 384 отсчета звуковых данных и распределяет их с соответствующей субдискретизацией в 32 полосы, по 12 отсчетов в каждой полосе с частотой дискретизации  $48/32 = 1,5$  кГц. Длительность кадра при частоте дискретизации 48 кГц составляет 8 мс. Упрощенная психоакустическая модель оценивает только частотное маскирование. Для каждой полосы назначается как можно более грубое квантование, но так, чтобы шум квантования не превышал порога маскирования. Масштабирующие множители имеют разрядность 6 бит и перекрывают динамический диапазон 120 дБ с шагом 2 дБ. В цифровом потоке передаются также 32 кода распределения битов. Они имеют разрядность 4 бита и указывают на длину кодового слова отсчета в данной полосе после переквантования.

В декодере (рис. 16.5) отсчеты каждой частотной полосы выделяются демультимплексором и поступают на перемножитель, который восстанавливает их первоначальный динамический диапазон. Перед этим восстанавливается исходная разрядность отсчетов – отброшенные в квантователе младшие разряды заменяются нулями. Коды распределения битов помогают демультимплексору разделить в последовательном потоке кодовые слова, принадлежащие разным отсчетам и передаваемые кодом с переменной длиной слова. Затем отсчеты всех 32 каналов подаются на синтезирующий блок фильтров (БФ), который проводит повышающую дискретизацию и расставляет отсчеты должным образом во времени, восстанавливая исходную форму сигнала.

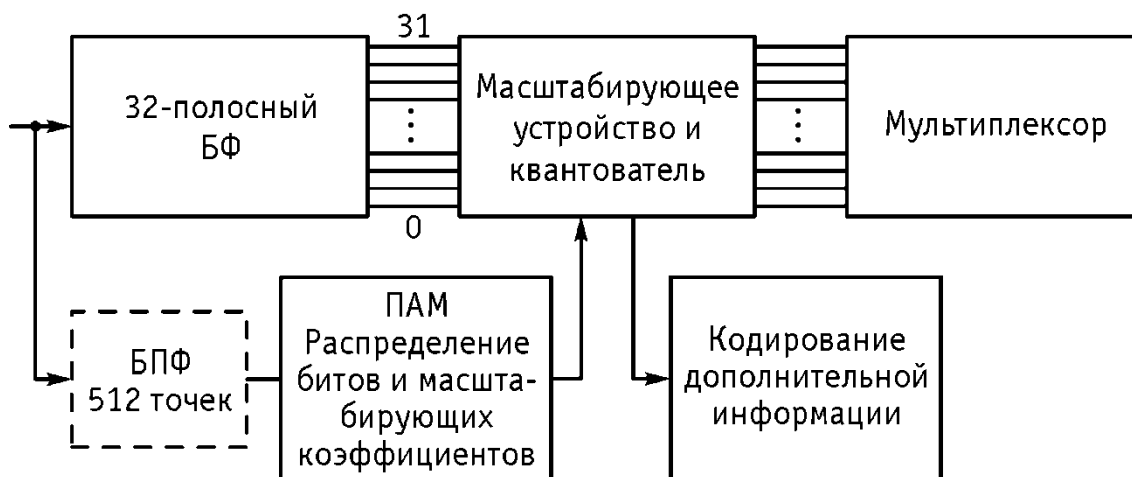


Рис. 16.4. Структурная схема звукового кодера MPEG-1 первого и второго уровней (пунктиром показан модуль быстрого преобразования Фурье (БПФ), добавляемый на втором уровне)

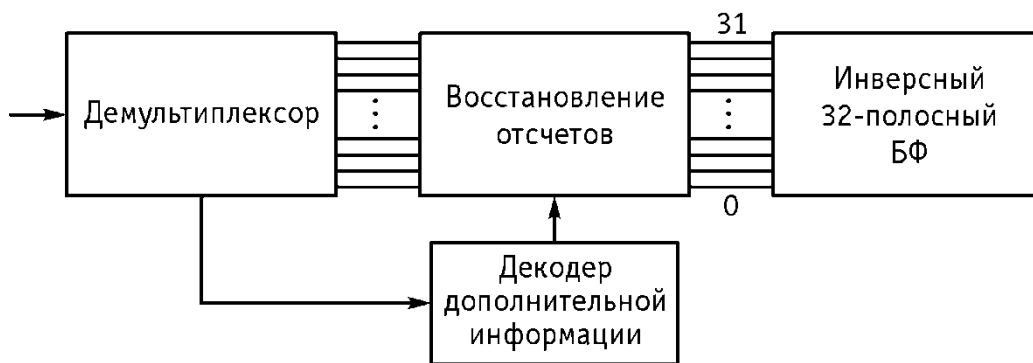


Рис. 16.5. Структурная схема звукового декодера MPEG-1 первого и второго уровней

**Кодер второго уровня.** В кодере второго уровня устранены основные недостатки базовой модели полосного кодирования, связанные с несоответствием критических полос слуха и реальных полос БФ, из-за чего в низкочастотных участках диапазона эффект маскирования практически не использовался. Величина кадра увеличена до 24 мс при дискретизации 48 кГц, одновременно обрабатываются уже 1152 отсчета (3 субкадра по 384 отсчета). В качестве входного сигнала для ПАМ используются не полосные сигналы с выхода БФ, а спектральные коэффициенты, полученные в результате 512-точечного преобразования Фурье входного сигнала кодера. Благодаря увеличению и временной длительности кадра и точности спектрального анализа эффективность работы ПАМ возрастает.

На втором уровне применен более сложный алгоритм распределения битов. Полосы с номерами от 0 до 10 обрабатываются с четырехразрядным кодом распределения (выбор любой из 15 шкал квантования), для полос с номерами от 11 до 22 выбор сокращается до 3 разрядов (выбор одной из 7 шкал), полосы с номерами от 23 до 26 предоставляют выбор одной из 3 шкал (двухбитовый код), а полосы с номерами от 27 до 31 (выше 20 кГц) не передаются. Если шкалы квантования, выбранные для всех блоков кадра, оказываются одинаковыми, то номер шкалы передается только один раз.

Еще одно существенное отличие алгоритма второго уровня в том, что не все масштабирующие множители передаются по каналу связи. Если различие множителей трех последовательных субкадров превышает 2 дБ не более чем в течение 10% времени, передается только один набор множителей и это дает экономию расходуемых битов. Если в данной полосе происходят быстрые изменения уровня звука, передаются два или все три набора масштабирующих множителей. Соответственно, декодер должен запоминать номера выбранных шкал квантования и масштабирующие множители и применять их при необходимости к последующему субкадру.

**Кодер третьего уровня.** Кодер Уровня III использует усовершенствованный алгоритм кодирования с дополнительным ДКП. Структурная схема кодера показана на рис. 16.6.

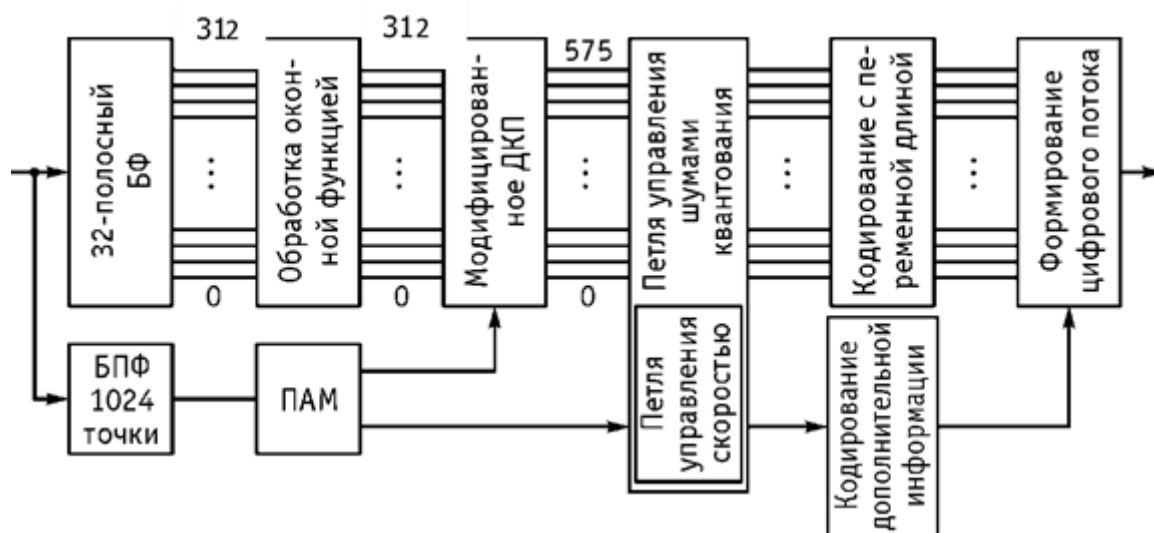


Рис. 16.6. Структурная схема звукового кодера третьего уровня

Основной недостаток кодеров второго уровня – неэффективная обработка быстро изменяющихся переходов и скачков уровня звука – устраняется благодаря введению двух видов блоков ДКП – «длинного» с 18 отсчетами и «короткого» с 6 отсчетами. Выбор режима осуществляется адаптивно путем переключения оконных функций в каждой из 32 частотных полос. Длинные блоки обеспечивают лучшее частотное разрешение сигнала со стандартными характеристиками, в то время как короткие блоки улучшают обработку быстрых переходов. В одном кадре могут быть как длинные, так и короткие блоки, однако общее число коэффициентов ДКП не изменяется, так как вместо одного длинного передаются три коротких блока. Для улучшения кодирования применяются также следующие усовершенствования:

- Неравномерное квантование (квантователь возводит отсчеты в степень  $3/4$  перед квантованием для улучшения отношения сигнал-шум; соответственно, декодер возводит их в степень  $4/3$  для обратной линеаризации).
- В отличие от кодеров первого и второго уровней, на третьем уровне масштабирующие множители присваиваются не каждой из 32 частотных полос БФ, а полосам масштабирования – участкам спектра, не связанным с этими полосами и примерно соответствующим критическим полосам.
- Энтропийное кодирование квантованных коэффициентов кодом Хаффмана.
- Наличие «резервуара битов» – запаса, который кодер создает в периоды стационарного входного сигнала.

Кодер третьего уровня более полно обрабатывает стереосигнал. Если кодеры нижележащих уровней работают только в режиме кодирования по интенсивности, когда левый и правый каналы в полосах выше 2 кГц кодируются как один сигнал (но с независимыми масштабирующими множителями), кодер третьего уровня может работать и в режиме «сумма-разность», обеспечивая бо-

лее высокую степень сжатия разностного канала. Стереосигнал раскладывается на средний между каналами и разностный. При этом второй кодируется с меньшей скоростью. Это позволяет несколько увеличить качество кодирования в обычной ситуации, когда каналы по фазе совпадают. Но это приводит и к резкому его ухудшению, если кодируются сигналы, не совпадающие по фазе. Заметим, что фазовый сдвиг практически всегда присутствует в записях, оцифрованных с аудиокассет, но встречается и на CD, особенно если сам CD был записан в свое время с аудиоленты.

В рамках третьего уровня кодирование стереосигнала осуществляется тремя различными методами:

- **Joint Stereo (MS/LS Stereo)** заключается в том, что для некоторых частотных диапазонов оставляется уже даже не разностный сигнал, а только отношение мощностей сигнала в разных каналах. Понятно, что для кодирования этой информации используется еще меньшая скорость. В отличие от всех остальных, этот метод приводит к потере фазовой информации, но выгода от экономии места в пользу среднего сигнала оказывается выше, если речь идет об очень низких скоростях. Этот режим по умолчанию используется для высоких частот на скоростях от 96 кбит/с и ниже. Но, как уже говорилось, при применении данного режима происходит потеря фазовой информации. Кроме того, теряется также любой противофазный сигнал.

- **Dual Channel** – каждый канал получает ровно половину потока и кодируется отдельно как монофонический сигнал. Метод рекомендуется главным образом в случаях, когда разные каналы содержат принципиально разные сигналы, например, звук на разных языках.

- **Stereo** – каждый канал кодируется отдельно, но кодер может принять решение отдать одному каналу больше места, чем другому. Это может быть полезно в том случае, когда после отброса части сигнала, лежащей ниже порога слышимости или полностью маскируемой, код не полностью заполняет выделенный для данного канала объем, и кодер имеет возможность использовать это место для кодирования другого канала. Этим, например, избегается кодирование «тишины» в одном канале, когда в другом есть сигнал. Данный режим используется на скоростях выше 192 кбит/с, но применим и на более низких скоростях порядка 128 ... 160 кбит/с.

Основные используемые кодеры III Уровня – кодеры от фирмы XingTech, кодеры от фирмы FhG IIS и кодеры, основанные на исходном коде ISO.

Кодеры от XingTech не отличаются высоким качеством кодирования, но вполне подойдут для кодирования электронной музыки. Благодаря своей скорости они остаются идеальными кодерами для музыки, не требующей высокого качества кодирования.

Кодеры от FhG IIS известны наивысшим качеством кодирования на низких и средних скоростях, благодаря наиболее подходящей для таких скоростей психоакустической модели.

Заслуживает внимания кодер MP3Pro, разработанный компанией Coding Technologies вместе с Tomson Multimedia и институтом Fraunhofer. Формат

MP3Rго является развитием III Уровня (MP3). MP3Rго является совместимым с MP3 назад (полностью) и вперед (частично), то есть файлы, закодированные с помощью MP3Rго, можно воспроизводить в обычных проигрывателях. Однако качество звучания при этом заметно хуже, чем при воспроизведении в специальном проигрывателе. Это связано с тем, что файлы MP3Rго имеют два потока аудио, в то время как обычные проигрыватели распознают в них только один поток, то есть обычный MPEG-1 Layer 3.

В MP3Rго использована новая технология – SBR (Spectral Band Replication). Она предназначена для передачи верхнего частотного диапазона. Дело в том, что предыдущие технологии использования психоакустических моделей имеют один общий недостаток: все они работают качественно, начиная со скорости 128 кбит/с. На более низких скоростях начинаются различные проблемы: либо для передачи звука необходимо обрезать частотный диапазон, либо кодирование приводит к появлению различных артефактов. Новая технология SBR дополняет использование психоакустических моделей. Передается (кодируется) чуть более узкий диапазон частот, чем обычно (то есть с обрезанными «верхами»), а верхние частоты воссоздаются (восстанавливаются) уже самим декодером на основе информации о более низких частотных составляющих. Таким образом, технология SBR применяется фактически не столько на стадии сжатия, сколько на стадии декодирования. Второй поток данных, о котором говорилось выше, как раз и есть та минимальная необходимая информация, которая используется при воспроизведении для восстановления верхних частот.

Качество звучания MP3Rго можно назвать субъективно очень хорошим даже при скорости потока 64 кбит/с, при этом субъективно несложные композиции при такой скорости воспринимаются не хуже, чем MP3 128 кбит/с. Однако необходимо учитывать тот факт, что такое звучание достигается искусственным путем, и что слышимый сигнал представляет собой уже не столько оригинал, сколько синтезированную копию оригинала.

Остальные кодеры ведут свое происхождение от кодов ISO. Существует два основных направления развития – оптимизация кода по скорости и оптимизация алгоритма по качеству. Первое направление наилучшим образом представлял кодер BladeEnc, в котором используется первоначальная модель ISO, но проведено много оптимизаций кода, а вторую модель представляет mpegEnc.

## Стандарт MPEG-2

MPEG-2 это расширение MPEG-1 в сторону многоканального звука.

MPEG-2 учитывает различия режима передачи многоканального звука, в том числе пятиканальный формат, семиканальный звук с двумя дополнительными громкоговорителями, применяемыми в кинотеатрах с очень широким экраном, расширения этих форматов с низкочастотным каналом. Соответствующее расположение громкоговорителей показано в таблице 16.1. В данном случае в числителе дроби указывается число фронтальных каналов, в знаменателе – число каналов, излучаемых сзади.

Таблица 16.1. Иерархия многоканальных звуковых систем

Система	Каналы	Обозначение	Расположение громкоговорителей
Моно	M	1/0	
Моно + моно	M	1/1	
Двухканальная стерео	L/R	2/0	
Двухканальная стерео + 1 окружающий	L/R/Ms	2/1	
Двухканальная стерео + 2 окружающих	L/R/Ls/Rs	2/2	
Трехканальная стерео	L/C/R	3/0	
Трехканальная стерео + 1 окружающий	L/C/R/Ms	3/1	
Трехканальная стерео + 2 окружающих	L/C/R/Ls/Rs	3/2	

Одной из разновидностей многоканального звука является многоязычное звуковое сопровождение. Оно может осуществляться либо передачей отдельного цифрового потока для каждого языка, либо добавлением нескольких (до 7) языковых каналов со скоростью 64 кбит/с к многоканальному потоку 384 кбит/с. Возможна передача дополнительных звуковых каналов для людей с ухудшением зрения и слуха (с описанием сцены в первом случае и отдельным каналом диалогов во втором).

Как же обеспечивается совместимость этих сложных многокомпонентных сигналов с относительно простым декодером MPEG-1? В кодере MPEG-2 сначала с помощью матрицы формируются комбинированный двухканальный сигнал, совместимый со стереосигналом MPEG-1, и набор вспомогательных сигналов, не совместимых с ним и служащих для восстановления многоканального сигнала в декодере MPEG-2 (рис. 16.7, а). При кодировании двухканальный сигнал укладывается в структуру пакетированного элементарного потока звука,

совместимого с MPEG-1, и может прочитываться соответствующим декодером. Остальные компоненты после кодирования размещаются в других структурных единицах цифрового потока и доступны только декодеру MPEG-2.

Учитывая широкое распространение в мире системы Dolby Pro Logic и совместимость ее с обычным стереоканалом, разработчики звукового стандарта MPEG-2 заложили алгоритм формирования стереосигнала в таком виде, как его формирует указанная система. Владельцы декодера Dolby Pro Logic могут теперь получить многоканальный сигнал двумя способами: либо непосредственно с выхода декодера MPEG-2, либо, подав комбинированный стереосигнал с выхода более простого декодера MPEG-1 на вход декодера Pro Logic, который выделит из него многоканальный сигнал (рис. 16.7, б). Соответствующий интерфейс определен в стандарте IEC61937 и основан на линейной передаче звуковых данных с ИКМ и скоростью до 1536 кбит/с.

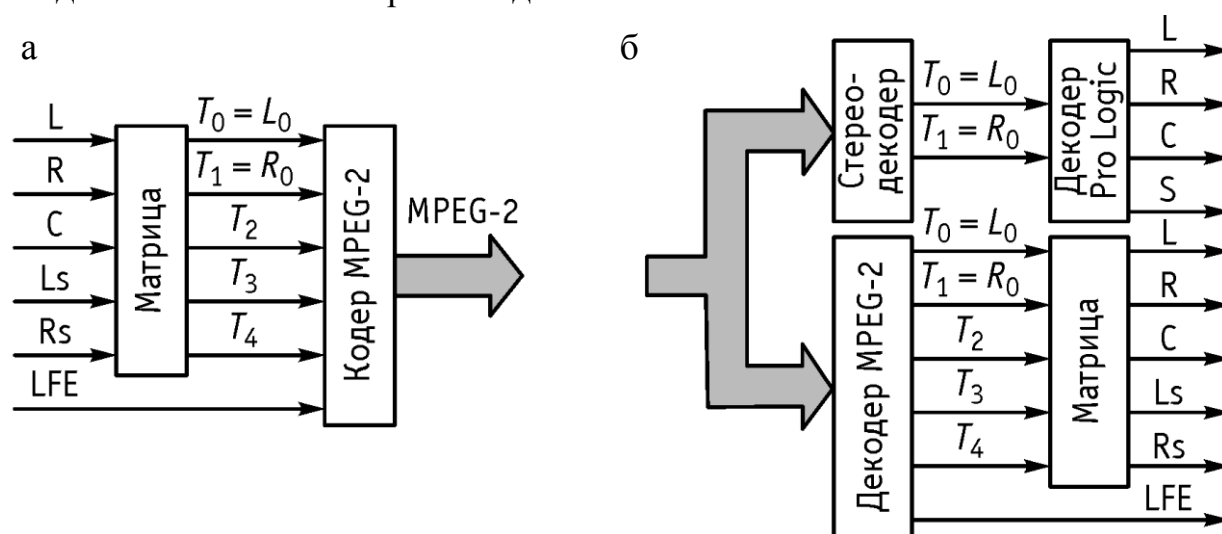


Рис.16.7. Обработка многоканального звукового сигнала в кодере и декодере MPEG-2: а) кодер б) декодер

### Формат MPEG-2 AAC

Одной из лучших современных систем сжатия звука признана система AAC (Advanced Audio Coding – усовершенствованная система кодирования звука). В отличие от других методов сжатия звуковых данных, принятых в MPEG-2, она не обладает свойством обратной совместимости – декодеры MPEG-1 не могут декодировать сигнал AAC. По своей эффективности AAC вдвое превосходит Уровень II и в 1,4 раза Уровень III стандарта MPEG-1. Высококачественное воспроизведение звука достигается уже при скорости цифрового потока 96 кбит/с. В стандарте поддерживается широкий набор параметров и возможностей: частоты дискретизации от 8 до 96 кГц, моно- и стереосигналы, три профиля – Основной (Main), Упрощенный (LC – Low complexity), Масштабируемый (SSR – Scalable Sampling Rate). Одновременно может быть описано до 16 звуковых программ, состоящих из большого числа сигналов звука и данных (до 48 основных, 15 низкочастотных, 15 многоязычных каналов, 15 потоков данных).

Как и самый сложный из предшествующих, Уровень III из MPEG-1/2 AAC использует все средства цифрового сжатия – полосное кодирование, неравномерное квантование, кодирование кодом Хаффмана, итерационные алгоритмы распределения битов. Однако он улучшает алгоритм Уровня III во многих деталях и использует новые эффективные средства кодирования для улучшения качества звучания при очень низких скоростях.

Основные улучшения коснулись следующего:

- Улучшено разрешение по частоте благодаря использованию 1024 частотных полос по сравнению с 576 в алгоритме Уровня III. При этом короткие блоки имеют длину всего 256 отсчетов, что обеспечивает эффективную обработку быстрых изменений звукового сигнала. Переключение производится по результатам анализа поведения входного сигнала во времени.

- В Основном профиле применена оптимальная схема предсказания назад, обеспечивающая более высокую эффективность обработки изменений основного тона.

- Применен более гибкий алгоритм кодирования в режиме joint stereo, как в режиме кодирования по интенсивности, так и в режиме «сумма-разность».

- Применен улучшенный код Хаффмана, что дополнительно сокращает расход битов.

Структурная схема звукового кодера формата AAC Основного профиля приведена на рис. 16.8. Новым элементом по сравнению с Уровнем III можно считать функцию управления шумами во временной области (TNS – Temporal Noise Shaping), позволяющую формировать огибающую шума во временной области по предсказанию в частотной области. Устройство осуществляет фильтрацию сигнала с выхода ДКП набором из нескольких переключаемых фильтров и квантование полученных групп отсчетов. Коэффициенты квантования передаются в общем цифровом потоке декодеру, который перераспределяет огибающую шума в реконструируемом сигнале с учетом спектрального распределения энергии сигнала. Это полезно при быстрых изменениях уровня звукового сигнала, когда кодер не успевает переключить блок фильтров на обработку коротких блоков и возникают искажения в виде пред-эхо.

На данный момент существуют пять разновидностей формата AAC:

1. Homeboy AAC.
2. AT&T a2b AAC.
3. LiquifierPROAAC.
4. Astrid/Quartex AAC.
5. AACPlus.

Все эти модификации несовместимы между собой, имеют собственные кодеры/ декодеры и неодинаковы по качеству. В целях ознакомления и сравнения этих модификаций между собой рассмотрим все представленные форматы этого семейства.

- **Homeboy AAC.** Это самый первый общедоступный кодер, использующий алгоритмы AAC. К сожалению, в процессе модификации авторами был допущен ряд ошибок, что привело к искажениям, легко слышимыми даже неопыт-



ным ухом. Это сыграло свою роль в отталкивании широких масс от этого формата. Однако он имел и ряд преимуществ. Так, в комплекте с кодеком поставлялся самый первый проигрыватель AAC файлов BitAAC, отличающийся высокой скоростью и приятным интерфейсом, но главное – впервые при использовании алгоритмов AAC было достигнуто качество MP3 128 кбит/с на гораздо более низких скоростях.

Сейчас этот формат уже мертв, но неизвестно зачем до сих пор появляются бесплатные кодеры AAC, которые на самом деле являются разнообразными интерфейсами к кодеку Homeboy AAC.

- **AT&T a2b AAC.** Компания AT&T являлась одним из крупнейших инвесторов, вложивших деньги в разработку алгоритмов MPEG-2 AAC. Вначале алгоритмы сжатия звука интересовали компанию AT&T только как средство для компрессии записанной голосовой информации, передаваемой затем по цифровым телефонным сетям. Но оценив затем все те выгоды, которые сулил быстрый выход на рынок новейших средств компрессии аудиоданных, особенно в области коммерческого распространения музыки по сети Internet, компания AT&T забрала причитающиеся ей как инвестору исходные коды формата MPEG-2 AAC и пустилась в самостоятельные разработки.

С этой целью было создано отдельное подразделение компании, которое занималось разработкой собственного формата компрессии аудиоданных, базирующегося на алгоритмах MPEG-2 AAC, и его дальнейшим продвижением. Этот формат получил название a2b.

В формат AAC был внесен целый ряд изменений. Так, основной упор был сделан на улучшение качества, но как следствие, при этом уменьшилась степень компрессии аудиоданных. Можно сказать, что a2b – это формат с самой низкой степенью сжатия из всего семейства AAC. Так, по степени сжатия a2b AAC превосходит MP3, но на 15...20% уступает другим форматам семейства AAC. Не удалось добиться и какого-то исключительного качества. Качество звучания a2b со скоростью 96 кбит/с существенно лучше, чем качество MP3 со скоростью 128 кбит/с, но хуже, чем у форматов Liquid Pro AAC.

Помимо изменения соотношения размер/качество, в формат a2b были внесены такие новшества, как возможность включения текста песни и изображений (например, обложка альбома, фотография исполнителя и т.д.) внутрь аудиофайла. Впервые также появилась возможность создавать самовоспроизводящиеся аудиокомпозиции, то есть аудиофайл преобразуется в запускаемый exe-файл, в который включается необходимый для воспроизведения декодер, при этом размер файла возрастает примерно на 170...180 кбайт.

Но отсутствие общедоступного кодека и ничтожно малое количество аудиокомпозиций в формате a2b, по сравнению с MP3, делают этот формат совершенно не перспективным, особенно на фоне многочисленных конкурентов, продукты которых обладают гораздо более высокими показателями.

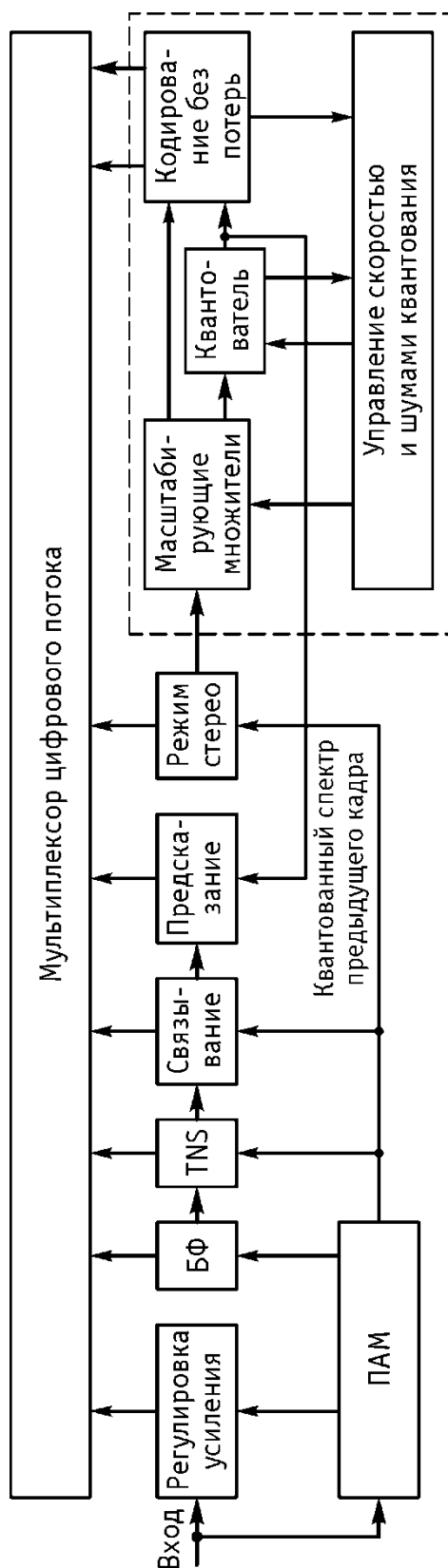


Рис. 16.8. Структурная схема звукового кодера AAC

▪ **Liquid Pro AAC.** Молодая малоизвестная фирма Liquid Audio в тесной кооперации с институтом Fraunhofer сумела создать формат аудиокompрессии, который во всех тонкостях следовал алгоритмам MPEG-2 AAC и, помимо этого, содержал ряд нововведений. В результате этого сотрудничества появился формат аудиосжатия Liquid Pro AAC, файлы которого имеют расширение .LQT. Этот формат обеспечивает самое высокое качество, а также лучшее соотноше-

ние размер/качество. Данный формат непрерывно развивается, и все дефекты звучания и ошибки программ, обнаруженные пользователями, немедленно исправляются в новых версиях. Помимо этого компания Liquid Audio непрерывно работает над улучшением кодека и уменьшением размера файлов LQT.

В тестировании, организованном MPEG, было предложено отличить на слух оригинальную CD-композицию и ту же композицию, сжатую Liquid Pro AAC со скоростью 256 кбит/с, и 80% экспертов не смогли найти разницы. Liquid Pro AAC со скоростью 96 кбит/с звучит качественнее других кодеков AAC с той же скоростью и лучше, чем MP3 со скоростью 128 кбит/с. В данном формате также, как и в AT&T a2b AAC, предусмотрена возможность вставки в звуковые файлы текста и изображений.

▪ **Astrid/Quartex AAC.** Этот стандарт, в отличие от всех остальных, создан не большими компаниями, а одним единственным программистом. Никому неизвестный\* и скромный программист создал свою собственную систему компрессии. В сообщениях, распространенных на нескольких форумах, он предлагал протестировать кодер и выложил его в интернете бесплатно. Восклицательные знаки в описании этого формата начали появляться через несколько дней, когда вышла новая версия популярного плеера MP3\VQF K-Jofol, для которого автор формата Astrid/Quartex AAC написал декодирующий модуль. Кодер по сжатию и качеству звучания превосходил кодировщики от AT&T AAC и YAMAHA VQF! При этом качество звука практически не уступало хваленому Liquifier Pro AAC. По степени сжатия и качеству звучания формат превосходит все остальные, кроме Liquifier Pro AAC, и является объективно лучшим среди тех, что имеют общедоступные кодеры и доступные для распространения в интернет звуковые файлы. По сравнению с MP3 обеспечивается аналогичное качество при потоке на 30% меньше.

▪ **AACPlus.** 9 октября 2002 года компания Coding Tech анонсировала выход нового кодека AACPlus. AACPlus основан на совершенно аналогичной MP3 Pro идее использования технологии SBR. Разница заключается лишь в том, что в MP3Pro основной поток кодируется в MP3 (MPEG-1 Layer III), а в AACPlus – в AAC (MPEG-2/4 AAC).

## Стандарт MPEG-4

При всем множестве новаторских подходов MPEG-4 звуковые разделы стандарта – возможно, наиболее интересная и революционная его часть. Объектный подход к изображениям – откровение для телевидения, но в ряде систем анимации он применялся и ранее. Что же касается объектного звука, то системы, сопоставимой с MPEG-4 по комплексности подхода, спектру примененных технологий и диапазону применений, просто не существует. Она заслуживает

---

\* Есть мнение, что программист является одним из бывших или нынешних разработчиков формата AAC (или MPEG-4), которому надоело наблюдать за тем, что его детище становится форматом для избранных, имеющих деньги, и он решил сделать его общедоступным.

отдельного разговора, а здесь мы можем лишь бегло перечислить ее возможности.

Как и другие типы объектов, аудиообъекты входят в структуру дерева сцены и описываются на языке BIFS, что позволяет располагать источники звука в трехмерном пространстве сцены, управлять их характеристиками и применять к ним различные эффекты независимо друг от друга, перемещать источник звука при перемещении связанного с ним визуального объекта и т. п.

Для кодирования аудиообъектов MPEG-4 предлагает наборы инструментов, как для живых звуков, так и для синтезированных. MPEG-4 устанавливает синтаксис двоичных потоков и процесс декодирования в терминах наборов инструментов, это позволяет применять различные алгоритмы сжатия. Диапазон предлагаемых стандартом скоростей потока для кодирования живых звуков – от 2 до 128 кбит/с и выше. При кодировании с переменным потоком минимальная средняя скорость может оказаться еще меньше, порядка 1,2 кбит/с. Для звука высшего качества применяется алгоритм AAC, который дает качество лучше, чем у CD, при потоке в 10 с лишним раз меньше. Другой возможный алгоритм кодирования живого звука – TwinVQ. Для кодирования речи предлагаются алгоритмы: HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding) – для скоростей потока 2...4 кбит/с и CELP (Code Excited Linear Predictive) – для скоростей 4...24 Кбит/с. Предусмотрены различные механизмы масштабируемости.

Особый раздел – синтез речи. На входы синтезатора поступает текст, а также различные параметры «окраски» голоса – ударения, изменения высоты тона, скорости произнесения фонем и т. п. Можно также задать для «говорящего» пол, возраст, акцент и т. п. В текст можно вставлять управляющую информацию, обнаружив которую синтезатор синхронно с произнесением соответствующей фонемы передаст те или иные параметры или команды другим компонентам системы. Параллельно с голосом может генерироваться поток параметров для анимации лица. Отметим, что, как и всегда, MPEG-4 устанавливает правила работы, интерфейс синтезатора, но не его внутреннее устройство.

Наконец, самая интересная часть «звуковой» составляющей – средства синтеза произвольных звуков и музыки. Здесь MPEG-4 предлагает в качестве стандарта подход, разработанный в колыбели многих передовых технологий – MIT Media Lab и названный Structured Audio (SA) – «Структурированный звук». Опять-таки, это не конкретный метод синтеза, а формат описания методов синтеза, в котором можно задать любой из существующих методов. Для этого вводятся два языка: SAOL (Structured Audio Orchestra Language) и SASL (Structured Audio Score Language). Как следует из названия, первый задает оркестр, а второй – то, что этот оркестр должен играть. Оркестр состоит из инструментов. Каждый инструмент представлен сетью элементов цифровой обработки сигналов – синтезаторов, цифровых фильтров, которые все вместе и синтезируют нужный звук. С помощью SAOL можно запрограммировать практически любой нужный инструмент, природный или искусственный звук. Сначала в декодер загружается набор инструментов, а затем поток данных SASL заставляет этот оркестр играть, управляя процессом синтеза. Таким способом

обеспечивается одинаковое звучание на всех декодерах при очень низком входном потоке и высокой точности управления.

Стандартом допускается также управление, основанное на протоколе MIDI, – но этот метод не столь точен, а набор инструментов ограничен. Для простых декодеров стандартизован также формат для работы с волновыми таблицами – в этом случае в декодер загружаются набор сэмплов и необходимые фильтры и эффекты.

#### 16.4.2. Формат Ogg Vorbis

Сразу после своего появления формат MP3 приобрел невероятную популярность у пользователей персональных компьютеров. Подумать только, теперь на диск можно поместить в 10 раз больше звуковой информации, при этом сохранив приемлемое качество. Созданные таким образом файлы можно без проблем пересылать через Интернет, использовать в переносных устройствах, собирать музыкальные коллекции. Но не все было так безоблачно. Появившись, он практически сразу стал причиной многочисленных скандалов, споров, преследований.

Все началось с того, что компании Fraunhofer Institute и Thomson Multimedia, имеющие патент на данный формат, объявили, что он, увы, совсем не бесплатный, и потребовали некоторых отчислений за каждый кодек. Но и этого мало: постоянно в Сети появляются сообщения о том, что условия лицензирования данного продукта могут в корне измениться, и теперь придется платить и за каждый распространенный экземпляр декодера (проигрывателя). Вдоволь наслушавшись споров и возмущений общественности, остановились (пока) на отчислениях только с коммерческих программ и бытовых устройств, но кто знает, что нас ждет впереди. С другой стороны, в странах, особо тщательно следящих за соблюдением патентов, могут возникнуть проблемы при его использовании.

В июле 2002 года миру был официально представлен оригинальный формат сжатия звука, именуемый Ogg Vorbis. Спонсором проекта на первом этапе была компания iCast, транслировавшая и распространявшая музыку через Интернет. В случае успеха и перехода на новый формат она могла бы сэкономить на отчислениях, но, к сожалению, до выхода своего детища компания разорилась.

Итак, что же представляет собой новый формат? OggVorbis разработан группой Xiphophorus и является всего лишь небольшой частью из мультимедиа-проекта OggSquish, в котором будет помимо форматов аудиосжатия еще и кодеки видеокompрессии. Впрочем, это все в будущем, а пока OggVorbis – единственный реально существующий формат из этого семейства.

OggVorbis принадлежит к тому же типу форматов аудиосжатия, что и MP3, AAC, VQF, PAC, QDesign AIFF и WMA, то есть к форматам сжатия с потерями. Психоакустическая модель, используемая в OggVorbis, по принципам действия близка к MP3 и иже с ними, но и только – математическая обработка и

практическая реализация этой модели в корне отличается, что позволяет авторам объявить свой формат совершенно независимым от всех предшественников.

Главное неоспоримое преимущество формата OggVorbis – это его полная открытость и бесплатность. Казалось бы, что тут удивительного? WMA тоже бесплатен и Astrid/Quartex... Да, это так, но авторам этих форматов и в голову не пришло опубликовать исходные коды своих разработок, а Xiphophorus именно это и сделала. А это означает, что формат совершенно открыт для коммерческого и некоммерческого использования, его коды можно модифицировать без всяких ограничений, группа разработчиков оставляет за собой лишь право утверждать новые спецификации формата.

Правда, Xiphophorus все еще имеет возможность закрыть этот открытый формат и сделать его полностью коммерческим, но по заявлениям разработчиков, они этого делать не собираются. Выгоды от доступного, свободного от лицензий формата перевешивают выгоды получения денег за лицензии на его использование – именно так считают создатели OggVorbis и в качестве примера указывают на MP3. Разве достигла бы такого размаха индустрия MP3, если бы сам формат не стал бы бесплатен для конечных пользователей? Xiphophorus собирается пойти еще дальше и сделать формат бесплатным не только для пользователей, но и разработчиков программного обеспечения и аппаратуры. Создатели формата не требуют никаких лицензионных плат за любое использование спецификации OggVorbis. Сторонние разработчики вполне свободны создавать и продавать (или отдавать) свои собственные кодеры и декодеры, использующие спецификацию OggVorbis. Но если используются программные продукты, созданные именно Xiphophorus, например, кодек в виде DLL-библиотеки или SDK-комплекты OggVorbis, в составе коммерческих разработок, необходимо будет за них заплатить. Все бесплатно только для некоммерческих проектов, то есть распространяющихся свободно и вместе с исходными кодами. Подобный подход заранее определяет мультиплатформенность OggVorbis.

Помимо бесплатности, OggVorbis, как спецификация, обладает также еще целым рядом неоспоримых достоинств. Так, верхняя планка частоты выборки составляет не 44 кГц, как у всех форматов, а 48 кГц, что, безусловно, более близко к живой музыке. Кроме того, число каналов не ограничено и достигает 255! Представьте себе акустическую систему из 255 акустических систем! Поистине, формат сделан с запасом. А ведь наступит когда-нибудь время, когда 48 кГц и 255 каналов станут нормой для компьютерного музыкального центра, а не экзотикой как сейчас.

OggVorbis использует математическую психоакустическую модель отличную от MP3, и это сказывается на звучании. MP3 и OggVorbis трудно сравнивать, но в целом звучание OggVorbis гораздо лучше.

При кодировании кодеки OggVorbis используют переменную скорость потока от 8 до 512 кбит/с. Последняя цифра выглядит чрезмерной, но не стоит забывать, сколько каналов OggVorbis поддерживает одновременно и, возможно,

что если такие аудиокomпозиции появятся, то даже полумегабитной скорости потока может оказаться недостаточно.

Спецификация OggVorbis содержит очень гибкий и развитый механизм включения комментариев и иллюстраций в тело аудиокomпозиции. Заголовок комментария легко расширяется и позволяет включать тексты любой длины и сложности, перемежающиеся изображениями. Можно разместить хоть целую книгу о любимом исполнителе.

Что же касается скорости кодирования, то тут пока нет никаких выдающихся результатов, – скорость кодека OggVorbis не быстрее кодека MP3.

OggVorbis, как и MP3, изначально разрабатывался как сетевой потоковый формат. Это свойство является очень важным, учитывая мультиплатформенную направленность формата OggVorbis. Интернет-радиостанция, использующая низкоскоростные версии OggVorbis, сможет вещать сразу на всех платформах, тогда как такая же радиостанция, использующая для передачи WMA, будет ограничена только пользователями Windows.

Именно благодаря открытости формата об OggVorbis удалось узнать то, что не удавалось для всех других форматов (разве что, кроме MP3) – как он работает. Все остальные конкуренты MP3 тщательно скрывают внутренние алгоритмы компрессии, и лишь OggVorbis выставляет их напоказ. Разумеется, мы не будем рассматривать исходные коды формата, ограничившись простым описанием того, что происходит внутри кодека при кодировании/декодировании аудиокomпозиций.

На первом этапе кодирования композиция временно разбивается на блоки таким образом, чтобы их было целое число. Размер блоков варьируется. Далее в ход вступают алгоритмы анализа. Кодер анализирует содержимое аудиокomпозиции с целью добиться ее максимально компактного представления. При анализе происходит разделение блоков входящего аудиопотока на индивидуальные и повторяющиеся. Это разделение необходимо при кодировании с использованием переменной скорости потока. Соответственно, индивидуальные и повторяющиеся блоки будут кодироваться с разными скоростями.

Далее идет анализ содержимого блоков для выявления нужных и ненужных частот и тонов, то есть в игру вступает психоакустическая модель. Так как OggVorbis, как и MP3, это формат с потерями, то качество формата во многом зависит от того, насколько эти потери серьезны, и насколько удачно их можно замаскировать. Психоакустическая модель работает вполне корректно, качество довольно высокое, по крайней мере, выше, чем у MP3. Насколько можно понять, психоакустическая модель OggVorbis практически не сокращает диапазон верхних звуковых частот, вернее, сокращает, но верхняя планка поднята достаточно высоко, чтобы удовлетворить даже самый изысканный слух. Итак, верхние частоты не трогают, но уменьшать композицию надо. За счет чего?

В OggVorbis главный акцент сделан на анализе маскирующего влияния сигналов, звучащих одновременно. Эта часть сделана гораздо более эффективно, чем у MP3. В ходе анализа находятся сильные сигналы и сигналы, которые маскируются этими сигналами, то есть находятся в своеобразной звуковой «те-

ни». Затем рассчитывается среднее время маскировки для каждого из маскируемых сигналов. Все сигналы, лежащие в области звуковой «тени» и попадающие в расчетное время маскировки, помечаются на удаление. Конечно, всегда найдутся люди, не вписывающиеся в среднестатистическое большинство. У них эффект маскировки может проходить быстрее, чем за рассчитанное кодеком время и может ощущаться отсутствие определенных частот и сигналов. Но обычные слушатели ничего не заметят.

На следующей стадии происходит удаление информации, которую алгоритмы анализа признали излишней.

После стадий анализа, удаления избыточной информации и собственно кодирования происходит преобразование уже конечной информации в потоковый формат `bitstream OggSquish`. Подобно тому, как ASF является форматом пересылки данных для всего семейства Windows Media, так и `bitstream OggSquish` является единым форматом пересылки потока данных для всего мультимедиа семейства `OggSquish`.

Полученная информация разбивается на кадры (фреймы). Каждый кадр имеет упорядоченную структуру и заголовок, содержащий номер кадра, его контрольную сумму и прочую инженерную информацию. Контрольная сумма нужна для коррекции ошибок. В том случае если кадр испорчен, декодер его воспроизводить не будет, то есть кадр пропускается, и воспроизведение начинается со следующего целого кадра. Начало и конец каждого кадра отмечается специальными сигналами-маркерами. И так до образования последнего кадра и концовки, содержащей код окончания файла.

При декодировании или синтезе звука происходит обратный процесс. В целом декодирование проще, так как отсутствует стадия анализа, но оно осложнено технологиями, назначение которых состоит в том, чтобы улучшить качество звучания. В процессе воспроизведения качество звука повышается путем использования интерполяции, которая позволяет смягчить потери при использовании низких скоростей. Качество композиции повышается, но при этом теряется четкость, особенно слоговая разборчивость человеческого голоса. Подобный подход оправдывает себя на мелодиях без голоса, но для песен и арий из опер он малопригоден. На высокой скорости интерполяция минимальна, заглаживаются лишь те «дыры», которые образовались на месте звуков оказавшихся в «тени» сильных тонов. Кроме интерполяции используются разнообразные шумовые фильтры, позволяющие смягчить или совсем убрать шумы квантования.

### 16.4.3. Формат WMA

Перед тем как приступить к рассмотрению этого формата, хотелось бы разрешить некоторую путаницу, которая возникла вокруг его названия. Некоторые авторы в своих статьях называют этот формат форматом аудиосжатия WMA (Windows Media Audio), а некоторые – форматом аудио- (видео) сжатия ASF (Advanced Streaming Format). Так вот, ASF никоим образом не является



форматом сжатия аудио- или видеоинформации. ASF – это формат передачи информационного потока и вполне годится для пересылки как аудио- и видеоданных, так и вообще любой информации. При этом ASF не сжимает данные.

ASF обеспечивает непрерывность получения потока данных, столь необходимую любому сетевому формату мультимедиа. Для достижения этой цели формат использует наряду с уже известными и проверенными решениями, такими как разбивку передаваемой информации на кадры, буферизацию для обеспечения одновременного получения и обработки данных, проверку контрольной суммы кадров для коррекции ошибок, и некоторые технологические новинки, являющиеся секретом фирмы Microsoft.

На практике сочетание ASF + мультимедиа-кодек является примерным аналогом широко распространенной в Unix-системах парой tar + gzip. Gzip – это архиватор, а tar – это менеджер-«сборщик», собирающий все сжатые файлы и каталоги в один файл архива. Здесь ситуация весьма схожа. Кодек – это своего рода мультимедиа-архиватор, а формат ASF – менеджер пересылки, отвечающий за передачу данных.

Нас интересует, собственно, только звуковая часть кодеков, которые используются вместе с ASF. Именно та часть, которую Microsoft (устав от неразберихи, связанной с ASF) наконец-то, решив стандартизировать свои мультимедиа-форматы, требует называть WMA.

Несмотря на то, что WMA как стандарт появился сравнительно недавно, чуть ли не последним из всех конкурентов MP3, история этого формата, вернее его кодека, началась гораздо раньше.

Компания Voxware, известная своими разработками в области мультимедиа и большим интересом ко всему новому и передовому, примкнула к проекту TwinVQ, разработанному творческой группой Human Interface Laboratory, с целью развития и усовершенствования этого формата, который на тот момент был еще очень сырым и не оптимизированным. Содружество это увенчалось успехом – стандарт VQF был доработан, а компания Voxware, убедившись, что и без нее дела идут неплохо, решительно пустилась в самостоятельное плавание. Используя собственные новаторские идеи, а также некоторые фрагменты технологии TwinVQ, приобретя на эту разработку определенные права, Voxware создала собственный формат, который реально воплотился в кодеке под названием Voxware Audio CODEC v4.0. Когда были выпущены первые три версии – неизвестно, а этот кодек прославился сразу по нескольким номинациям.

Во-первых, в этом кодеке было впервые достигнуто качество MP3 128 при скорости всего 64 кбит/с!

Во-вторых, на этот формат обратили внимание сразу несколько крупных телефонных компаний, так как сжатая этим кодеком голосовая информация обладала даже при скорости всего 64 кбит/с очень высокой разборчивостью. Экспертами было установлено, что при скорости 64 кбит/с слоговая разборчивость достигала 90%, в то время как у других форматов аудиосжатия подобный показатель наблюдается при скорости в 2...2.5 раза больше.

На некоторых высокоскоростных цифровых телефонных сетях США и Канады была апробирована система сжатия голосовой информации, имеющая в своей основе аппаратную реализацию разработок Voxware. Данная система позволяла вести по одной линии четыре отдельных разговора одновременно без каких-либо искажений.

И, наконец, поддержка этого кодека была включена компанией Microsoft в бесплатный Media Player. Чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть список поддерживаемых форматов – там есть строчка «Voxware Audio CODEC». Если учесть тот факт, что Microsoft до сих пор так и не удосужилась поддержать VQF и все разновидности AAC, то такая поддержка очень важна.

Но помимо этих неоспоримых достоинств кодек обладает также массой недостатков, представляя собой недоделанный, сырой продукт. Собственно, после выпуска работающей версии кодека пыл Voxware несколько поулег, ведь эта область уже более или менее отработана, а на свете столько всего нового, неоткрытого. В общем, выпуска следующей версии кодека пользователи ждали бы долго, если бы не произошло одно событие...

А это событие заключается в том, что в один прекрасный день руководство фирмы Microsoft вдруг осознало, что множество компаний в мире производит программные кодеки для сжатия звуковой информации. При этом компания Microsoft, которая бьется за звание крупнейшего мирового монополиста, еще ничего не сделала в этой области, продолжая использовать в качестве основного звукового формата своих операционных систем несжатую аудиоинформацию в виде WAV-файлов. Правда, регулярно выходят новые версии Media Player, в котором постоянно увеличивается список поддерживаемых форматов, но нет ни одного кодека, на котором было бы написано «Сделано компанией Microsoft». Надо что-то срочно делать, но что, если своих разработок нет?

И Microsoft поступила, как она поступала уже не раз, в точности в соответствии своему главному принципу «Зачем изобретать велосипед, если его уже изобрел кто-то другой? Его надо купить!». Да, своей популярностью операционная система Windows во многом обязана именно тем компонентам, которые были в свое время удачно куплены и впоследствии доработаны и разрекламированы.

Достаточно привести всего несколько примеров. В феврале 1995 года компания Microsoft, что называется, буквально «на корню» закупила маленькую британскую компанию Render Morphics и на основе ее революционных разработок в области трехмерной графики под общим названием RealityLabs создала один из своих главнейших программных продуктов, на долгие годы определивший популярность операционной среды Windows. Речь идет о DirectX – комплекте программ и библиотек, который является ни много, ни мало, как одним из китов, на котором покоится популярность Windows.

Другой опорный кит был куплен Microsoft у творческой группы National Center for Supercomputing Applications (NCSA). Речь идет о некогда знаменитом Интернет-браузере Mosaic или вернее NCSA Mosaic. Уже немногие помнят

те далекие времена, когда на рынке веббраузеров были всего два представителя: Netscape и Mosaic. В ходе маркетинговых баталий Mosaic проиграл битву, но уникальные разработки не пропали, а были куплены Microsoft и после тщательной переработки превращены в продукт, который теперь знают все – Microsoft Internet Explorer. Начиная с 1996 года этот браузер не только бесплатен, но и весьма навязчиво предлагается всем пользователям Windows, являясь неотъемлемой частью этой операционной системы. Это факт послужил причиной вполне законной обиды компании Netscape.

Итак, есть два кита, две опоры, но, как известно, такая конструкция неустойчива. И Microsoft решила прикупить третью опору в образе перспективного кодека Voxware Audio CODEC v4.0. Разработка была полностью куплена и программисты компании приступили к дальнейшей доработке и сопряжению ее с другими частями операционной системы Windows.

К чести Microsoft, стоит отметить, что эта компания не сразу кинулась в погоню за конкурентами, заполучив новинку, а предварительно хорошо поработала над этим, в общем-то, сыроватым кодеком, доведя его до ума, и лишь потом выпустила в широкие массы. Этот кодек хоть и вышел позднее других, зато обладал гораздо более высокими характеристиками, и главное – он бесплатен!

Новорожденный формат без потуг на оригинальность был назван WMA – Windows Media Audio. Этот формат позиционируется своими создателями как преемник целой плеяды устаревающих аудиоформатов, начиная с Real Audio и заканчивая MPEG Layer III.

Но, похоже, что WMA может сменить не только устаревающие форматы, но и относительно новые. Вот несколько фактов.

Низкоскоростная версия WMA по качеству ощутимо превосходит Real Audio. Соотношение размер/качество для WMA в 2...3 раза выше, чем аналогичный параметр у Real Audio. Более того, WMA превосходит по качеству относительно новый формат QDesign AIFF. Так, при максимальной для QDesign AIFF скорости 48 кбит/с, аудиофайлы WMA имеют гораздо меньше искажений и потерь. Кроме того, формат WMA бесплатен, а QDesign AIFF стоит порядка 20 долларов. Так что, думаю, судьба сетевого радио на ближайшие несколько лет predetermined.

WMA со скоростью 64 кбит/с лучше MP3 128 кбит/с или, по крайней мере, обладает тем же качеством. Кодеком позволяет легко перекодировать MP3 в WMA с любой скоростью.

И, напоследок, несколько слов о перспективах WMA. Аналитики довольно известной компании International Data Corp., которая занимается в основном прогнозами состояния рынка компьютерных технологий, позволили себе высказать мнение о том, что WMA на данный момент является единственной серьезной альтернативой сверхпопулярному MP3. Кроме того, зная феноменальную способность Microsoft к навязыванию собственных стандартов окружающему миру, думаем, за судьбу этого формата можно не беспокоиться. Кстати о навязывании стандартов. Появились уже первые жертвы – компания

Liquid Audio, известная своей разработкой Liquid Pro AAC, заключила сделку с Microsoft. Теперь во все программные продукты Liquid будет включаться поддержка WMA, а огромная аудиотека в формате LQT будет продублирована в WMA. На практике подобное соглашение означает смерть формата LQT, так как WMA не хуже, и при этом кодеки от Microsoft бесплатны, а Liquid Pro AAC стоит денег.

В общем, WMA, скорее всего, придет на смену MP3, тем более что уже появились первые аппаратные плееры с поддержкой этого формата. Правда подобный переход возможен только пользователям операционной системы Windows, поклонникам других платформ, например Linux, пока придется искать альтернативы WMA.

#### 16.4.4. Формат PAC

Название формата PAC расшифровывается как **perceptual audio coding**, что на русский язык переводится примерно как «аудиокодирование, основанное на восприятии».

Данный формат был разработан фирмой Lucent Technologies при мощной инвестиционной поддержке компании Bell Labs, которую интересовали системы сжатия голосовой информации, передаваемой по цифровым телефонным сетям. К чести инвесторов можно сказать, что в отличие от AT&T, компания Bell Labs не стала претендовать на слишком большой кусок пирога и предоставила доводку и развитие стандарта создателям, ограничившись только той частью, которая непосредственно касалась телефонных сетей. И довела эту часть до ума, опять-таки в отличие от AT&T, у которой до сих пор все в стадии разработки. Некоторые высокоскоростные многоканальные цифровые телефонные сети США и Канады используют для сжатия аудиоинформации алгоритмы, основанные на разработках PAC.

Сама же Lucent Technologies, закончив черновую разработку формата и трезво оценив свои слабые маркетинговые возможности, решила пойти тем же путем, что и разработчики VQF. Напомним, VQF как стандарт был разработан творческой группой Human Interface Laboratories, которая является подразделением компании NTT, но доработкой, развитием и продвижением формата на рынке занималась и занимается фирма Yamaha.

Lucent Technologies поступила схожим образом, решившись доверить новорожденный формат компании Celestial Technologies, которая и занялась дальнейшей судьбой PAC.

Была выпущена первая общедоступная версия кодека PAC под несколько банальным названием Audio Library 1.0. Первая выпущенная версия этого программного продукта была демонстрационной и работала в течение 15 дней. При этом самим своим существованием данный кодек PAC опровергал все сложившиеся со времен MP3 представления о том, как должны выглядеть сжатые аудиокомпозиции. Любому поклоннику MP3, VQF и AAC должен был показаться очень странным тот способ хранения аудиокомпозиций, который был реализован в Audio Library 1.0.

Во-первых, разработчиками было наложено нелепое условие о том, что в одном каталоге могут храниться не более пяти сжатых композиций. Правда этот запрет можно легко обойти быстрой сменой каталогов, причем сам процесс чем-то напоминает монтаж устройств в UNIX-системах. Но при большом количестве кодируемой информации это не выход.

Второе, еще более нелепое нововведение заключается в том, что аудиокомпозиций в формате PAC в привычном виде (то есть один файл – одна аудиокомпозиция) просто не существует. При кодировании исходной аудиокомпозиции кодер Audio Library 1.0 в качестве выходного продукта создает не один файл, а целых восемь, с расширениями .TPS, причем при сжатии сразу нескольких композиций и сохранении их в один и тот же каталог количество файлов не увеличивается, но зато растет объем файла songdata.tps.

Несмотря на эти нелепости, формат получился в общем неплохой. Звучание в целом примерно такого же качества, как и у лучших кодеков из семейства AAC – Liquid Pro AAC и Astrid/Quartex AAC. Конечно, есть нюансы в вечном споре, какие частоты объявить лишними и выкинуть, чтобы уменьшить размер композиции, а какие необходимо оставить, чтобы не ухудшилось качество. Но в целом можно констатировать факт, что PAC со скоростью потока 96 кбит/с лучше MP3 128 кбит/с, а PAC со скоростью 128 кбит/с приближается к CD-звучанию.

При этом поражает невероятно высокая скорость кодирования при использовании Audio Library 1.0, четырехминутная мелодия кодируется чуть больше 100 секунд.

Кодек Audio Library 1.0 не содержит каких-либо возможностей по кодированию аудиокомпозиций непосредственно с Audio CD, то есть не содержит в своем составе так называемый CD-extractor. Кроме того, отсутствует возможность непосредственного перекодирования из одного формата в другой (например, PAC → MP3 или PAC → AAC). В качестве исходного материала принимаются только файлы формата WAV 44 кГц, 16 бит и PCM, что не всегда удобно, так эти файлы зачастую имеют гигантские размеры.

К числу недостатков этого кодека можно отнести и неприменимость сжатых композиций в качестве сетевого формата. Формат не поддерживает потоковую пересылку данных, то есть одновременное воспроизведение и получение аудиокомпозиции. Это формат только для домашней аудиотеки и для продажи на CD-дисках.

Аудиокомпозиции в данном формате имеют мощную защиту от нелегального копирования и очень плохо работают с CD-R при воспроизведении не на «родной» машине, на которой производилось кодирование и запись на CD-заготовку.

В настоящее время компания Celestial Technologies совместно с Lucent Technologies, идя навстречу пожеланиям пользователей, выпустили вторую версию кодека, использующую технологии PAC, переименовав свой продукт в AudioVeda 2.0. Этот кодек гораздо более удобен в работе и не пугает пользователей странными нововведениями.

Кодер, входящий в этот комплекс, позволяет сжать аудиокomпозицию и сохранить ее не в виде базы данных из восьми файлов, а, как и полагается, в виде одного файла с расширением .EPS. В отличие от предыдущей версии кодер поддерживает кодирование с переменной скоростью потока. Аналог VBR присутствует в MP3 кодеке Lame. Подобная технология позволяет существенно уменьшить размер аудиофайла при незначительной потере качества.

Файлы, закодированные Audio Library 1.0, этим проигрывателем воспроизводить нельзя, поэтому можно сказать, что Audio Library 1.0 и AudioVeda 2.0 – это два разных формата, хотя оба основаны на одной и той же технологии PAC и разработаны одной и той же фирмой.

Помимо кодера и декодера в состав полной версии AudioVeda 2.0 входят так же CD-экстактор и преобразователь MP3 → PAC, которых так не хватало в предыдущей версии.

Следует упомянуть, что файлы, сжатые AudioVeda 2.0, в отличие от предыдущего кодека поддерживают потоковую пересылку данных, то есть этот формат является уже гораздо более сетевым и менее домашним, по сравнению с предыдущим.

#### 16.4.5. Формат QDesign AIF

Этот формат аудиосжатия был разработан компанией QDesign и впоследствии был замечен и активно поддержан концерном Apple. QDesign AIF является доработкой семейства стандартов AIFF, которое представляет собой разновидность мультимедийных стандартов используемых на платформе Apple. Пара QDesign-AIF-AIFF является полным аналогом пары WAV-MP3 используемой на платформе Wintel, за исключением степени сжатия.

Рождение формата сопровождалось многочисленными рекламно-сенсационными заявлениями компании-разработчика о том, что ими достигнуто CD-качество при небывало низкой скорости потока 48 кбит/с, то есть этот формат должен был обеспечивать степень сжатия исходной композиции примерно в 100 раз без потери качества!

Первая реакция – недоверие. Конечно, научно-технический прогресс творит чудеса, но не так же быстро и не до такой же степени! Правда, с другой стороны, хочется иногда и в чудо поверить, тем более что некоторые новостные интернет-сайты вроде бы подтвердили рекламные заявления QDesign. Например, довольно таки солидный сайт <http://freecenter.digiweb.com> опубликовал несколько графиков АЧХ, согласно которым аудиокomпозиции сжатые QDesign AIF со скоростью 48 кбит/с практически не отличаются от исходной CD-композиции. Кроме того, еще свежи в памяти воспоминания о лихом взлете формата MP3, а ведь в свое время коэффициент сжатия аудиоинформации 1:10 тоже казалась чем-то невероятным.

Так, со странной смесью недоверия и надежды многие пользователи-меломаны ожидали выхода кодека QDesign AIF.

И вот он вышел, QDesign Audio Codec v1.1. Вышел, правда, не как самостоятельный кодек, а как составная часть зарегистрированной полной версии QuickTime 3.0 (и в дальнейшем во всех более высоких версиях) от компании Apple. Поддержка кодирования аудиокomпозиций из WAV-файлов в формат QDesign AIF была включена в MoviePlayer, входящий в состав QuickTime.

Однако при прослушивании файла QDesign AIF понимаешь, что никакого чуда не произошло. Малый размер файла полностью соответствует его низкому качеству. Так из аудиокomпозиции были удалены многие частоты, как из верхнего, так и из нижнего диапазона звукового спектра, в результате звучание стало не только очень глухим, но при этом утратило и характерные басы. Очень высок шум квантования. Речь звучит неразборчиво. Кроме того, был замечен один очень неприятный дефект – для уменьшения размера композиции некоторые места преобразовывались из стерео в моно. Идея в целом верна, в любой стереофонической аудиокomпозиции встречаются места, где оба канала звучат одинаково, и вместо двух стереоканалов можно передавать удвоенный моноканал, но вот реализация подкачала.

Компания QDesign AIF в ответ на вполне понятное возмущение обманутых пользователей пообещала в следующей версии формата улучшить качество звучания и увеличить максимальную скорость потока. Среди этих обещаний также фигурировало обещание увеличить скорость кодирования в три раза. Новая версия кодека получила название QDesign Audio Codec Pro Edition 2.0 и была включена в QuickTime 4.0.

Однако вместо обещанного в три раза ускорения пользователи получили... замедление, правда, не в три раза, но вполне ощутимое. Качество сжатых композиций практически не изменилось, исчезло только преобразование стереофонического звучания в монофоническое. По-видимому, разработчики убрали этот модуль, не сумев довести его до ума. Как следствие, несколько возрос размер файлов.

Справедливости ради стоит отметить, что QDesign AIF с максимальной скоростью 48 кбит/с все же лучше, чем MP3, AAC, PAC и VQF с этой же шириной потока и, безусловно, лучше Real Audio. Этот формат годится только для сетевого радио и для ознакомления с композицией, чтобы впоследствии использовать ее в виде более качественных файлов в форматах MP3, AAC или VQF. Зато на один CD-диск можно разместить около 100 часов музыки в этом формате, если только кто-то захочет ее слушать.

#### **16.4.6. Формат LossyWAV**

LossyWAV является бесплатным форматом сжатия с потерями. LossyWAV, основанный на lossy-FLAC, был предложен Дэвидом Робинзоном на форумах Hydrogenaudio, чей метод позволяет аккуратно уменьшить глубину звучания сэмплов, и, как следствие, убрать растроченные понапрасну биты кодека FLAC. Целью было уменьшить битовую глубину при обнаружении единообразно обнуленных менее значимых битов внутри каждого фрейма и, тем са-

мым, добиться значительного улучшения эффективности кодирования. В этом случае пользователь может слушать аудио, закодированное тем же самым кодеком с уменьшенным битрейтом.

Спустя некоторое время Ник Кэрри (Nick Currie) портировал оригинальную реализацию с MATLAB на Delphi с большим количеством вставок на ассемблере (IA-32 и x87) для ускорения вычислений. Позже lossyFLAC был испытан с другими кодеками без потерь, к тому же название проекта было изменено на lossyWAV. С тех пор Ник продолжил разработку lossyWAV с помощью Хорста Альбрехта (Horst Albrecht) – участника форумов Hydrogenaudio. Несмотря на то, что текущая реализация lossyWAV лишь основана на методе Дэвида, метод, тем не менее, принадлежит самому Дэвиду.

#### 16.4.7. Формат Opus

Отдельные открытия, сделанные человеком, оказываются настолько практичными изобретениями, что остаются в повседневной жизни надолго. Например, стандарту цифрового сжатия звука MP3 уже более 20 лет, что по меркам компьютерных технологий – более чем долгий срок. За эти годы произошло немало открытий и технологических прорывов. Но для цифрового звука, как это ни странно, пока мало что изменилось. MP3 «забрался» во все устройства, какие только можно: смартфоны, портативные проигрыватели, DVD-плееры, часы и прочие электронные приборы.

Но в чем секрет долголетия MP3? Ведь мы понимаем: компрессия звука при помощи MP3 – это кодирование с потерями, то есть неизбежное ухудшение качества звука. Однако практика показала: слух у большинства людей не настолько «музыкальный», чтобы почувствовать искажения, возникающие при компрессии. Особенно если выставлен «щадящий» битрейт – 128 кбит/с или выше.

В формате MP3 используется алгоритм сжатия с потерями, разработанный для существенного уменьшения размера данных, необходимых для воспроизведения записи и обеспечения качества воспроизведения звука очень близкого к оригинальному (по мнению большинства слушателей), хотя, конечно, меломаны говорят о заметном различии. Однако при создании MP3 со средним битрейтом 128 кбит/с в результате получается файл, размер которого составляет примерно 1/11 от оригинального файла с CD-Audio. Именно этот факт открыл музыке в формате MP3 дорогу в Сеть.

Конечно, для привычного MP3 давно созданы альтернативы – FLAC, APE и другие алгоритмы компрессии аудиоданных с возможностью идентичного восстановления волновой формы после декодирования. Однако тут приходится учитывать, что форматы кодирования звука с потерями (тот же MP3 и его аналоги) используются не только для обмена музыкой в Сети и хранения ее на компьютере, но и для передачи голоса через Интернет. И в этой сфере главный козырь MP3 и других алгоритмов сжатия с потерями – максимально эффективное использование каналов передачи данных.



Дело в том, что разработчики любой программы (или онлайн-сервиса) для IP-телефонии стараются обеспечить внятную передачу речи для как можно большего числа абонентов – ведь те же скайп-конференции невероятно популярны. Соответственно, качество звука уходит на второй план – вполне достаточно «телефонного» качества, которое, безусловно, бесконечно далеко от требований для музыки. Зато в случае с VoIP-программами принципиально важна возможность декодирования звукового потока в реальном времени – иначе обмен информацией между собеседниками окажется затруднительным. То есть любое использование алгоритмов сжатия без потерь приводило бы к заметным задержкам во времени, что сделало бы невозможным всякое интерактивное общение.

Однако же и MP3 не совершенен и не так уж пригоден для общения через VoIP. Низкий битрейт «съедает» детали звука, одновременно наделяя его целым набором неприятных артефактов – призвуками, свистом и звоном, разного рода искажениями. Также при использовании MP3 в IP-телефонии могут случаться заметные временные задержки из-за необходимости дополнительной буферизации данных.

Во многом именно поэтому, к примеру, в Skype используются кодеки SILK (8-24 кГц), G.729 (8 кГц) и G.711. Благодаря им при достаточной скорости Интернета в большинстве случаев качество звука сопоставимо с качеством обычной телефонной связи, а при хороших условиях соединения заметно лучше. Но кодеки Skype, в отличие от MP3, совершенно непригодны для хранения и передачи музыки.

Одним словом, в какой-то момент оказался востребован универсальный кодек, который бы мог одинаково хорошо «утаптывать» как музыку для хранения на ПК и передачи по Сети, так и человеческую речь для VoIP-сервисов. В латыни слово «Opus» означает «работа» или «дело». В нашем обзоре Opus (ранее известный под рабочим названием Harmony) – это аудиокодек с потерями, разработанный сообществом Internet Engineering Task Force (IETF) специально для применения в приложениях реального времени в Интернете. Кодек является открытым форматом, а эталонная реализация распространяется под лицензией BSD. Все известные патенты, под которые попадает кодек Opus, доступны под лицензией royalty-free. Основное преимущество данного кодека – низкая задержка кодирования, более высокая компрессия аудиоданных, поддержка многоканального звука (до 255 каналов). Первой поддержку Opus обеспечила компания Mozilla в своих программах Firefox и Thunderbird – с 15-й версии обоих продуктов. Позднее было объявлено, что Skype перейдет на Opus в одной из ближайших версий.

Основные параметры Opus:

- дискретизация от 8 до 48 кГц;
- битрейт от 6 до 510 кбит/с;
- поддержка режимов постоянного и переменного битрейта;
- настраиваемая задержка кодирования от 2,5 до 60 мс.

По мнению специалистов в области цифрового звука, кодек Opus избавлен он наиболее серьезных недостатков MP3, но при этом его разработчикам удалось сохранить и приумножить все достоинства кодека-ветерана.

Значительную поддержку при разработке и тестировании кодека оказала корпорация Google, что вполне понятно: интернет-гигант заинтересован в Opus, так как развивает ряд собственных проектов в области IP-телефонии – от мессенджера Google Talk и сервиса Google Voice до VoIP-функционала в устройствах линейки Google Nexus и мобильной ОС Android.

Такой серьезный подход и состав разработчиков позволил создать кодек, структура которого позволяет эффективно справляться со звуковыми артефактами. В частности, для этого используется многоступенчатая архитектура обработки аудиосигнала. Но главное – в кодеке Opus в равной мере использованы два независимых стандарта – они предложены, соответственно, Xiph.Org Foundation и Skype Technologies. В результате новый кодек оказался гибридным решением, которое сочетает в себе технологии кодеков CELT (Constrained Energy Lapped Transform) и SILK, при этом поступивший сигнал кодируется SILK или CELT избирательно.

Как несложно догадаться, SILK используется для компрессии голоса, то есть, по сути, почти всегда в тех случаях, когда требуется эффективно использовать пропускную способность канала связи. В данном случае кодек начинает обработку аудиосигнала с того, что анализирует его на предмет наличия человеческой речи. Голосовые составляющие отделяются от прочих звуков, после чего кодек производит анализ частотной характеристики звука, понижая уровень дискретизации для данных, содержащих голосовую информацию, то есть для речи. Далее Opus исследует присутствующие шумы и оптимизирует сигнал для определенного битрейта.

На следующем этапе кодек преобразует сигнал с помощью фильтра предварительной очистки – напомним, все это происходит в режиме реального времени! Используя речевые кадры, модуль предсказания частоты аудиосигнала вносит изменения в последующие кадры, после чего частотное квантование нормирует частоты человеческой речи.

На третьем этапе обработки звука из сформированного сигнала устраняются искажения, которые неизбежно возникают при недостаточно высоком битрейте. После этого подключается модуль формирования шума квантования, который снижает шумы внутри рабочей полосы, вытесняя их за пределы рабочего диапазона.

Ну и на заключительном, четвертом этапе интервального кодирования SILK работает с дискретными величинами, которые могут принимать ограниченное число значений, – производится покадровый вывод сигнала.

Если же Opus приходится кодировать аудиоданные с высоким качеством, такие как музыка, то в дело вступает модуль CELT. Механизм его работы похож на принцип работы большинства кодеков с потерями – он завязан на дискретные косинусные преобразования, а также на «оптимизацию» звука. Ее суть состоит в том, что из сигнала удаляются составляющие, которые не несут по-

лезной нагрузки для слуха человека, до кодирования он их или не слышит, или слышит с большим трудом.

В программах, в которых предусмотрено управление настройками кодирования, новый кодек предлагает пользователю выбрать режим сжатия – речь или музыку. Эта настройка и определяет приоритет того или иного алгоритма кодирования Opus.

Как было отмечено, Opus поддерживает частоты дискретизации от 8 до 48 кГц, а кодирование звука возможно в диапазоне битрейта от 6 до 510 кбит/с. Длительность кадров варьируется от 2,5 до 20 мс. Кодек осуществляет кодирование в режимах моно и стерео, используя технологию постоянного и переменного битрейта, а также поддерживает компрессию до 255 каналов. Благодаря своей гибридной структуре Opus получил универсальность, которая позволила этому кодеку на невысоком битрейте обойти по качеству и параметрам задержки своих главных конкурентов – Apple HE-AAC, Nero HE-AAC, Vorbis и AAC LC. Результаты разнообразных тестов показывают, что аудиосигнал, декодированный при помощи Opus, в большинстве случаев наиболее полно восстанавливает исходную картину звука.

Низкий уровень искажений, а также минимальные по сравнению с конкурирующими алгоритмами временные задержки – все это делает Opus идеальным для использования в сфере IP-телефонии и трансляции речи через Сеть.

Неудивительно, что уже сейчас разработчики «звукового» ПО спешат встроить в свои программы поддержку кодека Opus, выпускают соответствующие обновления. Возможность работать с файлами в формате Opus (расширение .opus) уже реализована в таких популярных утилитах для работы со звуком, как EZ CD Audio Converter, foobar2000, AIMP, VLC Media Player и некоторых других.

Уже объявлено, что поддержка Opus появится в следующих версиях альтернативной прошивки для портативных аудиоустройств Rockbox. Это означает, что пользователи смогут слушать музыку и аудиокниги на плеерах iPod, Archos и прочих. На портативных устройствах под управлением Android также можно будет слушать аудио через Rockbox, установив соответствующее приложение RaaA (Rockbox as an Application).

Конечно, без проблем также не обойдется – у Opus имеются достаточно сильные конкуренты. Сам же кодек (напомним, речь еще идет об альфа-версии) еще не избавился от всех недостатков. В конце концов, он только в сентябре 2012-го смог пройти сертификацию в IETF (Internet Engineering Task Force) как стандарт аудиокодека для использования в Интернете.

Впереди же, как принято в IT-индустрии, многочисленные патентные претензии и судебные иски. Одна из причин – тот факт, что Opus изначально имеет статус royalty-free, то есть за его использование не нужно делать никаких отчислений правообладателям. Понятно, что многим конкурентам невыгодно появление на рынке такого продукта.

И в самом деле: компании Qualcomm и Huawei уже заявили о том, что новая разработка нарушает принадлежащие им патенты. В ответ разработчики

Opus публично заявили, что они не нарушили авторских прав и более того – они ожидали появления подобных претензий и готовы отстаивать свою правоту. Впрочем, если юридическую поддержку группе разработчиков Opus обеспечит Google, за будущее кодека можно будет не беспокоиться.

Другой вопрос – какую долю рынка в конце концов займет Opus? Формат MP3 все же слишком популярен, чтобы пользователи легко от него отказались. Вряд ли кто-то возьмется переводить свою домашнюю коллекцию музыки из MP3 в Opus только из-за малоощутимого улучшения качества звука. Другое дело – разработчики решений для VoIP и производители разнообразных гаджетов. Последние обеспечат аппаратную поддержку Opus, ведь основные показатели у нового кодека столь хорошие, что в скором времени наверняка можно ожидать появления новой технологии в беспроводных наушниках и портативных плеерах.

На официальном сайте Opus сказано буквально следующее: «Кодек может использоваться для любых целей, за исключением Lossless-сохранения (для этого используйте FLAC) и за исключением кодирования с ультранизким битрейтом (для этого используйте codec2)».

## ГЛАВА 17. АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ЗВУКА

Под обработкой звуковых сигналов понимается целенаправленное воздействие на звуковой сигнал, при котором достигается требуемое изменение исходной звуковой информации. При этом изменению подвергаются все характеристики звуковых сигналов (ЗС) – спектральные, динамические, временные и структурные. В данной главе мы не будем рассматривать отдельно программные и аппаратные средства обработки звука, так как практически все программные средства возникли на основе аппаратных.

При обработке ЗС могут решаться как чисто технические, так и художественные задачи.

К **техническим** относятся задачи такого изменения звуковой информации, при котором достигается наилучшее техническое качество звучания программ в процессе записи, воспроизведения и передачи ЗС. Это – коррекция искажений, подавление шумов, согласование динамического диапазона ЗС с диапазоном пропускания звукового канала.

Задачей **художественной** обработки является изменение характера звучания музыки и речи. Сюда относятся изменение спектра и его динамики, подбор оптимального соотношения между ЗС при их суммировании, изменение структуры и временных характеристик сигнала (длительности звучания, тональности), а также синтезирование, формирование и наложение специальных ЗС (реверберационного спектра, музыкальных созвучий, искусственных сигналов шумового и природного характеров), частотная модуляция, модуляция фазы, стереофоническая обработка с изменением ширины и глубины стереопанорамы, направления на кажущийся источник звука.

Для художественных (в т.ч. и музыкальных) сигналов главной задачей обработки является обеспечение общего высокого качества. Для речевых сигналов – обеспечение разборчивости речи.

В зависимости от изменяемого параметра сигнала методы обработки ЗС можно подразделить на следующие виды:

- динамическая обработка;
- частотная обработка;
- временная обработка;
- обработка для создания специальных звуковых эффектов.

### 17.1. Динамическая обработка звуковых сигналов

В настоящее время существует большое количество различных устройств для динамической обработки звуковых сигналов – это компрессоры, пороговые ограничители (гейты), лимитеры и т.д. В такой многообразии нетрудно и запутаться... Какой прибор необходим в конкретной ситуации? Чем отличаются приборы, имеющие схожее действие, например, лимитер и гейт? И таких вопросов множество, включая и наиболее часто встречающийся – для чего вооб-

ще нужна «динамическая обработка»?

Ранее отмечалось, что звуковой сигнал изменяется в очень широких пределах. Иначе говоря, звуковой сигнал имеет очень большой динамический диапазон. Чаще всего, возможности аппаратуры (особенно аналоговой) не позволяют записать исходный сигнал с натуральным динамическим диапазоном. Эта проблема стоит еще более остро, если сигнал надо передавать по каналам связи.

Не следует питать больших иллюзий по части цифровых устройств. Указываемые для наиболее распространенного сейчас носителя – компакт-диска – параметры, например, динамический диапазон в 96 дБ, не совсем верны. Если рассматривать их как отношение самого громкого сигнала к уровню шумов в паузе – цифры, безусловно, правильны. Однако это справедливо только для сигналов максимальной амплитуды. В реальных звуковых сигналах максимальные уровни встречаются достаточно редко. Сигнал же с уровнем -60 дБ передается фактически всего лишь шестью разрядами цифрового кода, а для сигнала с уровнем -90 дБ останется всего 1 бит. При этом говорить о сколько-нибудь хорошем звучании, естественно, уже не приходится. Таким образом, динамический диапазон компакт-диска реально составляет величину существенно меньшую, чем 96 дБ.

Поэтому для получения наилучшего звучания звукорежиссер обычно заранее изучает звуковой материал, выраженный в форме партитуры или сценарного плана, знакомится с техническими характеристиками аппаратуры записи, пользуется выработанными практикой приемами регулирования. Регулирование производят таким образом, чтобы создать у слушателей достаточно хорошее художественное впечатление и, в то же время, не допускать ухода уровня сигнала за пределы возможностей аппаратуры.

Однако возможности человека в отношении быстроты реакции, точности и надежности выполнения операций регулировки ограничены. Кроме того, сказываются утомление, эмоциональное состояние и другие психофизиологические факторы. Исследования показали, что время реакции звукорежиссера составляет не менее 2 с, даже если партитура музыкального произведения ему известна. Это приводит к погрешности в поддержании максимальных уровней музыкальных программ до  $\pm 4$  дБ относительно номинала. Поэтому в помощь звукорежиссеру создано большое число различных устройств автоматической обработки уровней сигналов – авторегуляторов уровня.

Например, если звукорежиссер не успеет отреагировать на быстрое нарастание уровня, ограничитель максимального уровня, обладающий большой скоростью реакции, автоматически уменьшит коэффициент передачи и тем самым предотвратит поступление сигнала чрезмерного уровня в последующие звенья канала. В этом состоит первое назначение устройств динамической обработки звуковых сигналов.

Вторая задача – это борьба с мешающими сигналами: шумы в паузе, проникающие в микрофоны посторонние сигналы, фон и шипение от гитарных приставок и т.п. Во всех этих случаях возникает необходимость в автоматиче-

ском управлении уровнями сигналов, то есть в применении устройств динамической обработки сигналов.

И, наконец, третье – устройства динамической обработки позволяют формировать различные звуковые эффекты.

Все устройства динамической обработки можно разделить на два больших класса: по характеру взаимосвязи их коэффициента усиления и уровня входного сигнала. Если при увеличении уровня входного сигнала коэффициент передачи устройства уменьшается – то это компрессор или его разновидности. Если же при увеличении входного сигнала коэффициент передачи устройства также увеличивается – то это экспандер или гейт.

Все устройства динамической обработки сигналов относятся к одному из этих двух классов.

**Компрессор.** Название прибора происходит от английского глагола «to compress» – сжимать. Это устройство для сжатия динамического диапазона исходного звукового сигнала. Компрессоры характеризуются амплитудными и временными характеристиками. Амплитудными характеристиками являются: степень компрессии и порог срабатывания. Эти характеристики отражены на амплитудной характеристике компрессора, показанной на рис. 17.1.

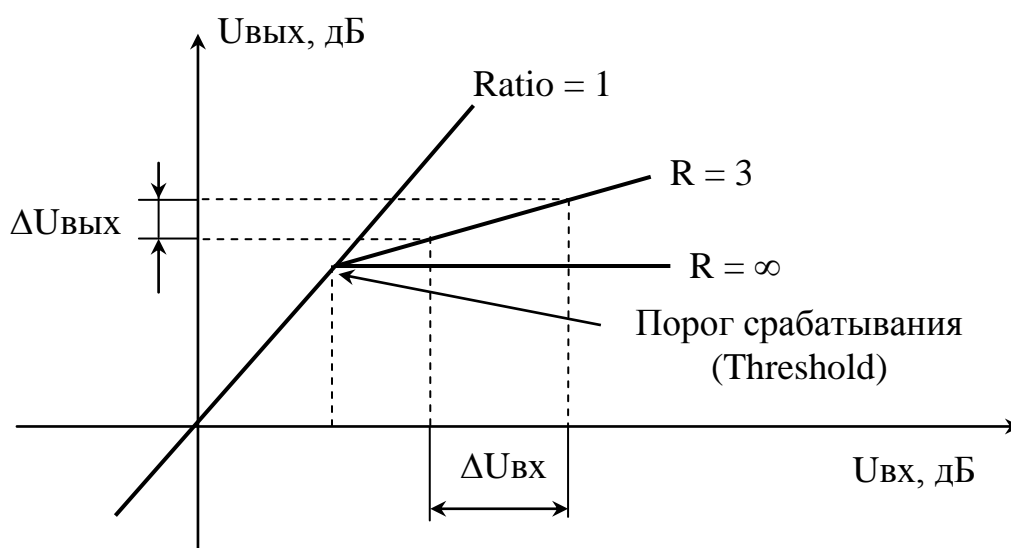


Рис. 17.1. Амплитудные характеристики компрессора

Из графика видно, что выходной сигнал равен входному до точки срабатывания (начала работы) компрессора – **порог срабатывания (Threshold)\***. Начиная с этой точки, выходной сигнал компрессора увеличивается в меньшей степени, чем входной, то есть осуществляется компрессия. Мерой компрессии служит степень компрессии (**Ratio**).

Степень компрессии – это отношение величины приращения входного

\* Для обозначения параметров устройств обработки сигналов будем приводить как русские, так и английские термины. Дело в том, что английская терминология зачастую отличается от отечественной.

сигнала к величине вызванного им приращения выходного сигнала. При этом измеряемые величины выражаются в децибелах  $R = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}$ .

Заметим, что в отечественной технической литературе компрессором называют устройство, которое производит сжатие во всем диапазоне входных сигналов. Если же компрессор производит сжатие после какого-то порога, то такие устройства у нас называют ограничителями максимальных уровней.

Динамические (временные) характеристики компрессоров определяются временем срабатывания (**Attack**) и временем восстановления (**Release**).

Время срабатывания  $t_{\text{ср}}$  – это промежуток времени между моментом, когда от источника подается скачок сигнала с уровнем на 6 дБ выше исходного, и моментом, когда выходной уровень достигает значения на 2 дБ выше установившегося значения выходного сигнала (рис. 17.2).

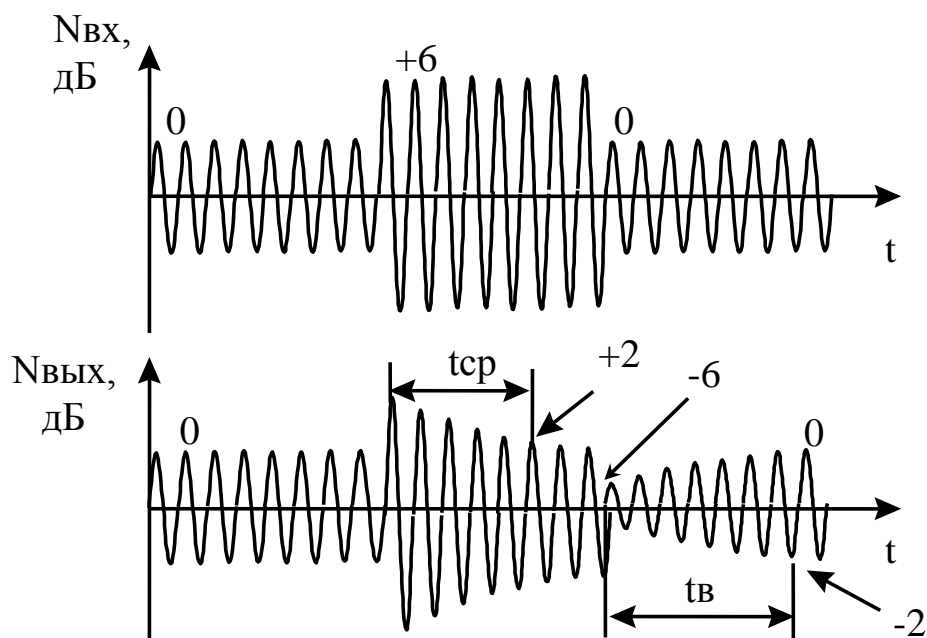


Рис. 17.2. Временные параметры работы компрессора

Время восстановления  $t_{\text{в}}$  – это промежуток между моментом, когда уровень сигнала источника уменьшается на 6 дБ от исходного, и моментом, когда выходной уровень достигает значения на 2 дБ ниже его установившегося значения.

Естественно, что для ограничителей максимальных уровней описываемые процессы происходят в области уровней входного сигнала, лежащих выше порога срабатывания.

Любой компрессор, как, впрочем, и любое устройство динамической обработки вообще, содержит основной канал и канал управления (рис. 17.3).

В состав основного тракта входят обычно необходимые усилители и элемент, изменяющий коэффициент усиления звукового сигнала – управляемый усилитель УУ. Основными элементами канала управления является детектор Д и инерционная цепь ИЦ. На рис. 17.3 показано, в каких каскадах осуще-



ствляется изменение характеристик компрессора.

В некоторых моделях компрессоров предусматриваются гнезда **Side Chain** – для включения в цепь, перед детектором, дополнительного эквалайзера. Этим обеспечиваются более широкие функциональные возможности для обработки исходных сигналов, становится возможной частотно-зависимая динамическая обработка.

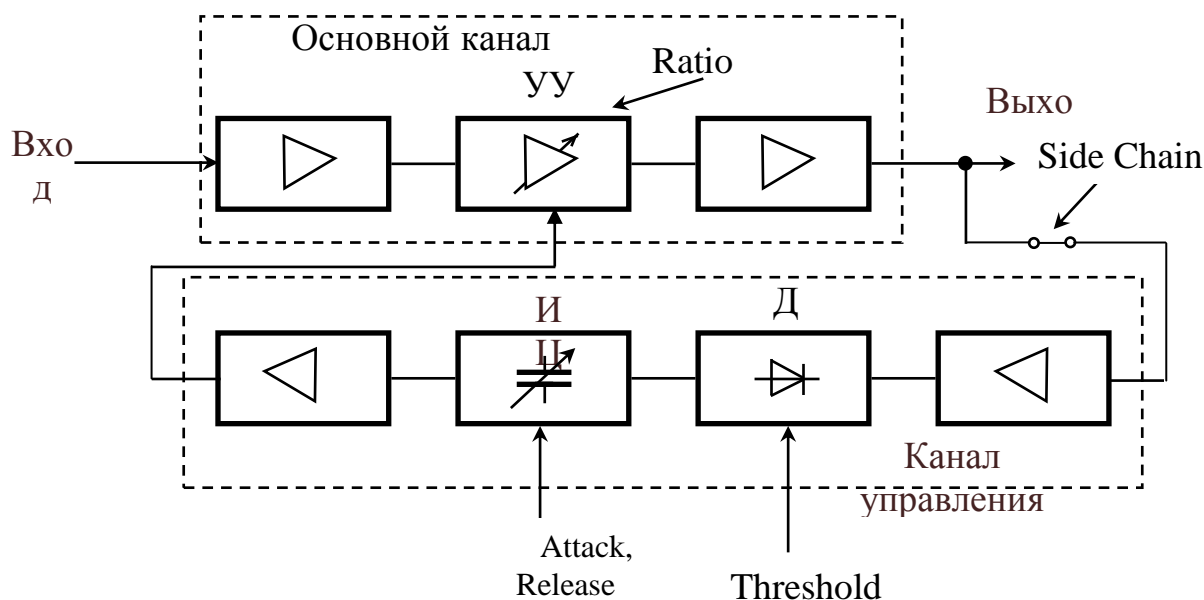


Рис. 17.3. Функциональная схема компрессора

Если отвлечься от конструктивных особенностей, то по характеру реакции на входной сигнал все компрессоры можно разделить на две большие группы: приборы с ручным управлением параметрами компрессии и автоматизированные – с той или иной степенью автоматического управления этими параметрами.

В «ручных» все динамические параметры задаются пользователем, что обеспечивает очень большую свободу в выборе, для получения необходимых художественных результатов. Ведь не секрет, что компрессором можно изменить исходное звучание до полной неузнаваемости. «Ручной» компрессор как раз и служит для специального изменения характера исходного звучания. В зарубежной литературе этот тип компрессоров часто называется **creative** – «творческий».

Пользователю для работы с ними необходима достаточно высокая квалификация, так как вместо улучшения звука его можно непоправимо испортить.

### **Перекомпрессированный сигнал исправить в дальнейшем невозможно!**

В автоматизированных компрессорах динамические параметры раз и навсегда установлены изготовителем, и их изменение пользователем невозможно. Некоторые известные производители, выпускающие действительно добротную продукцию, в ряде моделей предлагают несколько алгоритмов автоматизации

для различных вариантов обработки.

Как правило, большинство автоматизированных компрессоров существенно не изменяют динамические параметры звука, а только выравнивают исходное звучание, делают его более плотным и насыщенным.

Автоматизированные компрессоры, в свою очередь, можно разделить также на два больших класса – RMS\*, и, условно говоря, «не-RMS».

«Не-RMS» – это компрессоры, имеющие обычный детектор (иногда называемый пиковым) и один или несколько наборов заводских предустановок различных сочетаний времен срабатывания и восстановления. Как правило, один вариант предустановок компрессора предназначен для обработки какого-то одного типа сигналов, и только в этом случае работа такого компрессора будет действительно хорошей. Связано это с тем, что все сигналы имеют сильно различающиеся динамические параметры, причем эти параметры для различных звучаний могут отличаться в сотни и даже тысячи раз. Очевидно, что сочетание параметров, оптимальное для одного звучания, для другого, скорее всего, будет малоприспособно.

Несколько особняком стоит RMS-компрессор – до недавнего времени экзотический тип компрессора для большинства наших звукорежиссеров. В последние годы все больше фирм приступает к их выпуску, что объясняется все большей популярностью этих компрессоров, как при звукозаписи, так и в «живой» концертной работе.

Этот тип компрессора должен реагировать на среднеквадратическое значение сигнала. Иначе говоря, RMS-компрессор реагирует непосредственно на мощность звукового сигнала, а не на его мгновенные значения, как обычный компрессор. Это, однако, вовсе не означает, что, взяв обычный компрессор и установив регуляторы **Attack** и **Release** на максимум, вы получите RMS-компрессор. Временные параметры в настоящем RMS-компрессоре не являются чем-то раз и навсегда заданным, а сложным образом изменяются в зависимости от уровня и спектра входного сигнала. Это обеспечивает отсутствие «механистичности» в работе компрессора и очень малую заметность вмешательства компрессора в обрабатываемый сигнал.

В отдельных моделях компрессоров имеются и некоторые дополнительные устройства, улучшающие их функциональные возможности. Например, для уменьшения заметности момента включения многие компрессоры имеют так называемый **Soft Threshold** («Мягкий порог»), обеспечивающий плавное входение в режим компрессии. На рис. 17.4 изображены амплитудные характеристики для двух компрессоров – обычного (ломаная линия 1) и компрессора с «мягким порогом» (кривая 2).

Как видно из рисунка, во втором случае по мере возрастания входного сигнала степень компрессии увеличивается плавно, а не включается скачкообразно, как в обычном компрессоре. Так удастся существенно ослабить замет-

---

\* **RMS - Root Mean Square (Среднеквадратическое значение)**. Ранее в электротехнике бытовало понятие «эффективное значение», и эти термины – синонимы.

ность начала компрессии, сделать этот момент практически неслышным.

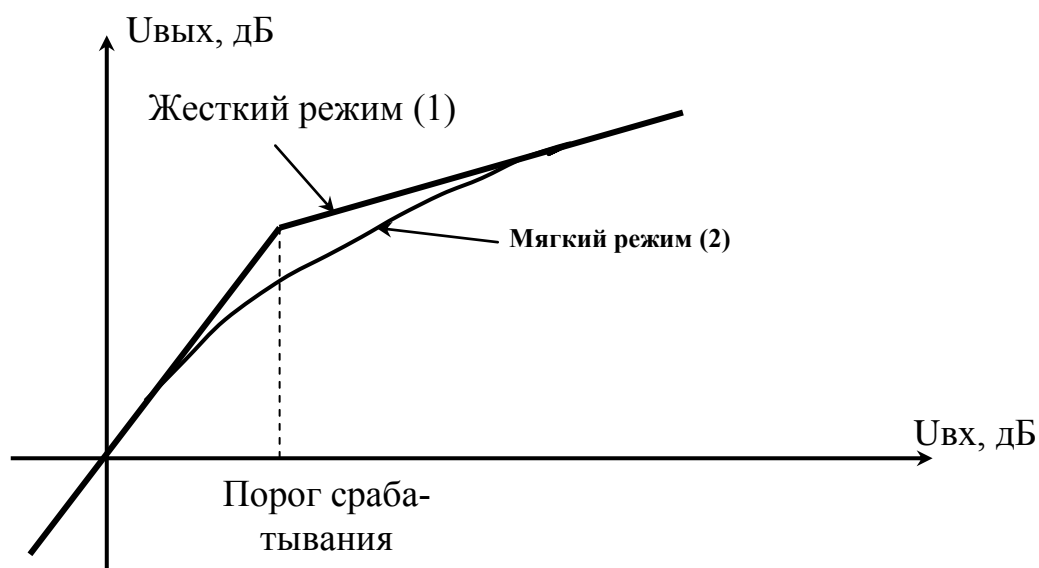


Рис. 17.4. Амплитудные характеристики для двух компрессоров

Общеизвестно свойство компрессии, особенно быстрой (при малых временах срабатывания и восстановления), как бы «съесть» высокие частоты в обрабатываемом сигнале. Для устранения этого явления в некоторых компрессорах применяются различного рода специальные устройства, позволяющие в ряде случаев нейтрализовать этот нежелательный эффект. Обычно в таких устройствах сигнал разделяется на две полосы, и в то время как основной сигнал компрессируется, его высокочастотная составляющая передается на выход либо неизменной, либо наоборот усиленной, пропорционально ослаблению уровня основного сигнала. В выходном усилителе обе эти составляющие суммируются, и эффект «съедания высоких частот», таким образом, существенно ослабляется.

**Лимитер.** В принципе, это не какой-то отдельный вид компрессоров, а всего лишь один из частных случаев его работы. Лимитирование отличается от компрессирования прежде всего степенью компрессии. Для лимитирования достаточно перевести этот регулятор в положение **Ratio** =  $\infty$ , при этом независимо от приращения входного сигнала уровень сигнала на его выходе увеличиваться не будет. (Естественно, что речь идет о сигналах, лежащих выше порога срабатывания.) Необходимо, однако, учитывать, что основное назначение лимитера — защита последующих узлов тракта от перегрузок. Любых, даже самых малых. Помните, в начале главы мы говорили о том, что звукорежиссер не успевает среагировать на быстрые изменения сигналов? При этом лимитер не должен допускать никакого превышения установленного выходного уровня, но не должен трогать сигналы, лежащие ниже порога срабатывания. Отсюда следует вывод, что компрессоры с «мягким» режимом принципиально непригодны для этих целей.

Причина кроется в том, что лимитер, помимо большего **Ratio**, имеет и принципиально иные динамические характеристики. Он должен очень быстро

(в идеале – мгновенно) устранить сигнал перегрузки, и столь же быстро вернуться к исходному состоянию. Однако при этом он фактически превращается в знакомый всем связистам ограничитель мгновенного действия – пикосрезатель (рис. 17.5).

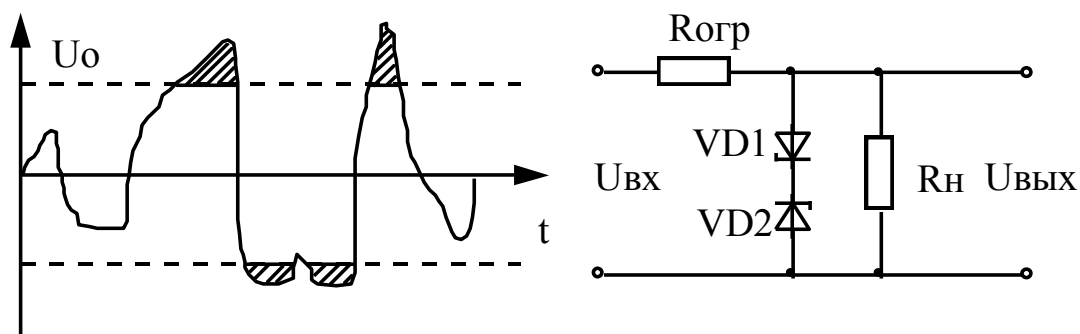


Рис. 17.5. Принцип работы и схема пикосрезателя

Основным недостатком пикосрезателя являются недопустимые нелинейные искажения. Так, например, при ограничении на 10 дБ  $K_{\Gamma} = 30\%$ . По этой причине пикосрезатели используются лишь для ограничения кратковременных (до 2 мс) пиков срабатывания и устанавливаются после инерционных ограничителей.

**Левеллер.** Это – еще одна разновидность RMS-компрессора. Основное его отличие от обычного RMS – это существенно большие постоянные времени детектора: до 10 секунд в некоторых моделях. Кроме того, они имеют несколько другую амплитудную характеристику.

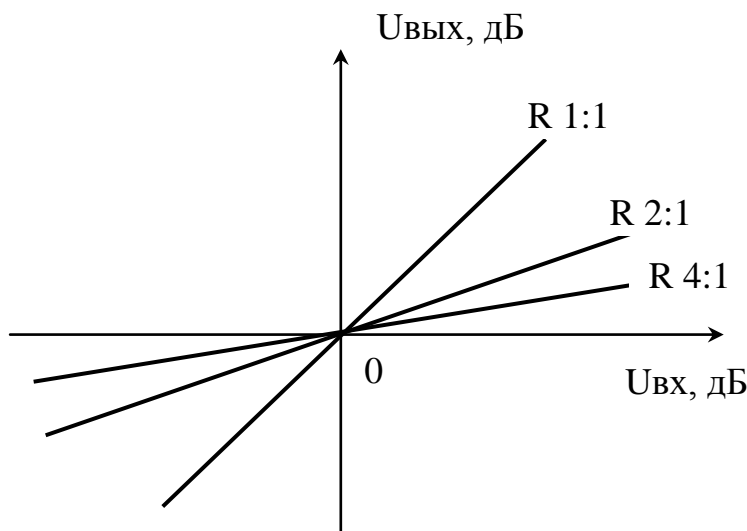


Рис. 17.6. Амплитудные характеристики левеллера

На рис. 17.6 изображено семейство амплитудных характеристик левеллера при различных степенях сжатия. Независимо от Ratio сигнал с входным уровнем 0 дБ на выходе имеет такой же уровень, а сигналы с иными уровнями как бы подтягиваются к нему: более сильные ослабляются, более слабые – усиливаются. Причем, чем большее Ratio установлено, тем сильнее сигналы «прижимаются» к уровню 0 дБ (уровень 0 дБ здесь приведен только для примера). В

реальных устройствах имеется регулятор, с помощью которого устанавливается уровень, к которому должны «подтягиваться» сигналы.

Устройства с подобными амплитудными характеристиками в отечественной технической литературе называются просто компрессорами.

**Де-эссер, де-поппер.** Это варианты частотно-зависимого компрессора, а точнее – полосового компрессора. Оба эти устройства обрабатывают только узкую полосу мешающего сигнала, не затрагивая всего остального. Отличие де-эссера и де-поппера в том, что де-эссер работает на высокочастотных сигналах, убирая «цыканье» и шепелявость. Де-поппер – наоборот, работает в низкочастотной области спектра, убирая бубнение. В остальном же они принципиальных отличий не имеют. Главное отличие этих приборов от остальных устройств динамической обработки заключается в том, что порог срабатывания в них не фиксированный, а «плавающий» (ручкой управления threshold). Он определяется разностью уровней обрабатываемой части спектра, с одной стороны, и всего остального – с другой стороны. Такое построение обеспечивает нормальное их функционирование, независимо от абсолютных уровней входных сигналов. Де-эссер постоянно анализирует спектр входного сигнала, и если «видит», что уровень сигнала в установленной полосе превышает допустимое соотношение сигнала и «всего остального», то он уменьшает уровень сигналов в этой полосе до допустимой или установленной пользователем величины,

Ранее мы отмечали, что в некоторых моделях компрессоров предусматриваются гнезда Side Chain – для включения в цепь, перед детектором, дополнительного эквалайзера. Этот режим также называют де-эссером. Однако обычный компрессор в режиме де-эссера, с эквалайзером в цепи управления, обрабатывает всю полосу частот входного сигнала. Он просто более «чуток» к выделенной области спектра.

**Экспандер и гейт.** Экспандер – это «компрессор наоборот» (от английского «to expand» – расширять, растягивать). У него, как уже отмечалось, коэффициент передачи пропорционален уровню входного сигнала, то есть чем громче входной сигнал, тем громче выходной.

Существуют две основных разновидности экспандера – «экспандер вверх» (**upward expander**) и «экспандер вниз» (**downward expander**). Отличаются они по характеру реагирования на входной сигнал. «Экспандер вверх» обрабатывает сигналы, лежащие только выше порога его срабатывания, делая громкие сигналы еще более громкими. Тихие же сигналы, ниже порога срабатывания, он не трогает. В звукорежиссерской практике этот режим практически не используется, хотя про него часто говорят: «Хороший прибор, позволяет восстановить исходную динамику чрезмерно сильно зажато компрессорами сигнала».

Имеется две причины, почему этот тип экспандера мало используется. Во-первых, пережатый до «квадратного» состояния сигнал не восстановить ничем! А во-вторых, как и компрессор, экспандер имеет время срабатывания и время восстановления. Предположим, необходимо обработать суммарную фонограмму с записью самых разных инструментов. Чтобы обработанный «экс-

пандером вверх» сигнал барабана не потерял свою исходную динамику, необходимо установить очень малое время срабатывания. Но при этом сигналы инструментов с малым временем звуковой атаки (орган, струнные), благодаря действию экспандера, будут нарастать неестественно быстро, иначе говоря, начнут «щелкать» в момент срабатывания экспандера. Эти щелчки крайне неприятны на слух, не маскируются сигналом и практически полностью исключают возможность применения «экспандера вверх» в звукотехнике.

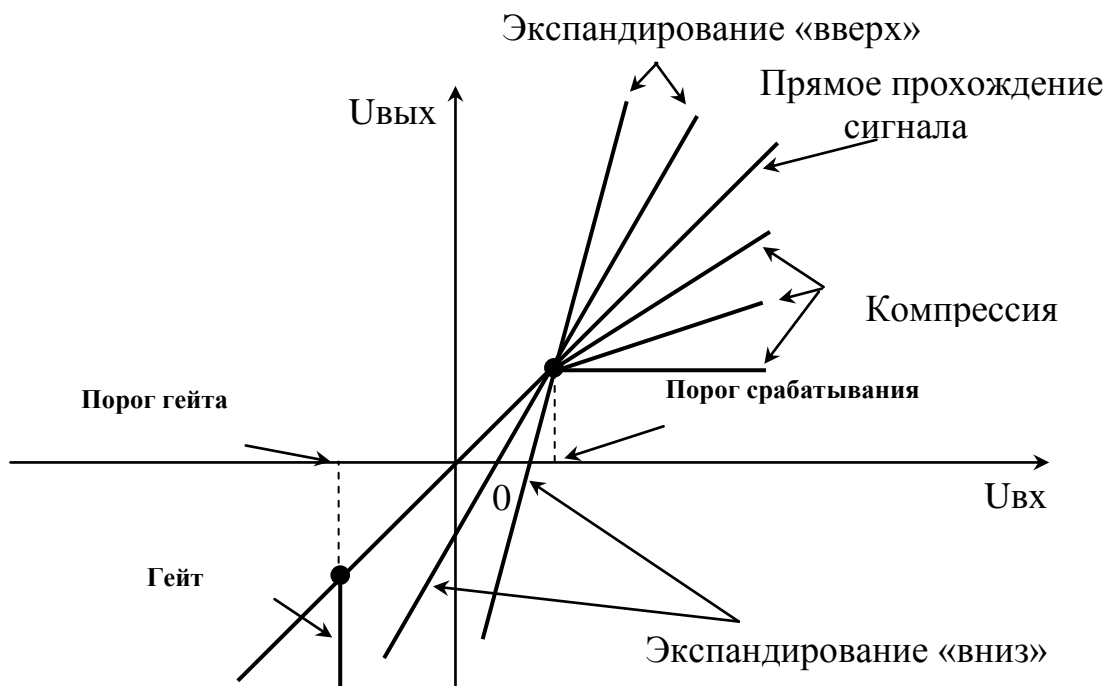


Рис. 17.7. Амплитудные характеристики устройств динамической обработки звуковых сигналов

«Экспандер вниз», напротив, не «трогает» сигналы выше порога срабатывания, а только делает тише сигналы, лежащие ниже этого порога. По характеру своего действия на сигнал это устройство схоже с гейтом и, как правило, применяется для аналогичных целей: для подавления слабых мешающих сигналов. В этом качестве «экспандер вниз» входит составной частью практически во все шумоподавители (денойзеры).

Органы управления у экспандеров аналогичны компрессору. Это – регулятор порога срабатывания и регулятор степени расширения. Последний имеет маркировку, обратную компрессорной, то есть он показывает, на сколько децибел изменится выходной сигнал при изменении входного сигнала на 1 дБ. Но если в компрессоре  $R=5:1$  означает, что при изменении уровня входного сигнала на 5 дБ выходной сигнал изменится на 1 дБ, то в экспандере  $R=1:5$  показывает, что при изменении входного сигнала на 1 дБ уровень выходного сигнала изменится на 5 дБ.

**Гейт** (от английского gate – клапан, ворота) – один из самых распространенных приборов динамической обработки. Функция Gate – полная противоположность сжатию и ограничению. Основное, изначальное назначение гейта –

отсечка сигналов малого уровня, для которых он и является своеобразным клапаном, не пропуская их на выход. Таким образом, гейт это пороговое устройство, не пропускающее слабые сигналы, уровень которых находится ниже некоторого заданного порога.

Для облегчения понимания сходства и различия функционирования всех устройств динамической обработки на рис.17.7 на одном графике в совмещенном виде показаны амплитудные динамические характеристики всех рассмотренных устройств.

## 17.2. Частотная обработка звуковых сигналов

### 17.2.1. Назначение и основные типы устройств частотной обработки

Для изменения спектра звуковых сигналов путем регулирования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) трактов используют различные устройства, создающие спады или подъемы АЧХ в области нижних и верхних частот или в ограниченных участках на средних частотах. К числу этих устройств относятся:

- регуляторы плавного подъема и спада АЧХ на нижних и верхних частотах;
- фильтры, резко ограничивающие полосу пропускания по нижним и верхним частотам (так называемые обрезные фильтры);
- фильтры «присутствия» (презенс-фильтры);
- многополосные регуляторы АЧХ, называемые эквалайзерами (от англ. слова equaliser – корректор, выравниватель).

Основными целями регулирования спектра являются:

- придание большей выразительности звучанию певческих голосов и музыкальных инструментов;
- уменьшение заметности некоторых недостатков речи (неприятного тембра, шепелявости; посвистывания);
- создание некоторого подобия певческой форманты;
- создание различных звуковых эффектов, например имитации звучания речи по телефону, по радио, через рупор;
- имитация акустической обстановки передаваемых сцен;
- получение новых, необычных тембров;
- исправление нарушений частотного баланса, возникающего при воспроизведении сигналов с повышенной или пониженной по сравнению с исходной громкостью;
- ослабление влияния помех (шумов) при реставрации старых фонограмм, записанных механическим, оптическим или магнитным способом, и при записи в неудовлетворительных акустических условиях.

Регуляторы АЧХ иногда называют **частотными корректорами**. Но для исправления АЧХ они используются очень редко. АЧХ звукорежиссерских пультов, профессиональных микрофонов и магнитофонов не нуждаются в кор-

ректировании. Чаще всего перечисленные устройства используют для сознательного отклонения АЧХ от горизонтальной прямой и лишь в редких случаях действительно для исправления амплитудно-частотных искажений, возникающих из-за необычных условий приема звуков музыки и речи в акустически неприспособленных помещениях, неоптимальном расстоянии микрофона от источника звука, при использовании миниатюрного микрофона, помещенного под одеждой, для подавления ярко выраженных резонансов помещений (особенно небольших).

Заметим, что отечественные термины и их английские эквиваленты не всегда совпадают. Чтобы избежать подобных неудобств, приведем перечень совпадающих терминов:

- ФНЧ (фильтр нижних частот) = Low-pass = High-cut (низкие пропускаются, высокие обрезаются);
- ФВЧ (фильтр верхних частот) = High-pass = Low-cut (высокие пропускаются, низкие обрезаются).

Иногда вместо полных слов Low или High могут быть их сокращенные формы Lo и Hi.

### 17.2.2. Фильтры плавного подъема и спада АЧХ

Фильтры плавного подъема и спада АЧХ позволяют звукорежиссеру изменять в широких пределах спектральные характеристики отдельных источников в области нижних и верхних частот звукового диапазона (рис. 17.8).

Подъемы и спады АЧХ осуществляются обычно в пределах  $\pm(15...24)$  дБ плавно или ступенями по 3...6 дБ; частоты среза ФВЧ – 60, 120, 250 Гц, ФНЧ – 3, 5, 8, 10, 12 кГц, крутизна спада – не менее 12 дБ/окт. Указанные пределы регулирования позволяют получить естественное звучание при акустических дефектах студии, несовершенстве микрофонов или неудачном их расположении.

С помощью таких фильтров можно подчеркнуть характерные особенности звучания исполнителей, чтобы придать ему оригинальность. Субъективно применение любого фильтра воспринимается как изменение тембра первичного сигнала.

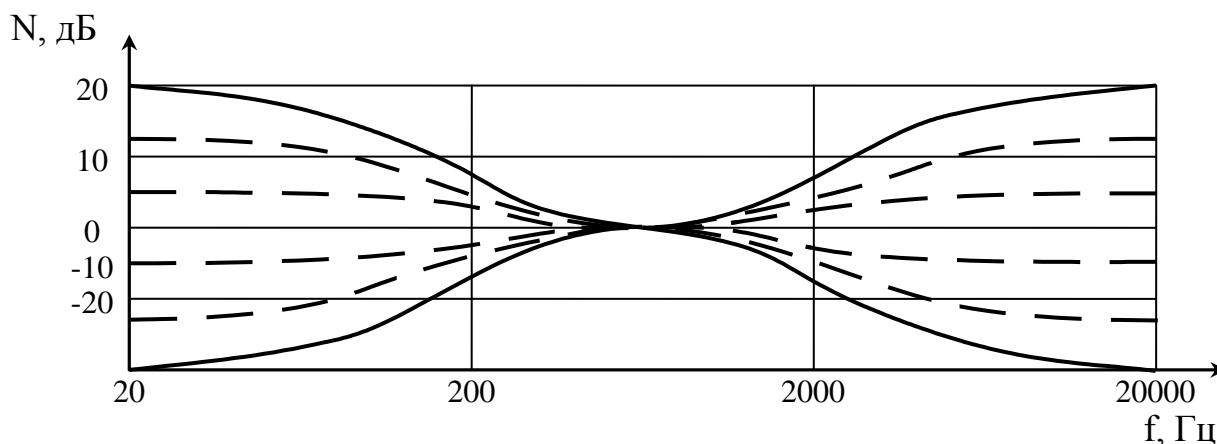


Рис. 17.8. Частотные характеристики фильтров плавного подъема и спада



### 17.2.3. Фильтры среза (обрезные фильтры)

С помощью фильтров среза (рис. 17.9) можно создавать такие звуковые эффекты, как:

- «разговор по телефону»;
- «передача по радио» и др.

Чаще всего эти фильтры используют:

- для ослабления низкочастотного фона (от освещения, блоков питания);
- для ослабления высокочастотного шума магнитной ленты;
- для ослабления НЧ и ВЧ помех при студийных записях и реставрации старых фонограмм.

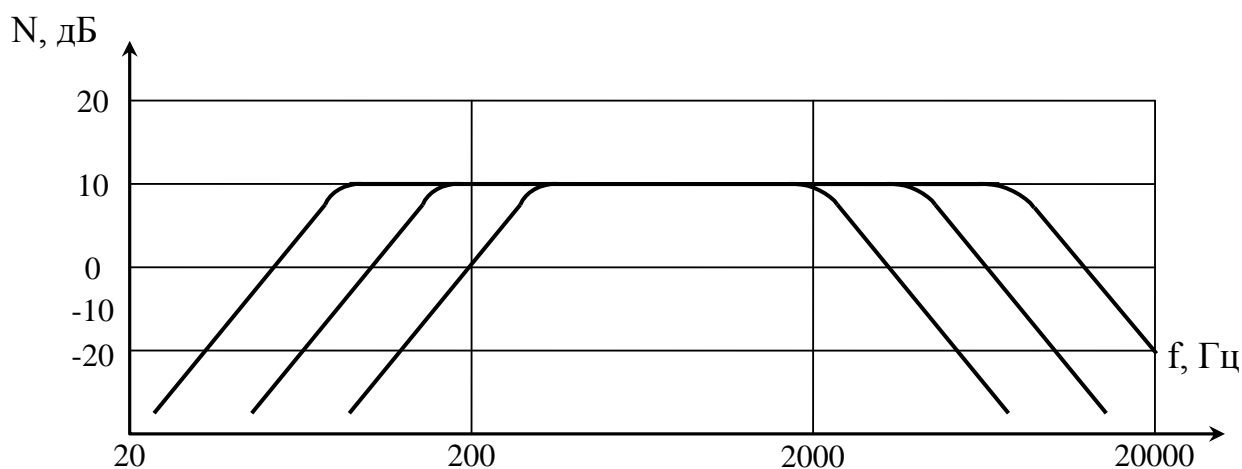


Рис. 17.9. Частотные характеристики фильтров среза

### 17.2.4. Фильтры присутствия («презенс»-фильтры)

Фильтры присутствия обеспечивают эффект кажущегося присутствия слушателей около исполнителя или исполнителя около слушателя. Эти фильтры позволяют подчеркнуть область средних частот, где расположены певческие и инструментальные форманты, что делает звучание певцов-солистов или отдельных инструментов более сочным и ярким, как бы выделенным из общей звуковой картины и приближенной к слушателю.

Фильтры присутствия позволяют выделять относительно узкие участки спектра в диапазоне частот 700...4000 Гц (рис. 17.10).

Резонансная частота фильтров выбирается с помощью переключателя. Чаще всего в качестве резонансных выбирают частоты: 0,7; 1,4; 2,0; 2,8 и 4 кГц, причем высоту подъема изменяют ступенями обычно через 2 дБ от 0 до 10 дБ.

Для подчеркивания сигнала солиста наиболее часто выделяют область частот около 2,8 кГц, так как тембральная яркость голоса определяется певческой формантой в области частот 2,8...3,2 кГц (форманта – максимальное значение спектрального распределения энергии звука).

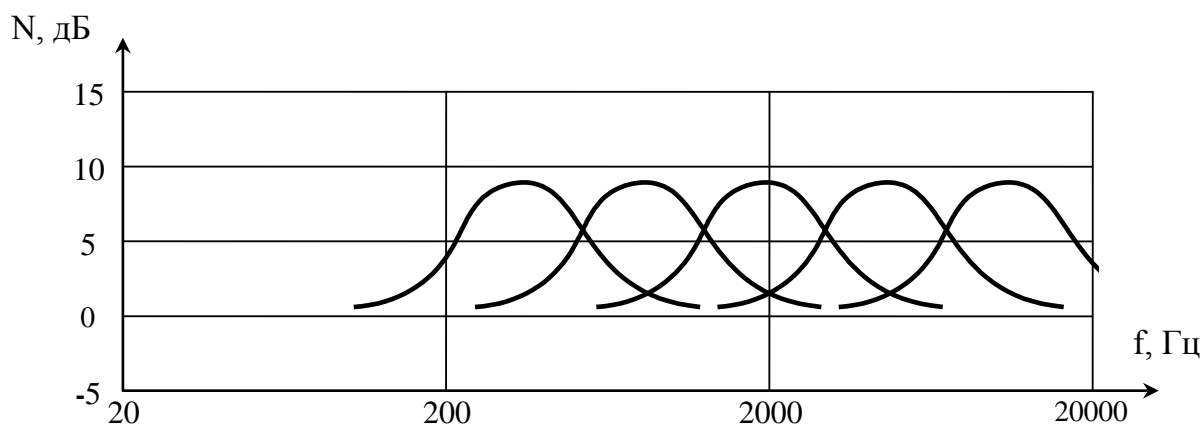


Рис. 17.10. Частотные характеристики фильтров присутствия

### 17.2.5. Эквалайзеры

Эквалайзеры, с которыми можно встретиться на практике, отличаются большим разнообразием – от простейших НЧ- и ВЧ-регуляторов до сложнейших параметрических устройств. Причем все эти типы эквалайзеров могут быть изготовлены по двум различающимся между собой принципам построения: по последовательной или параллельной схеме.

В последовательной схеме (рис. 17.11, а) весь сигнал проходит все элементы и узлы схемы, независимо от того, будет ли данная часть спектра сигнала изменяться в этом каскаде или нет. В параллельной схеме (рис. 17.11, б) входной сигнал разделяется набором параллельно включенных фильтров на ряд частотных полос, выходные сигналы которых после регулировки суммируются.

Основным недостатком последовательной схемы является то, что она вносит значительные фазовые сдвиги. Это создает существенные сложности при формировании стереосигналов.

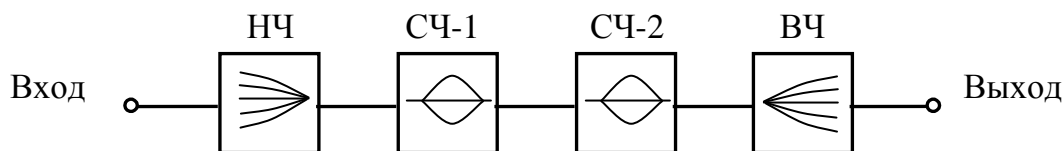
**Графический эквалайзер** – это многодиапазонный корректор АЧХ электрических звуковых сигналов. Границы полного диапазона частот, в котором осуществляется коррекция АЧХ, определяются диапазоном частот, воспринимаемым слухом человека. Нижней границей этого диапазона являются звуковые колебания с частотой около 20 Гц, а верхней – около 20 кГц. Органы управления выполняются в виде движковых регуляторов, благодаря чему положение их ручек как бы отображает АЧХ устройства в графическом виде, откуда и произошло само это название. Частоты, на которых осуществляется регулирование в графических эквалайзерах, унифицированы, и выбираются из ряда стандартных частот, которые перекрывают весь звуковой диапазон, и отстоят друг от друга на некоторый постоянный интервал. Этот интервал может составлять октаву, ее половину, или треть, то есть средние частоты соседних по частоте фильтров будут различаться в 2,  $\sqrt{2}$  и  $\sqrt[3]{2}$  раз.

По рекомендации Международной организации по стандартизации (ISO) установлены следующие среднегеометрические частоты фильтров:

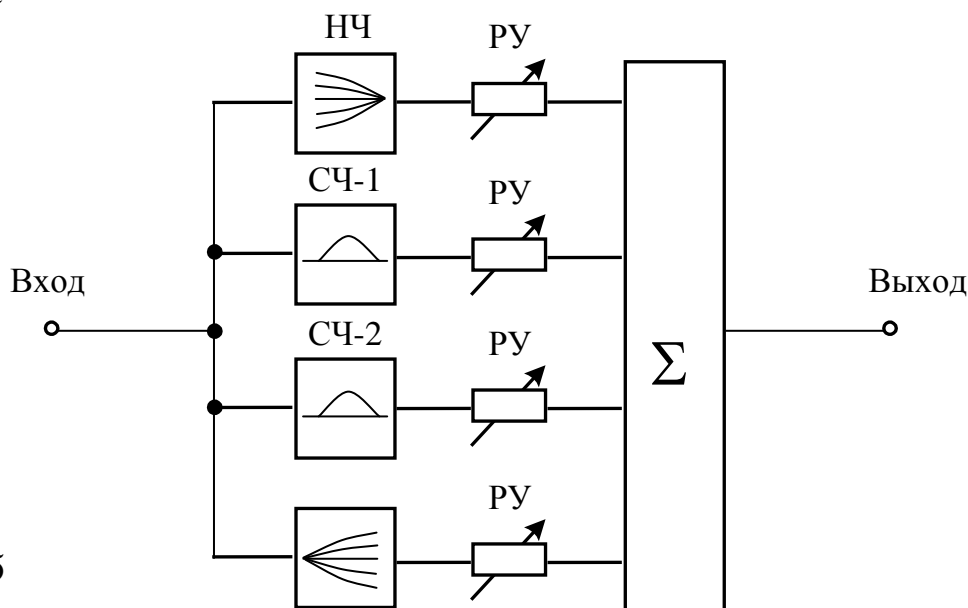
- октавных: 16; 31,5; 125; 250; 500 Гц; 1; 2; 4; 8; 16 кГц;

- полуоктавных: 16; 22,4; 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710 Гц; 1; 1,41; 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11,2; 16 кГц;
- третьоктавных: 16; 20; 25; 31,5; 40; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800 Гц; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16 кГц.

Наибольшие возможности, естественно, имеют третьоктавные графические эквалайзеры. Они могут быть выполнены как по параллельной, так и по последовательной схеме, однако последний вид наиболее распространенный.



а



б

Рис. 17.11. Способы построения эквалайзеров

Число полос регулирования может составлять от 27 в недорогих моделях до 31 в профессиональных. Полный диапазон регулировки эквалайзера в разных моделях может составлять  $\pm 12$  дБ или  $\pm 15$  дБ. Как правило, эквалайзеры имеют специальный переключатель, с помощью которого диапазон регулировки сокращается до  $\pm 6$  дБ, что делает настройку эквалайзера более точной и удобной при настройке звучания тракта системы звукоусиления.

На рис. 17.12 показана АЧХ октавного эквалайзера, а на рис. 17.13 – его лицевая панель.

Ни для кого не секрет, что графические эквалайзеры разных фирм «звучат» по-разному. А если учесть, что построены они по одному принципу, идентичным структурным схемам, и почти идентичным принципиальным, то невольно возникает вопрос, почему же это происходит.

Дело в том, что в графических эквалайзерах применяются не сами катушки индуктивности, а их электронные аналоги. Эти аналоги схемотехнически можно создавать различным образом. Известно, что «нормальный» колебатель-

ный контур имеет АЧХ, симметричную относительно его резонансной частоты. В дешёвых моделях АЧХ эквалайзера в области верхних частот несимметрична, имея более вытянутый «хвост» в сторону нижних частот. За счёт этого происходит незапланированное изменение спектра не только в соседних полосах, но и в более удалённых. От этого дефекта свободны дорогие модели, например, эквалайзеры известной фирмы Klark Teknik, которые давно уже стали своеобразным стандартом во всех студиях мира.

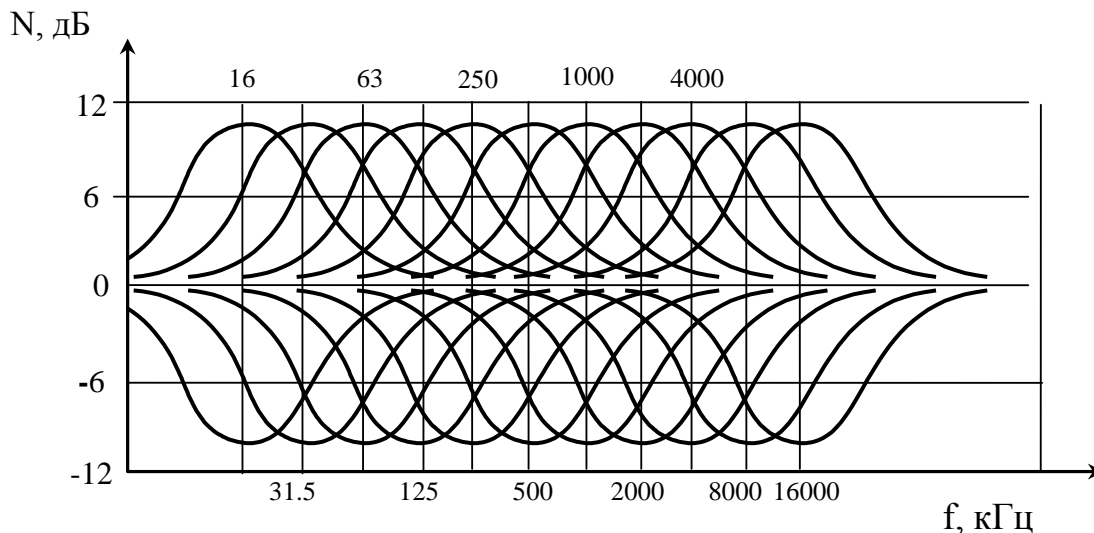


Рис. 17.12. АЧХ октавного графического эквалайзера

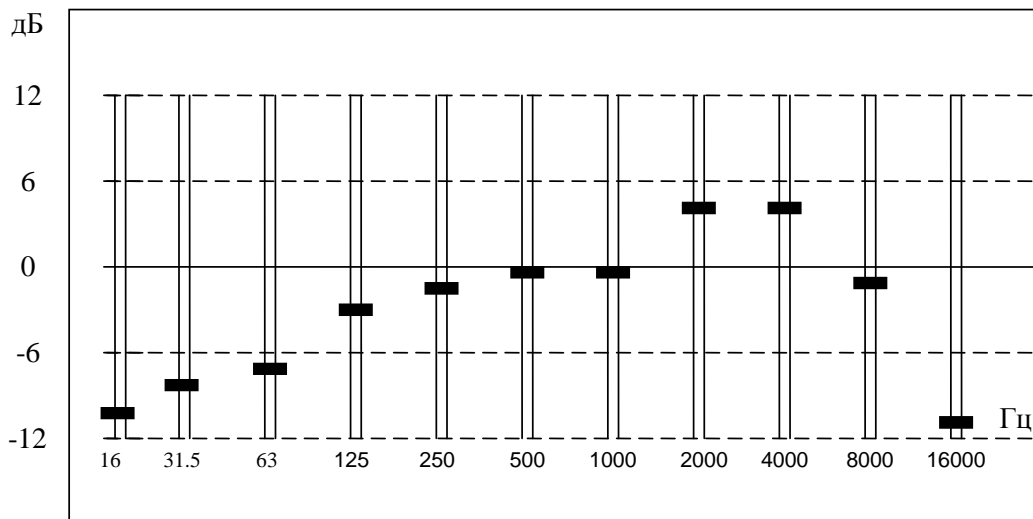


Рис. 17.13. Лицевая панель октавного эквалайзера

В **параметрическом эквалайзере** для каждой полосы осуществляется независимая друг от друга установка всех параметров (отсюда и название «параметрический»): центральной частоты регулирования, ширины полосы регулирования Width, или обратной ей величины – добротности  $Q$  и величины подъема/завала АЧХ.

Параметрические эквалайзеры должны, таким образом, иметь для каждой полосы регулирования по три органа управления, по числу устанавливаемых параметров. Причем диапазоны изменения параметров могут иногда достигать весьма значительных величин. Так, например, если глубина регулирования тембра эквалайзером составляет обычно порядка 15...20 дБ, то частота настройки может изменяться уже в сто и более раз, а добротность в отдельных эквалайзерах может изменяться и в тысячу раз.

В параметрических эквалайзерах используется два вида частотных характеристик полосовых фильтров: **Bell** (колокол) и **Shelf** (полка). Разницу в этих характеристиках поясняет рис. 17.14.

Из рисунка видно, что в регуляторе типа Bell величина подъема АЧХ постоянно возрастает, тогда как для режима Shelf подъем (или спад) возрастает только до установленной вами величины, и при дальнейшем увеличении частоты входного сигнала не изменяется, и АЧХ образует своеобразную «полку». С практической точки зрения это означает, во-первых, что регулятор типа Shelf в параметрическом эквалайзере позволяет более избирательно осуществлять регулирование на краях звукового частотного диапазона, в меньшей степени затрагивая сигналы, лежащие в его середине. Во-вторых, вследствие повышенной избирательности этого типа эквалайзеров появляется возможность добиться большей величины регулирования подъема и завала АЧХ на краях диапазона, вплоть до 36 дБ. В дорогих моделях эквалайзеров имеется возможность выбора между Shelf и Bell.

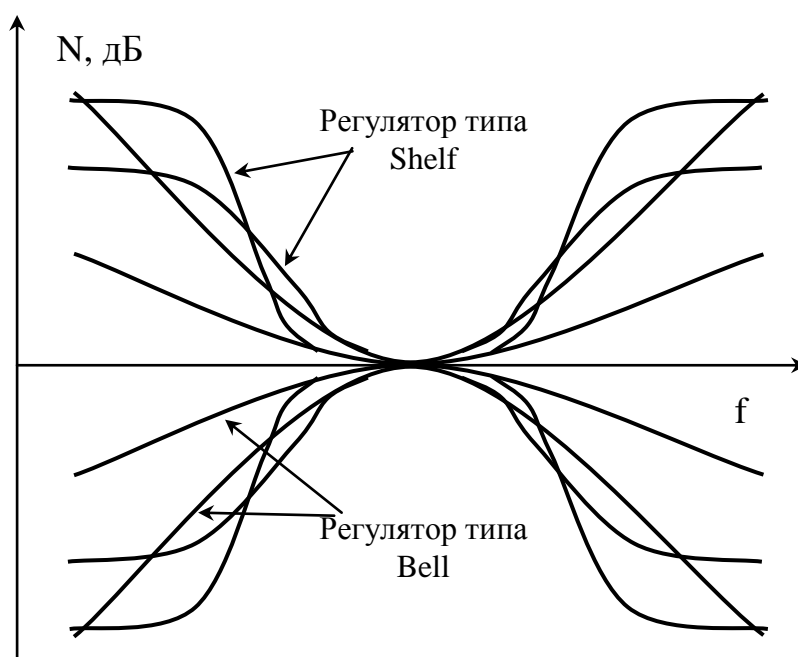


Рис. 17.14. АЧХ регуляторов различных типов

Иногда в некоторых моделях звуковой аппаратуры, например, в недорогих микшерных пультах, устанавливается вариант такого эквалайзера с урезанными возможностями, так называемый «полупараметрический» эквалайзер.

Отличается он от обычного тем, что не предоставляет возможностей для изменения добротности эквалайзера, то есть ширины полосы фильтра. Только если в имеющемся у вас эквалайзере на каждую полосу регулирования приходится по три ручки управления, то у вас настоящий параметрический эквалайзер. Если же число органов управления меньше трех, то это все же полупараметрический эквалайзер, что бы ни писал при этом сам изготовитель.

В некоторых дорогих моделях эквалайзеров иногда применяются некоторые дополнительные «маленькие хитрости», облегчающие и упрощающие работу с ними. Наиболее часто встречается применение так называемого «принципа пропорционального Q». Под этим принципом понимается, что площадь под АЧХ фильтра (и, тем самым, энергия сигнала) всегда остаётся постоянной. Поэтому, регулируя АЧХ, звукорежиссёр не беспокоится об изменении громкости.

Бывают и другие отступления от канонической конструкции. Встречаются эквалайзеры, у которых глубина регулировки АЧХ на крайних частотах звукового диапазона увеличивается, компенсируя этим снижение чувствительности нашего слуха на указанных частотах.

Особняком стоит тип эквалайзеров, называемых **параграфическими**. По своей сути это гибрид из **ПАРА**метрического и **ГРАФ**ического эквалайзеров, отчего и произошло это необычное название. Параграфический эквалайзер – это фактически многополосный параметрический, но имеющий конструктивное исполнение регуляторов подъема/спада АЧХ как у графического, с потенциометрами в виде движков (слайдеров). У большинства параграфических эквалайзеров, однако, отсутствует возможность переключения типа Bell/Shelf в отличие от параметрических. Но благодаря своим огромным возможностям, они позволяют получать практически любые виды АЧХ. Из-за своей сложности они весьма дороги, и в силу этого имеют относительно небольшое распространение.

подавляющее большинство эквалайзеров сконструировано по последовательному принципу построения. Полагаем, что у читателей возник вопрос, а в чем для практикующего звукорежиссера разница между последовательным и параллельным принципами? Основная, с этой точки зрения, разница заключается в том, что эквалайзер, созданный по последовательному принципу, имеет симметричную АЧХ на перемещение регулятора подъема/завала (рис. 17.15, а).

Иными словами, АЧХ регулятора, установленного на +6 дБ, зеркально симметрична характеристике ослабления на -6 дБ относительно уровня в 0 дБ. То есть если вы на двух последовательно включенных однотипных эквалайзерах установите на одном из них +6 дБ, а на другом - 6дБ, то при идентичности остальных параметров суммарная АЧХ будет линейной. В случае же с «параллельными» эквалайзерами этого получить не удастся. Дело в том, что в таких эквалайзерах прямой сигнал суммируется с сигналом, прошедшим сквозь полосовой фильтр. А что произойдет, если сложить или вычесть два сигнала с одинаковыми уровнями? Правильно, в первом случае сигнал просто возрастет вдвое, то есть на 6 дБ, а вот во втором случае уменьшится до нуля, то есть затухание составит «минус бесконечность». В силу этого полоса частот, захваты-

ваемых регуляторами этого типа эквалайзеров, будет различна для регулировок «в плюс» и «в минус». Причем для случая подъема АЧХ полоса частот будет шире (то есть добротность эквалайзера меньше), чем для завала (рис.17.15, б).

Однако в действительности это скорее преимущество, чем недостаток. В самом деле, ведь на практике относительно редко возникает необходимость поднять очень узкий участок спектра, в то время как ослаблять обычно приходится небольшие части звукового диапазона. Однако необходимость постоянно помнить о несимметричности АЧХ и связанные с этим неудобства существенно ограничивают сферу применения этого типа эквалайзеров. А ведь в силу особенностей схемотехники в таких эквалайзерах может быть получен звук существенно более высокого качества, чем в последовательных. Ведь в них прямой сигнал проходит только один каскад – сумматор, благодаря чему подвергается искажениям в меньшей степени, чем в обычных параметрических, где он вынужден проходить через абсолютно все цепи и каскады, имеющиеся в схеме.

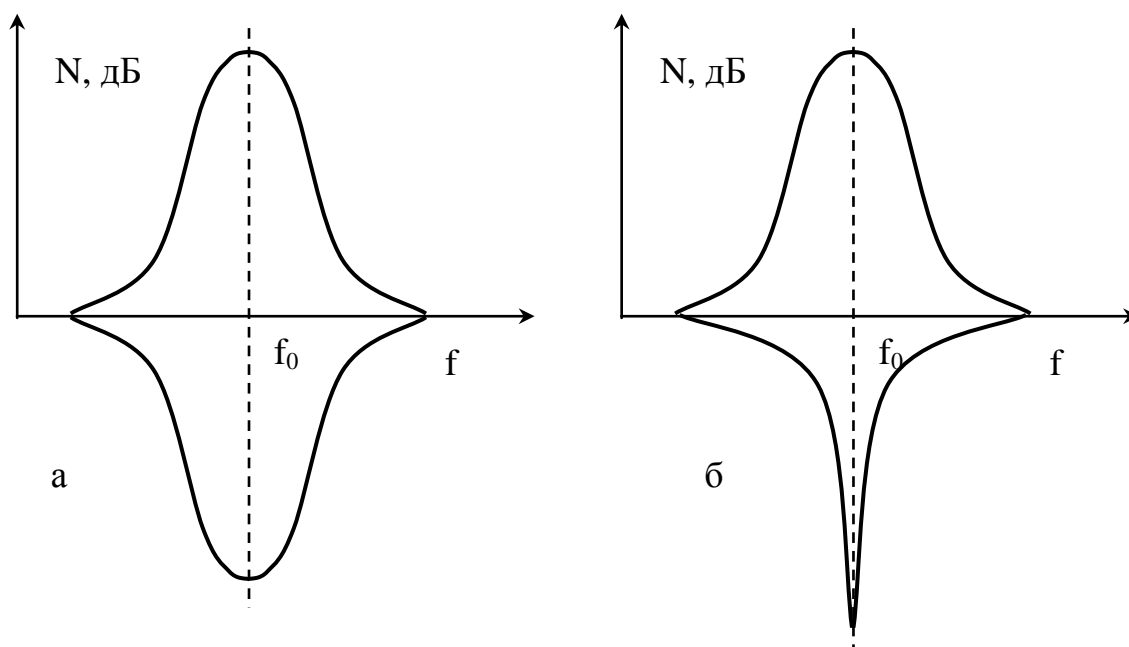


Рис.17.15. АЧХ полосового фильтра при последовательной (а) и параллельной (б) схемах построения эквалайзера

### 17.3. Устройства пространственной обработки

Устройства пространственной обработки – это устройства для создания искусственной реверберации. Исторически первыми искусственными ревербераторами, были появившиеся в 30-ые годы эхо-камеры. Эхо-камера – помещение с хорошо отражающими звук преградами, объемом от 120 до 300 м<sup>3</sup>. При меньшем объеме становится заметной дискретность спектра собственных (резонансных) частот камеры на нижних частотах. Чтобы ослабить влияние собственных (резонансных) частот и стоячих волн на процесс реверберации, стены, пол и потолок камеры строят непараллельными. Воздушный объем камеры возбуждают громкоговорителем, на который подают исходный сигнал (рис. 17.16).

Микрофон устанавливают так, чтобы он по возможности принимал только многократно отраженные сигналы. Меняя соотношение уровней исходного и реверберирующего сигналов, добиваются желаемой реверберации. Наибольшее время реверберации достигает 5...7 с. Из всех аналоговых устройств искусственной реверберации реверберационная камера создает наиболее естественное звучание, так как в ней не имитируется, а реально осуществляется реверберационный процесс. Недостатки реверберационной камеры – громоздкость, большая стоимость и невозможность изменения параметров.

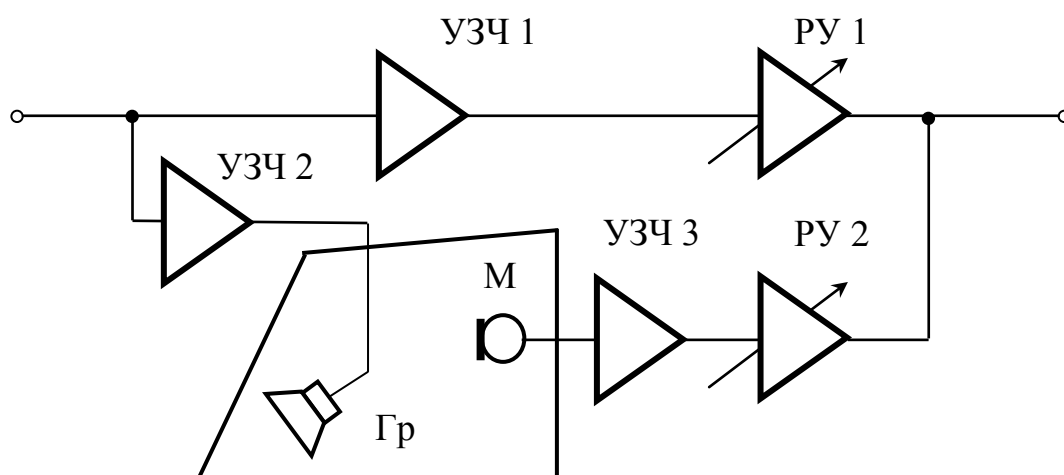


Рис. 17.16. Принцип работы эхо-камеры

В попытках преодолеть эти трудности была создана первая электронная, а точнее – электронно-механическая система, пружинный ревербератор (Spring reverb). В пружинном ревербераторе задержка сигнала происходит в стальной проволоке, с одним из концов которой скреплен датчик, возбуждатель крутильных колебаний, а с другим – приемник преобразователь механических колебаний в электрические. Для уменьшения размеров проволока свита в спираль (пружину). Его параметры сравнительно легко изменять, размеры ревербератора не соизмеримы с эхо-камерой, и эти ревербераторы в свое время имели огромное распространение. Однако создаваемый ими звук сильно уступал по качеству реальному. Ведь в пространстве помещения звук распространяется по трем осям – длине, ширине, высоте, а в пружине – только по длине. Вследствие этого реверберирующий отзвук был одномерным, то есть более «тонким», «жидким», с заметной тоновой окраской.

В следующем поколении искусственных ревербераторов – листовом ревербераторе (Plate reverb) этот недостаток был в значительной мере преодолен путем замены пружины металлическим листом. При этом колебания в листе распространялись уже по двум осям – длине и ширине. Это, конечно, еще не три, как в реальном помещении, но все же прогресс был значителен. Создаваемый этими ревербераторами звук был настолько хорош, что они практически завоевали весь «звуковой мир», и во многих местах прекрасно работают и поныне. К сожалению, листовые ревербераторы имеют два принципиально неуст-



ранимых недостатка. Это весьма высокая чувствительность к акустическим помехам и большие размеры, ведь стандартный размер применяемого в них стального листа составляет 1x2 м.

Первые чисто электронные ревербераторы использовали тракт записи-воспроизведения магнитофонов со сквозным каналом. Сигнал, снятый с выхода усилителя воспроизведения, подавался назад, на вход усилителя записи. Регулируя его уровень, можно было менять время затухания получаемого отзвука, то есть как бы время реверберации. Конечно, в системах с одной головкой воспроизведения получалась не настоящая реверберация, а просто ряд затухающих повторений исходного сигнала, то есть обычное эхо. Так как довольно долгое время этот вид «ревербераторов» имел наиболее широкое распространение, то создаваемый ими эффект многие и называли и продолжают называть «реверберацией». На самом деле – это устройство для создания эхо, или как принято его называть «дилэй» (от английского Delay – задержка).

Известно, что реверберация – это слитное послезвучание, в котором невозможно различить отдельные повторы. Если же четко слышен ряд отдельных повторов исходного сигнала – тогда это дилэй. Вместо «длинного» слова «реверберация» иногда её называют по-простому «холл». Это уже совсем неправильно, так как холл – это всего лишь один из режимов работы современных цифровых ревербераторов. Ни о какой диффузности сигнала, присущей настоящей реверберации, в простейших одноголовочных устройствах и речи быть не могло. Кстати сказать, в англоязычной литературе этот класс устройств имел совсем другое, более правильное название – Echo Machine (машина для создания эхо).

Однако постепенно число головок воспроизведения увеличивалось, усложнялись алгоритмы создания обратной связи, и некоторые модели таких ревербераторов имели весьма хорошее звучание. Но прогресс в развитии микроэлектроники привел к «естественной смерти» этого класса устройств, и к полной замене их цифровыми устройствами, которые с полным правом можно уже назвать ревербераторами.

По своей сути цифровые ревербераторы являются просто твердотельными аналогами магнитофонных ревербераторов, только значительно более сложными. Для того чтобы проще было понять процесс их работы, рассмотрим упрощенную схему магнитофонного ревербератора (рис. 17.17).

Сигнал с входа подается на головку записи 1, записывается на ленту, и затем воспроизводится с нее головками 2 и 3. Сигналы с головок 2 смешиваются в нужной пропорции в микшере, и через регулятор тембра в цепи обратной связи (позволяющий изменять частотную характеристику получаемой реверберации) подаются снова на запись. Этим создается основной реверберационный «хвост». Сигналы с головок 3 также смешиваются в выходном микшере, и подаются на выход всего устройства через регулятор баланса, позволяющий регулировать соотношение прямого (Dry) и реверберирующего (Wet) сигналов для установления требуемого уровня реверберации. Все эти элементы имеются и в цифровых ревербераторах, только некоторые из них носят другие названия.

Главной частью любого цифрового процессора является многоотводная цифровая линия задержки (Multi-tap digital delay line), на которую подается оцифрованный входной сигнал. Эта линия выполняет функцию, аналогичную роли ленты в магнитофоне. Для создания реверберации сигнал снимается с многих точек этой линии, называемых «отводами». Каждая из точек съёма сигналов с линии задержки играет роль головки воспроизведения в магнитофоне – 2 или 3. Естественно, что в случае с цифровыми процессорами полностью отсутствует главное ограничение магнитофонной техники – на количество головок. Всё ограничивается только мощностью самого процессора и быстродействием памяти. Очевидно, что эти величины намного превосходят достижимые в магнитофонах, вследствие чего последние и «вымерли», не выдержав конкуренции с более совершенной цифровой техникой.

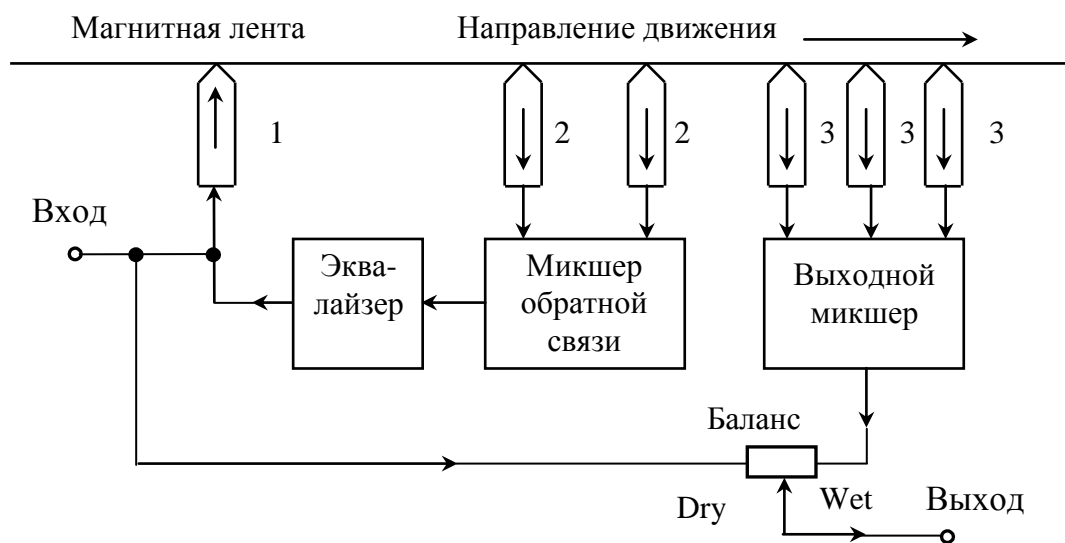


Рис. 17.17. Функциональная схема магнитофонного ревербератора

Однако это не относится к пружинным и листовым ревербераторам. Хотя они во многом и потеснены «цифрой», их звучание имитируется, в той или иной мере, практически всеми цифровыми ревербераторами. Да и сами они применяются ещё довольно широко.

На дисплее любого цифрового ревербератора можно увидеть множество самых различных названий предлагаемых эффектов. Несмотря на это, число основных алгоритмов реверберации в каждом процессоре относительно невелико, и даже в самых дорогих моделях обычно не превышает трех-пяти. Обычно это несколько (2...3) видов реверберации помещений (варианты названий – Hall, Reverb, Room, и др.), плюс имитация наших старых знакомых, пружинного и листового ревербераторов и, естественно, эхо магнитофонного ревербератора, под названием Delay (задержка), а иногда – и просто эхо (Echo). Все без исключения рабочие программы создаются исключительно путем варьирования множества параметров, входящих в эти алгоритмы, а также сочетания нескольких одновременно работающих алгоритмов для получения сложных, составных комбинированных звуков. Например, реверберация и эхо одновременно: Reverb

+ Echo. Количество же созданных на их основе эффектов (пользовательских и фабричных) может быть очень большим. При этом отличаются они только вариациями параметров исходных алгоритмов. Это, кстати, объясняет, почему в недорогих ревербераторах большое количество программ с весьма эффектными названиями даёт совершенно одинаковое звучание.

Следует заметить, что большинство режимов имеют в своей основе какой-либо набор характеристик существующих залов, только несколько модифицированный и разделённый на составные части: отдельно – информация о структуре ранних отражений, отдельно – о самой реверберации.

Несколько особняком стоят программы, имитирующие акустику реальных помещений. В этих случаях возможность пользователя изменять звучание чаще всего сильно ограничена – ведь не может же Карнеги-холл быть размером с кухню.

Рассмотрим вкратце основные параметры ревербераторов. Однако следует иметь в виду, что у подавляющего большинства производителей одни и те же самые параметры именуется настолько по-разному, что далеко не всегда можно разобраться, о чем вообще идет речь.

В соответствии с реверберацией реальных помещений все доступные для изменения пользователем параметры можно разделить на две основные группы:

- управление ранними отражениями (Early reflections);
- управление собственно реверберационным «хвостом» (Reverb).

К сожалению, есть только один параметр, более или менее одинаково называющийся у разных изготовителей – Pre-Delay, интервал времени между приходом к слушателю прямого сигнала и моментом появления самого первого задержанного (отраженного) сигнала. Хотя и здесь возможны варианты – встречается также название IniDelay.

Следующим важным параметром является характер затухания сигналов ранних отражений, их огибающая – Liveness.

Еще один параметр, имеющий физически разное применение, – это плотность структуры ранних отражений, их диффузность (Diffusion). Это различие объясняется тем, что в дорогих моделях изменяется то, что и написано: так как большая диффузность должна создаваться путем увеличения количества самих отражений, то в них именно так и происходит. Каждый одиночный импульс на рис. 17.18 при увеличении этого параметра как бы распадается на «гроздь» из нескольких близко расположенных. К сожалению, в недорогих моделях часто делается по-другому: просто изменяются интервалы между самими отражениями. При этом отзвук становится, конечно, более плотным, но и более коротким и тонально окрашенным. Иногда этот параметр называется также Density.

Естественно также, что необходимо иметь и возможность регулировать громкость ранних отражений, этот параметр чаще всего именуется ER Level, (ER – Early Reflections – ранние отражения) или InitLevel, хотя бывают и другие обозначения.

В большинстве ревербераторов имеется возможность выбирать нужный вид ранних отражений из нескольких наборов. Некоторые модели процессоров

позволяют пользователю создавать и свои наборы ранних отражений. Это часто используется для создания специальных эффектов – типа Gate Reverb. При этом для каждого единичного отражения вы сами можете установить его время задержки относительно прямого сигнала – Delay, уровень – Level и положение в стереопанораме – Pan.

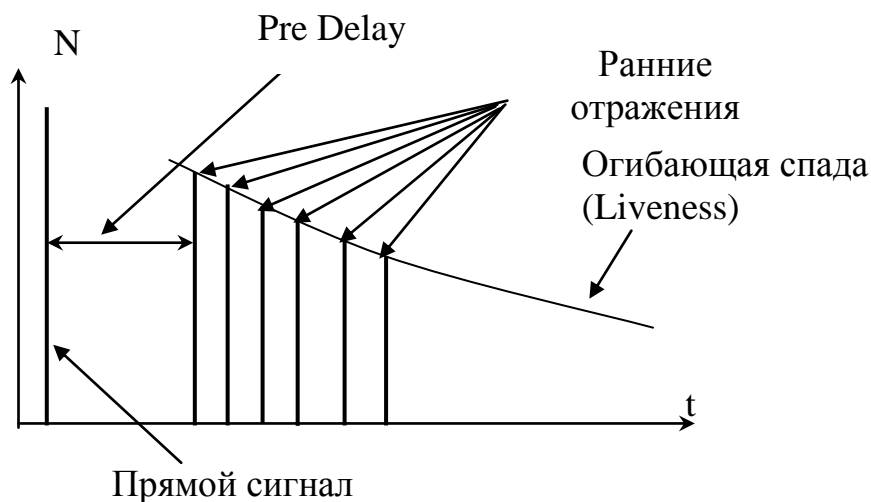


Рис. 17.18. К вопросу формирования ранних отражений

Если на приведённом на рис. 17.19 графике реверберационного процесса посмотреть на собственно реверберационный «хвост», то можно заметить, что его единственное, в сущности, отличие от ранних отражений заключается в большей «слитности». Отдельные повторения сигналов в нем находятся так близко, что сливаются друг с другом, становятся практически неразличимыми.

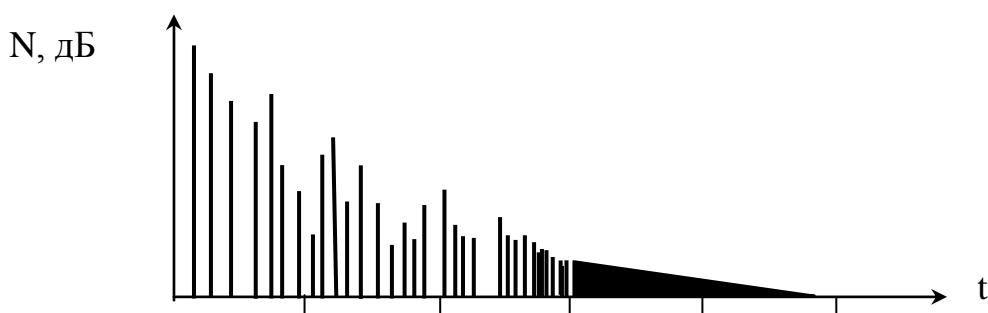


Рис. 17.19. График «классического» реверберационного процесса

Методика регулировки времени реверберации существенно отличается от методики формирования ранних отражений. Объясняется это тем, что ранние отражения поступают напрямую на выход ревербератора, и на этом их «жизненный путь» в ревербераторе заканчивается. Длительный же реверберационный «хвост» можно получить только путём подачи выходного задержанного сигнала снова на вход, чтобы получить последовательность плавно затухающих во времени повторений исходного сигнала. Этот процесс регулируется параметром Decay, или Rev Time – время реверберации. Очевидно, что если в цепь

обратной связи включить эквалайзер, то можно получить различное время реверберации на разных частотах. Как правило, такой эквалайзер есть во всех современных ревербераторах.

Разнообразие параметров регулирования АЧХ обратной связи также весьма велико. От простейшего регулятора уровня высоких частот Hi Ratio, только уменьшающего уровень этих составляющих, до весьма сложных четырехполосных регуляторов. В этом случае устанавливаются как частоты раздела (Lo-xOvr, LoMid-xOvr, Hi-xOvr), так и уровни сигналов в каждой полосе (xLow, xLoMid, xHigh). При этом регулятор в одной из полос (обычно на средних частотах) отсутствует, и уровни всех остальных сигналов устанавливаются относительно этого, являющегося для них опорным.

В сложных регуляторах, как правило, возможно не только ослабление сигнала в полосах, но и его усиление, причем эти параметры устанавливаются не так, как мы все привыкли измерять АЧХ – в децибелах, а как множитель относительно общего времени реверберации, показывающий, во сколько раз изменится время реверберации на этой частоте относительно общего. К сожалению, такие возможности – редкость, и бывают они только в дорогих моделях. В наиболее распространенных ревербераторах среднего класса чаще всего предусмотрена возможность регулировки только уровня низкочастотных или высокочастотных составляющих цепи обратной связи – LowRatio и HighRatio, соответственно. Возможные варианты названий – Bass Decay, Treble Decay и некоторые другие.

Иногда вместо регуляторов тембра в цепи обратной связи устанавливаются перестраиваемые фильтры, ограничивающие полосу частот в цепи обратной связи – НЧ (HPF, или Hi-Pass) и ВЧ (LPF, или Low-Pass).

Существует также ряд так называемых «глобальных» регулировок, изменяющих одновременно целый ряд параметров. К ним относится, например, регулировка Size, изменяющая размер имитируемого ревербератором помещения. Достаточно часто этот параметр указывается в метрах – он показывает наибольший линейный размер этого помещения. В некоторых ревербераторах имеются алгоритмы, позволяющие синтезировать не существующее в реальности, а придуманное вами помещение, в которых вы можете регулировать ширину Width, глубину Depth и высоту Height.

В таких случаях предусматривается также ряд параметров «помещения», отсутствующих в других программах. Так как звук в помещении распространяется по трем осям (длине, ширине, высоте), можно, например, выбрать степень «заглушенности» отдельно для каждой пары ограждающих поверхностей – горизонтальных Height Decay, и двух вертикальных – по ширине Width Decay и глубине Depth Decay. Так как речь может идти только об ослаблении звука, то эти коэффициенты всегда меньше единицы. В некоторых экзотических ревербераторах возможно даже выбирать степень «неровности» стен (Wall Roughness).

Несколько особняком стоят параметры стереорежима. Дело в том, что принципиально невозможно создать стереоревербератор, в котором получае-

мый с его помощью эффект зависел бы от пространственного расположения источников входных сигналов в стереопанораме. Правильнее было бы называть все электронные ревербераторы «псевдостереофоническими». Одним из возможных регуляторов стереоревербератора является регулятор ширины стереобазы получаемого сигнала (Reverb Width). Кроме него, иногда встречается регулятор «независимости» каналов, ведь в хорошем ревербераторе, по сути, находятся два независимых ревербератора, для левого и правого каналов. Чтобы получить сложный красивый пространственный выходной сигнал, необходимо подавать часть выходного сигнала каждого канала на вход другого. Иногда это просто «общий» выключатель On/Off, иногда это регуляторы Cross-Feedback, X-Feed и др. Бывают стереоревербераторы, в которых этот параметр входит составной частью в какой-либо алгоритм и может плавно регулироваться в числе других, доступных параметров.

Не секрет, что главный недостаток цифровых ревербераторов, в отличие от реальных помещений, – это некоторая «механистичность», монотонность получаемого звучания. Реальный же зал – всегда «живой», отзвук помещения постоянно, хоть немного изменяется, так как воздух в помещении перемещается, изменяются влажность, температура и т.д. Для имитации этих эффектов в хороших ревербераторах также предусматриваются различные меры. В простейших случаях осуществляется небольшая модуляция времени задержки специальным инфранизкочастотным сигналом, соответственно, с обычными параметрами модуляции – частотой (Mod Rate) и глубиной (Depth). Иногда для этих целей применяется особый, так называемый «псевдослучайный» НЧ-сигнал, при этом пользователь может изменять только глубину модуляции. В совсем уж сложных ревербераторах имеются особые алгоритмы для придания «живости» звучанию – Randomization. Они позволяют, кроме описанной модуляции, изменять случайным образом еще и тембр отдельных составляющих реверберационного процесса.

Отдельно от «нормальных» стоит большая группа программ для получения звучаний, не существующих в природе. Речь идет о «нелинейной реверберации» – эффектах, известных под названиями Gate Reverb, Reverb Gate, Non-Lin и некоторых других. Почему несуществующих? Да потому что не может в реальных условиях процесс реверберации оборваться резко, скачком. Или и вообще – увеличивать свою громкость с течением времени. А электронный – может... Все программы и алгоритмы реверберации этого типа работают, естественно, без обратной связи, то есть никакой сигнал с выхода ревербератора на его вход не подается, и выходной сигнал целиком и полностью формируется только из ранних отражений. Соответственно, и многие из параметров для них одинаковые, хотя есть и некоторые весьма специфичные, присущие только этому виду эффектов.

На рис. 17.20 схематически изображены два эффекта.

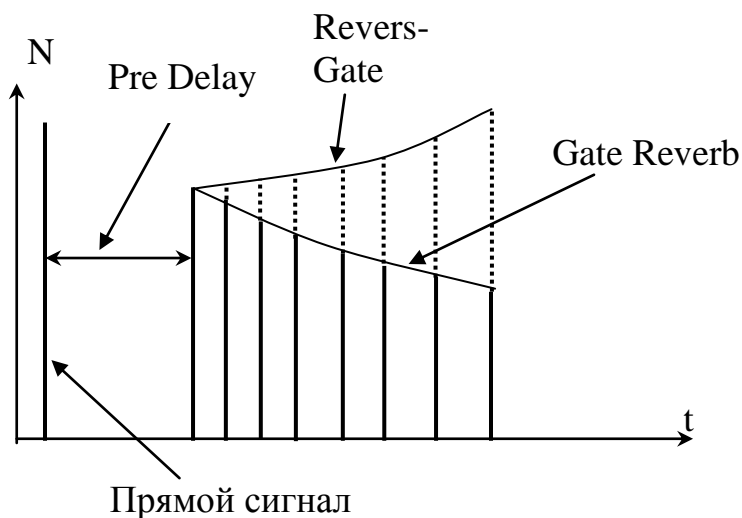


Рис. 17.20. Два режима работы ревербератора

Gate Reverb – это обычные ранние отражения, только не сопровождающиеся последующим реверберационным «хвостом». При этом уровень этих сигналов, как и положено реверберации, с течением времени уменьшается. Если же их уровень постепенно увеличивается – то это Revers Gate или Invers Gate.

Для обоих этих режимов основные параметры – это время длительности послезвучания Decay и регулировка характера огибающей, затухающей или возрастающей – Envelope. Иногда Revers Gate и Invers Gate – это две различных программы, иногда – одна и та же. В последнем случае просто переключается направление огибающей Envelope Direction, Normal – обычное, или Reverse.

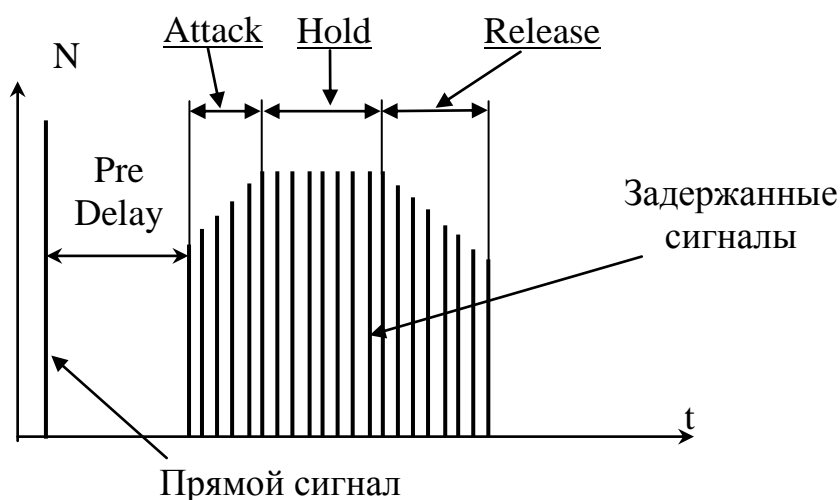


Рис. 17.21. Режим работы ревербератора, который не встречается в реальных залах

Так как этот режим абсолютно не похож на реверберацию, то он и имеет «нереверберационное» название Non-Lin. При этом у огибающей процесса есть все положенные гейту составляющие – Attack, Hold, и Release. Конечно, никакого реального гейта при этом не используется, этими регуляторами устанавливается только время нарастания или уменьшения амплитуд каждой из отдельных составляющих процесса. Или, по аналогии с магнитофонным ревербератором, уровень сигнала, снимаемого с каждой из множества воспроизводящих

головок. Например, сигнал с первой головки поступает на выход с уровнем -40 дБ, со второй -30 дБ, третьей -20 дБ, четвертой -10 дБ, пятой -0 дБ. Если при этом временной интервал между задержанными сигналами составляет, к примеру, 25 мс, то время нарастания будет равно 100 мс. Именно это время и устанавливается данным параметром.

## 17.4. Методы и устройства для создания специальных звуковых эффектов

### 17.4.1. Эффект дилэй (Delay/Echo)

Необходимость в этом эффекте, о котором мы уже упоминали, возникла с появлением стереофонии. Сама природа слухового аппарата человека предполагает в большинстве ситуаций поступление в мозг двух звуковых сигналов, отличающихся временем прихода.

Дилэй применяется, прежде всего, в том случае, когда запись голоса или акустического музыкального инструмента, выполненную с помощью единственного микрофона, встраивают в стереофоническую композицию. Но дилэй может применяться и для получения эффекта однократного повторения каких-либо звуков.

При определенных соотношениях громкостей прямого и задержанного сигнала наблюдается психоакустический эффект изменения кажущегося расположения источника звука на стереопанораме. Как и любой эффект, дилэй нужно применять в разумных пределах и не обязательно на протяжении всей композиции. Согласитесь, что, например, скачки рояля с места на место по ходу прослушивания произведения очень трудно обосновать как с эстетических позиций, так и с точки зрения здравого смысла.

Этот эффект реализуется с помощью устройств, способных осуществлять задержку акустического или электрического сигналов.

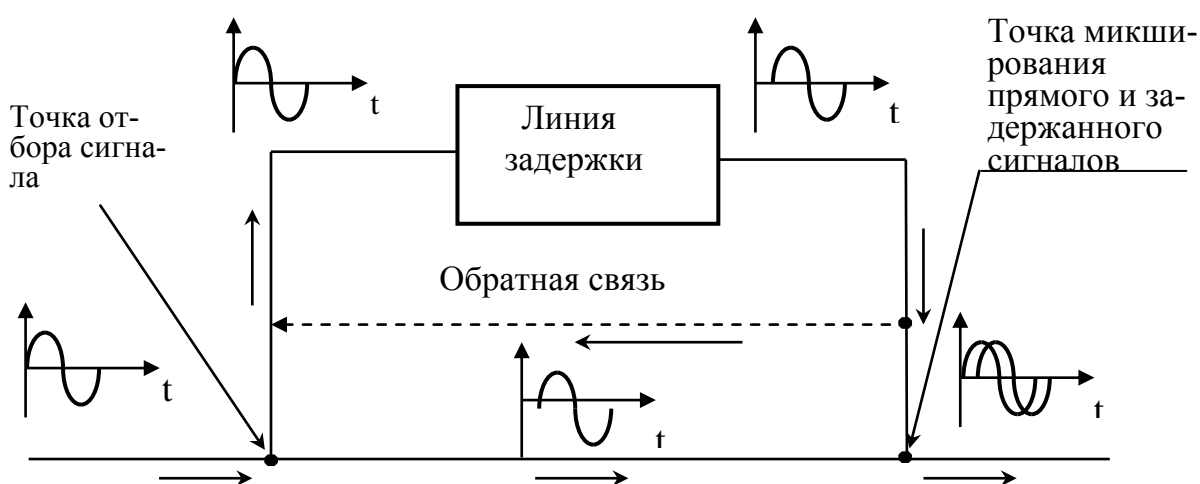


Рис. 17.22. Схема работы эффекта задержки

На рис. 17.22 изображена схема работы простейшего дилэя. Сигнал, идущий по звуковому тракту, разделяется на две части. Первая часть проходит на выход без каких-либо изменений, а вторая поступает на дополнительный кон-



тур и задерживается там (как правило, в современных приборах время задержки регулируется в пределах от 50 мс до 5 с). После этого задержанный сигнал микшируется с основным, чаще всего с немного уменьшенным уровнем. Получается эффект однократного эхо.

Для получения многократного эхо включается обратная связь, в результате чего сигнал начинает как бы двигаться по кольцу, накладываясь на основной сигнал много раз. Это приводит к появлению эффекта, который моментально «раздвигает» звуковое пространство и создает ощущение, что музыкальный инструмент находится в большом горном каньоне.

#### 17.4.2. Эффект хорус (Chorus)

**Хорус** проявляется как эффект исполнения одного и того же звука или всей партии не одним инструментом или певцом, а несколькими. Искусственно выполненный эффект является моделью звучания настоящего хора.

При исполнении одинаковой ноты голоса певцов и звуки инструментов должны звучать одинаково, и к этому стремятся и музыканты, и дирижер. Но из-за индивидуальных различий источников звук все равно получается разным. В пространстве, тракте звукоусиления и в слуховом аппарате человека эти слегка неодинаковые колебания взаимодействуют, образуются так называемые биения. Спектр звука при этом обогащается новыми частотами.

Можно считать, что предельным случаем хоруса является одновременное звучание слегка отличающихся по частоте двух источников – унисон.

Унисон был известен задолго до появления синтезаторов. В основе сочного и живого звучания двенадцатиструнной гитары, аккордеона, баяна, гармони лежит унисон. В аккордеоне, например, звук каждой ноты генерируется узлом, содержащим два источника колебаний (язычка), специально настроенных с небольшой (в единицы герц) разницей в частотах. В двенадцатиструнной гитаре звук извлекается одновременно из пары струн. Разница в частотах образуется естественным путем из-за невозможности идеально одинаково настроить струны инструмента.

Вот именно наличие этой ничтожной разницы в частотах голосов певцов или инструментов и служит причиной красивого звучания унисона (для двух голосов) или хоруса (для двух и более голосов).

В цифровых электромузыкальных инструментах частоты пары вторичных генераторов могут быть сформированы абсолютно равными друг другу. В таком звучании отсутствует жизнь, потому что оно слишком правильное. Для оживления электронного звучания и для создания впечатления игры нескольких инструментов и используют хорус.

Существует множество разновидностей алгоритмов хоруса. Но все они имеют общие элементы:

- исходный сигнал разделяется на два или несколько каналов;

- в каждом из каналов спектр сигнала сдвигают по частоте на определенную для каждого канала величину (частотные сдвиги при этом составляют лишь доли герца);
- сигналы, полученные таким способом, суммируются.

В итоге получается сигнал, в котором звуковые волны как бы «плывут» с разными скоростями. Один раз за время, пропорциональное произведению периодов колебаний разностных частот, сигналы складываются в фазе, и образуется «девятый вал» – максимум огибающей звуковых колебаний; один раз за это же время каналные сигналы складываются в противофазе, и получается «впадина между волнами» – минимум огибающей. В итоге образуется сигнал, спектр которого непрерывно изменяется, причем период полного цикла этого изменения столь велик, что повторяемость спектральных свойств сигнала не ощущается.

Хорус настолько украшает звучание инструментов, что ныне стал одним из эффектов, имеющихся практически в каждом синтезаторе и многих звуковых картах. Обработка аудиосигнала программными методами позволяет получить еще больше разновидностей этого эффекта. Вместе с тем, не следует чрезмерно увлекаться хорусом, так как это может привести к ухудшению разборчивости звучания голоса, к «засорению» акустической атмосферы композиции.

### 17.4.3. Эффекты флэнжер (Flanger), фэйзер (Phaser) и вау-вау (Wah-Wah)

В основу звуковых эффектов **флэнжер (Flanger)** и **фэйзер (Phaser)** также положена задержка сигнала. Рассмотрим вначале, в чем заключается отличие этих эффектов от дилэя.

Как мы уже отмечали, дилэй имитирует эффект неодновременного восприятия мозгом человека звуковых сигналов. Эффект повторного звучания может быть вызван и распространением звука от источника к приемнику различными путями (например, звук может приходиться, во-первых, напрямую и, во-вторых, отразившись от препятствия, находящегося чуть в стороне от прямого пути). И в том, и в другом случаях время задержки остается постоянным. В реальной жизни этому соответствует ситуация, когда источник звука, приемник звука и отражающие предметы неподвижны относительно друг друга. При этом частота звука не изменяется, каким бы путем и в какое бы ухо он не приходил.

Если же какой-либо из трех элементов подвижен, то частота принимаемого звука не может оставаться той же, что и частота звука переданного. Это есть не что иное, как проявление того самого эффекта Доплера, который в школьных учебниках традиционно поясняется на примере изменения высоты звучания гудка движущегося паровоза.

Итак, реальные музыкальные звуки при распространении претерпевают не только расщепление на несколько волн и различную (для каждой из них) задержку, но и неодинаковое для различных спектральных составляющих изменение частот.

И флэнжер, и фэйзер имитируют (каждый по-своему) проявления взаимного перемещения упомянутых трех элементов: источника, приемника и отражателя звука. По сути дела, и тот, и другой эффекты представляют собой сочетание задержки звукового сигнала с частотной или фазовой модуляцией. Разница между ними чисто количественная, флэнжер отличается от фэйзера тем, что для него время задержки копии (или копий) и изменение частот сигнала значительно большее, чем для фэйзера. Образно говоря, флэнжер наблюдался бы в том случае, когда певец мчался бы к зрителю, сидящему в зале, со скоростью автомобиля. А вот для того, чтобы ощутить фэйзер в его, так сказать, перевозном виде, движущегося источника звука не требуется, зрителю достаточно часто-часто вертеть головой из стороны в сторону.

Если же говорить серьезно, то упомянутые количественные отличия эффектов приводят и к отличиям качественным: во-первых, звуки, обработанные ими, приобретают различные акустические и музыкальные свойства, во-вторых, эффекты реализуются различными техническими средствами.

Значения времени задержек, характерных для флэнжера, существенно превышают период звукового колебания, поэтому для реализации эффекта используют многоразрядные и многоотводные цифровые линии задержки. С каждого из отводов снимается свой сигнал, который в свою очередь подвергается частотной модуляции. Флэнжерный эффект возникает при модуляции времени задержки генератором низкой частоты. Время задержки меняется в пределах 1...15 мс, в результате получается динамическое изменение фазового соотношения прямого и задержанного сигналов.

Для **фэйзера**, наоборот, характерно очень маленькое время задержки. Оно столь мало, что оказывается сравнимо с периодом звукового колебания. При столь малых относительных сдвигах принято говорить уже не о задержке копий сигнала во времени, а о разности их фаз. Если эта разность фаз не остается постоянной, а изменяется по периодическому закону, то мы имеем дело с эффектом фэйзера. Работает он так: у задержанного сигнала выделяется какая-то опорная частота, у которой изменяется фаза под управлением генератора низкой частоты. В результате возникает очень специфический эффект, особенно ярко проявляющийся в стереозвуке.

**Эффект вау-вау** знают, пожалуй, все любители Джими Хендрикса или Нуно Беттенкурта. Эти гитаристы мастерски управляют с «квакушкой», извлекая из нее звуки от простого «чавкания» до потусторонних завываний. Вау-вау возникает, когда меняется частота среза фильтра высоких частот (High-pass).

Все эти эффекты при разумном применении могут очень украсить звук. Однако если ими пользоваться очень часто и обрабатывать все подряд, то ничего, кроме испорченного звучания композиции, вы не получите. Вообще, все эффекты – штука очень деликатная. Например, обработка фэйзером синтезатора заднего плана в том месте, где все остальные инструменты, кроме ударных и баса, замолкают, и остается пространство для эффекта, может очень украсить звучание. Но сделайте то же самое с двумя инструментами, и звук ухудшится.

Дело все в том, что любой эффект призван привлекать внимание слушателя, и с его помощью можно подчеркнуть звучание инструментов, добавить им еще одно «измерение».

#### 17.4.4. Вокалстрессор

К устройствам звуковых эффектов относится вокалстрессор – сочетание эквалайзера с комбинированным АРУ, содержащим сжиматель, расширитель, ограничитель максимальных уровней. С помощью вокалстрессора подчеркивают голос певца или звучание солирующего инструмента. Этим назначением устройства объясняется его название, означающее в буквальном переводе «подчеркиватель, выделитель пения» (stress в переводе с английского – подчеркивать, выделять, ударять).

Обоснованием к применению данного устройства служат следующие обстоятельства. Было установлено, что в спектре певцов с хорошо поставленными голосами имеются, по крайней мере, две частотные области, две группы обертонов с повышенным уровнем. Эти области называют **певческими формантами**. Их положение на оси частот и уровни определяют характер певческих голосов и их особое свойство, называемое музыкантами **носкостью**, полётностью. В зависимости от частот формант различают мужские виды голосов (бас, баритон, тенор) и женские (контральто, меццо-сопрано, сопрано). Для мужских голосов характерны нижняя форманта в области частот примерно 300...600 Гц, и высокая в области частот примерно 2,5...3 кГц. Низкая форманта придает мужскому голосу своеобразную массивность, ощущение мощи, высокая – носкость, способность переноситься вдаль, перекрывать звучание оркестра. Это свойство особенно важно в опере, где оркестр, помещающийся перед сценой, в оркестровой яме, находится к слушателям ближе, чем певцы-солисты и голоса солистов должны «переноситься» через оркестр. Ноский голос – не обязательно громкий. Бывает, что сильный, «громоподобный» вблизи голос совсем не слышен в большом зале. Наоборот, казалось бы, тихий голос певца бывает очень хорошо слышен вдали.

Объяснение причин носкости дал выдающийся русский ученый С.Н. Ржевкин. Его объяснение развили отечественные ученые Е.А. Рудаков и Д.Д. Юрченко. Они показали, что это свойство присуще лишь тем голосам, в которых широко развита высокая форманта. Певцу, обладающему ею, легко выработать отличную дикцию, его хорошо слышно в большом зале. Физиологическая причина носкости та, что частоты развитой высокой форманты приходятся на область наибольшей чувствительности слуха.

В женских и детских голосах все форманты расположены несколько выше, чем в мужских. Этим объясняется, что хороших женских голосов заметно больше, чем мужских. Заметим, что в женских голосах высокая певческая форманта менее важна, чем в мужских, так как спектры сопрано или меццо-сопрано и без того богаты составляющими верхних частот и потому обладают хорошей носкостью.

Носкостью, полётностью обладают не только хорошие певческие голоса, но и музыкальные инструменты. Таковы, например, скрипки великих итальянских мастеров Амати, Гварнери, Страдивари.

Носкость в настоящее время оценивают численно, используя явление маскировки звука. В измерительную установку входят генератор белого шума, магнитофон с фонограммой исследуемого звука, смеситель, головные телефоны и измеритель уровня. Шум и сигнал подают через смеситель на головные телефоны и измеритель уровня. Белый шум представляет собой как бы звуковую завесу, которую должно преодолеть звучание голоса или инструмента. Уровень шума поддерживается постоянным, например 80 дБ, а уровень голоса уменьшают, пока голос не станет еле слышен на фоне шума. Этот уровень – порог слышимости голоса в шуме. Его называют коэффициентом носкости (полетности). У хороших певцов этот коэффициент равен 25...30 дБ, у певцов-любителей 15...20 дБ. Коэффициент носкости известного тенора С.Я. Лемешева составлял 28 дБ. Если из хорошего, «звонкого» голоса фильтром вырезать высокую певческую форманту, коэффициент носкости резко упадет с 25...30 до 12...15 дБ.

Таким образом, вокалстрессор содержит:

- расширитель – при малых входных уровнях – функции шумоподавления;
- сжиматель – на средних уровнях;
- ограничитель – при  $U_{вх} > U_{вх.ном}$ ;
- эквалайзер – для подбора формы АЧХ.

Выбор структуры зависит от вида звучания и вкусов звукорежиссера.

Параметры сжимателя и расширителя можно изменять в широких пределах.

#### 17.4.5. Генераторы вибрато

В самом общем смысле суть эффекта вибрато заключается в периодическом изменении одного из параметров звукового колебания: амплитуды, частоты или фазы. Изменение (колебание) параметра происходит с очень малой частотой – единицы герц. Различают амплитудное, частотное и фазовое вибрато. В любом случае результатом является обогащение спектра исходного колебания. Читатели, знакомые с основами радиотехники, понимают, что, по сути дела, происходит модуляция звукового колебания, спектр сигнала при этом действительно расширяется.

**Амплитудное вибрато.** Амплитудную модуляцию называют еще **амплитудным вибрато**, или **тремоло**. На слух она воспринимается как замирание или дрожание звука. Изменение параметров модуляции позволяет получить эффекты от медленного тремоло до необычных звуковых искажений.

**Частотное вибрато.** Суть частотного вибрато заключается в периодическом изменении частоты звукового колебания. В электронной музыке частотное вибрато получило широкое распространение лишь после создания электронных музыкальных инструментов.

Реализация частотного вибрато в электромузыкальных инструментах и синтезаторах проста и естественна. Работу всех узлов электронных музыкальных синтезаторов, как аппаратных, так и реализованных программным путем, синхронизирует опорный генератор. Если изменять его частоту, то будут изменяться частоты и всех синтезируемых колебаний. В радиотехнике этот процесс называется частотной модуляцией. При частотном вибрато также расширяется спектр исходного сигнала, причем тембр периодически изменяется во времени.

Красивое звучание получается только в том случае, когда глубина частотного вибрато (относительное изменение частоты звука) невелика. Как известно, в соответствии с хроматической гаммой введена единица музыкальных интервалов, в 1200 раз меньшая, чем октава – цент. Интервал между соседними полутонами в темперированной гамме равен 100 центам. Колебание высоты тона при частотном вибрато не должно превышать нескольких десятков центов. В противном случае, создается впечатление нарушения строя инструмента.

Частотное вибрато используется самостоятельно, а также входит в качестве составной части в более сложные звуковые эффекты. Не следует, однако, преувеличивать выразительности этого искусственного эффекта. Генераторы вибрато не отвечают требованиям подлинно выразительного исполнения музыки. Исключение составляют лишь эффекты эстрадного плана, когда введение частотного вибрато требуется, чтобы подчеркнуть экстравагантный характер звучания голоса или музыкального инструмента, чаще всего электронного.

#### 17.4.6. Эксайтер (Exciter)

С момента своего появления эксайтер был и остается самым популярным в мире психоакустическим процессором. Можно сказать, что именно с него и началась их эра. Сейчас нет ни одной уважающей себя фирмы, которая не выпускала бы как минимум одной модели эксайтера.

Выпускаемые, кроме своего «родоначальника», американской фирмы АРНEX, еще многими фирмами, эти приборы имеют во многом схожие структуры. Ниже приведена функциональная схема эксайтера, выпускаемого фирмой LONG (Москва). От наиболее известного в нашей стране эксайтера (видимо, им является Aural Exciter тип С производства АРНEX) эта модель отличается существенно более широким набором пользовательских функций.

Поступающий на вход эксайтера сигнал разветвляется на два: один из них поступает непосредственно на выходной сумматор, а второй направляется в цепи обработки, после которых он добавляется к прямому, необработанному сигналу.

В цепи обработки сигнал вначале поступает на входной регулируемый усилитель (1), с помощью которого можно подобрать необходимую вам величину загрузки (уровень возбуждения) генератора гармоник (3), находящегося после специального фильтра ВЧ (2). Этот фильтр имеет особые АЧХ и ФЧХ, позволяющие при дальнейшем суммировании обработанного и прямого сигнала

лов получить «растяжку» коротких импульсов, и как следствие – несколько увеличить их субъективно воспринимаемую громкость.

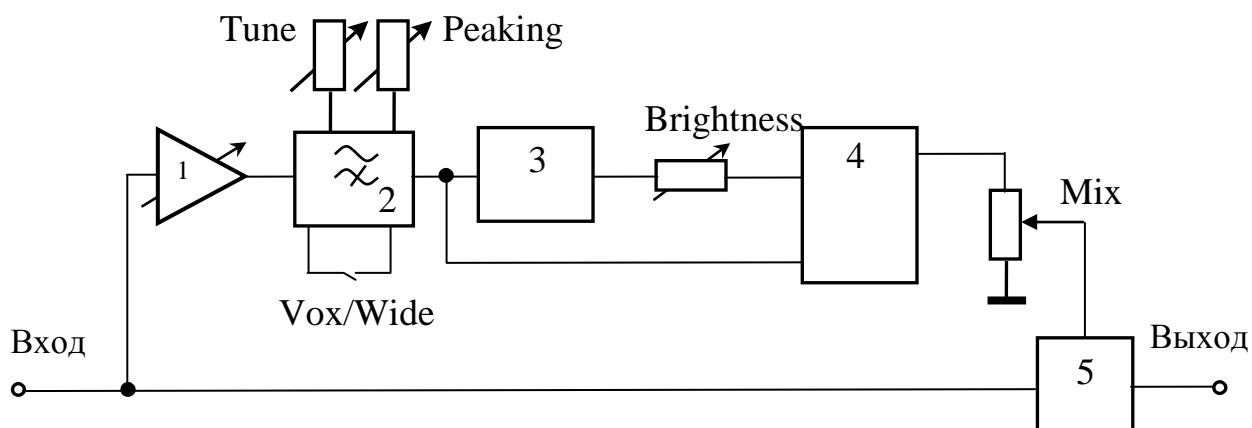


Рис. 17. 23. Функциональная схема эксайтера

1 – входной регулируемый усилитель; 2 – специальный фильтр ВЧ; 3 – генератор гармоник; 4 – сумматор сигнала эффекта; 5 – выходной сумматор

В фильтре имеется регулятор частоты настройки Tune, позволяющий выбрать для обработки желаемую часть спектра входного звукового сигнала, и регулятор добротности Peaking, позволяющий создать дополнительный акцент в звучании. Кроме этих регуляторов, в фильтре имеется переключатель Vox/Wide, кардинальным образом изменяющий характер работы и, соответственно, звучание эксайтера, особенно в области средних частот.

Прошедший фильтрацию сигнал опять, в свою очередь, разветвляется на два. Один поступает непосредственно на сумматор сигнала эффекта (4), а второй – на генератор гармоник (3). Вот как раз в этом генераторе на основе информации, извлекаемой из входного сигнала, и осуществляется самое главное – генерация высших гармоник. При этом синтезируется, главным образом, вторая гармоника – как самая благозвучная, а также еще некоторые, но существенно меньшей амплитуды.

Синтезированные здесь гармоники подаются на сумматор сигнала эффекта (4) через регулятор Brightness, позволяющий установить желаемую их величину в общем сигнале эффекта. Затем этот сигнал, уже полностью сформированный, с помощью регулятора Mix подмешивается к исходному (входному) сигналу в выходном сумматоре (5). Упомянутой ручкой Mix вы устанавливаете желаемую величину получаемого эффекта действия эксайтера.

Эксайтер относится к той любимой профессиональными звукорежиссерами группе устройств, работа которых незаметна – до тех пор, пока их не выключишь. Так как действие его основано на довольно сложном процессе, учитывающем комплексный характер восприятия звуков человеческим ухом, то в силу сложности этого процесса его принципиально невозможно охарактеризовать с помощью цифр. Вот поэтому все попытки как-то оценить количественно производимый эксайтером эффект носят описательный характер.

Кстати, это вообще одна из отличительных черт всех психоакустических процессоров – невозможность количественно описать их работу. Поэтому не

удивляйтесь, если в рекламных материалах вы найдете массу абсолютно не нужных вам цифр (типа веса, размеров, потребляемой мощности и т.д.) и не найдете практически ни одной цифры, характеризующей то единственное, что вас на самом деле интересует – звук. В случае с эксайтером – единственная цифра, имеющая отношение к делу, это диапазон перестройки (частота настройки) фильтра. В большинстве моделей это диапазон от 700 Гц до 7 кГц, в описанном выше приборе – пределы регулирования несколько шире, от 450 Гц до 8 кГц.

Применение эксайтера придает прозрачность и четкость любому звучанию, при его включении звук как бы «раскрывается». Значительно улучшаются проработка и восприятие мельчайших деталей и нюансов звукового сигнала, звук становится живым и естественным. Вокал после обработки его эксайтером приобретает повышенную четкость и полётность, ударные инструменты начинают звучать лучше, чем «живые». Практически не существует ни одного музыкального инструмента или звуковоспроизводящей системы, звучание которых нельзя было бы улучшить эксайтером.

#### 17.4.7. Энхансер (Enhancer)

Энхансер – один из самых первых психоакустических процессоров. Выпускался (и выпускается поныне) он многими фирмами. В нашей стране этот класс устройств, видимо, стал известен по аппаратуре фирмы Alesis. Он позволяет в ряде случаев сделать звучание несколько более четким и звонким. Особенно хорош энхансер для обработки отдельных звуков преимущественно с малым временем звуковой атаки.

Однако до сих пор многие весьма смутно представляют себе его работу. По сути, энхансер – это гейт (или экспандер, как вам больше нравится), но работающий только в высокочастотной области спектра звуковых сигналов. Обобщенная функциональная схема энхансера приведена на рис. 17.24.

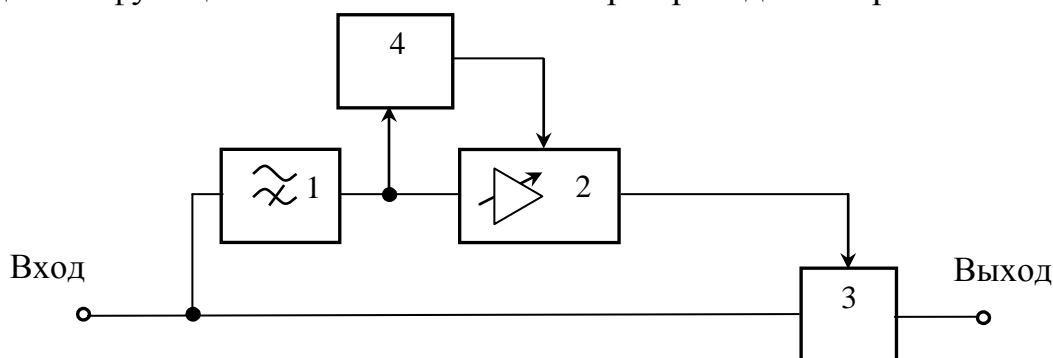


Рис. 17.24. Функциональная схема энхансера  
 1 –фильтр высоких частот (ФВЧ); 2 – управляющий элемент (VCA);  
 3 – сумматор; 4 – блок управления

Входной сигнал энхансера поступает на фильтр (1), выделяющий из всего звукового спектра только его высокочастотные составляющие. Затем этот отфильтрованный сигнал поступает на регулируемый усилитель (2), осуществ-



ляющий управление его амплитудой, после чего в сумматоре (3) добавляется (подмешивается) к исходному сигналу. Управляющее напряжение для усилителя вырабатывается блоком управления (4) на основе анализа ВЧ-составляющих входного сигнала.

Различные модели энхансеров отличаются между собой главным образом характеристиками фильтров верхних частот и алгоритмом работы и управления. Следует заметить, что, несмотря на возможные различия, все без исключения энхансеры могут только увеличивать долю ВЧ-составляющих в суммарном выходном сигнале.

Отличия в алгоритмах работы энхансеров разных фирм и моделей заключаются, в основном, в том, как именно блок управления реагирует на входной сигнал. Некоторые модели реагируют по простому принципу «есть ВЧ – нет ВЧ», то есть если на входе есть ВЧ-составляющие, то их уровень энхансером дополнительно еще увеличивается, если же их нет – то энхансер не оказывает никакого воздействия на входной сигнал.

В более сложных моделях блок управления реагирует не на саму величину ВЧ-составляющих входного сигнала, а только на ее увеличение. При этом в момент резкого нарастания ВЧ-составляющих на входе энхансера, их уровень на выходе на короткое время также увеличивается. Это позволяет сделать работу энхансера менее заметной на слух, ведь при этом обостряются, становятся более четкими только моменты атаки ударных инструментов, а на общий сигнал его работа практически не оказывает влияния. Благодаря этому лучше прорабатываются мелкие детали звуковой картины.

#### 17.4.8. Максимайзер (Sonic Maximizer)

Это устройство, разработанное фирмой ВВЕ, имело во многих отечественных студиях прямо-таки фантастическую популярность. Затем постепенно интерес к ним стал уменьшаться, и сейчас его можно встретить крайне редко. Во многом причины такой «скоропостижной смерти» кроются в непонимании и незнании возможностей этого прибора, обусловленном крайне неудачным фирменным описанием, носящим скорее рекламный характер, и мало что говорящим о его принципах действия.

В своей основе **Sonic Maximizer** несколько похож на классический энхансер, но только несколько. Главное его отличие заключается в том, что максимайзер может работать как «в плюс», так и «в минус».

По структурной схеме Sonic Maximizer – это два обычных, типа Shelf, регулятора тембра по НЧ и по ВЧ. Но при этом регулятор НЧ, носящий здесь почему-то весьма гордо-загадочное имя Low Contour – самый обычный. А вот к регулятору ВЧ пользователь не имеет непосредственного доступа, им управляет схема. Вы можете лишь устанавливать уровень ее вмешательства с помощью регулятора Definition (четкость).

Упрощенная функциональная схема максимайзера показана на рис. 17.25.

Сигнал с входа устройства поступает на регуляторы тембра, и одновременно – на два фильтра, фильтр верхних частот (ФВЧ) 3 и полосовой (ПФ) 4. При этом ФВЧ, соответственно своему названию, выделяет только высокочастотные составляющие, а полосовой фильтр ПФ – среднечастотные, лежащие ниже полосы пропускания ФВЧ. Сигналы этих двух полос звуковых частот поступают в блок управления 5, который сравнивает их величины и на основе этого сравнения решает, что делать с высокими частотами – поднимать или ослаблять.

Таким образом, если прибор «решит», что во входном сигнале уровень ВЧ слишком поднят относительно середины, то он даст команду регулятору тембра ВЧ ослабить верхние частоты, если же наоборот – середина излишне поднята, а уровень верхних частот слишком мал, то поступит команда на подъем ВЧ. Регулировка эта осуществляется плавно, пропорционально разнице уровней СЧ и ВЧ.

Каким же именно образом осуществляется эта регулировка – решает опять же максимайзер, а не вы. Вы можете только установить предел глубины этой регулировки регулятором Definition. Между собой различные модели максимайзеров отличаются, главным образом, частотами раздела фильтров СЧ/ВЧ и динамическими характеристиками цепей управления. Очевидно, что наилучшее применение максимайзера – это корректирование баланса различных, уже готовых фонограмм, для приведения их к единообразному характеру звучания, или же обработка любых иных широкополосных сигналов.

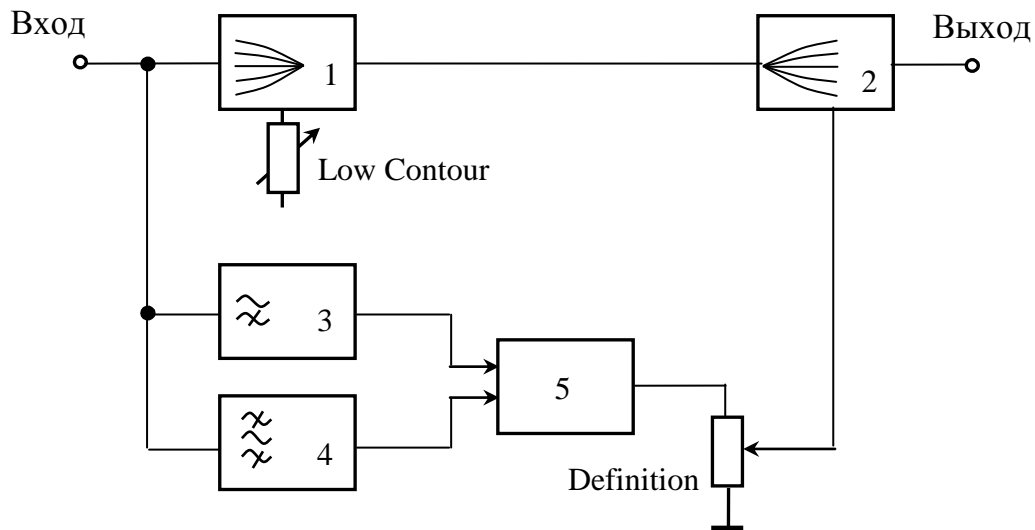


Рис. 17.25. Функциональная схема максимайзера  
 1 – регулятор тембра НЧ; 2 – регулятор тембра ВЧ; 3 – Фильтр ВЧ;  
 4 – полосовой фильтр ПФ; 5 – блок управления

#### 17.4.9. Виталайзер (Vitalizer)

Виталайзеры выпускаются немецкой фирмой SPL в нескольких моделях и под разными названиями, от просто Vitalizer, до такого «страшного» названия, как Psycho Dynamic Processor – «Психодинамический процессор».

Однако реальные различия между ними заключаются только в несколько отличающихся номиналах частотоподающих цепей. Поэтому ограничимся здесь рассмотрением лишь одной модели.

Структурная схема виталайзера здесь не приводится, так как все структурные схемы, имеющиеся в фирменных описаниях, предназначены скорее для того, чтобы скрыть истинное устройство данного прибора, чем для того, чтобы более-менее понятно объяснить его. Поэтому попробуем описать его устройство просто словами.

Модель Stereo Vitalizer включает в себя своеобразный «психоакустический эквалайзер» и так называемый Surround-Processor. Последний представляет собой достаточно тривиальный расширитель стереобазы, хорошо всем знакомый, и, видимо, его рассмотрение здесь не имеет большого смысла. А вот на эквалайзере целесообразно остановиться поподробнее.

Он состоит из двух частей, действующих практически независимо одна от другой. Общее у них только то, что, помимо отдельных регуляторов на различные полосы спектра, есть и общий регулятор Process, устанавливающий глубину влияния сразу всех темброобразующих цепей на обрабатываемый сигнал. Это достигается благодаря тому, что в виталайзере применен параллельный принцип построения тракта обработки. Регулятор НЧ Bass работает только на подъем АЧХ, независимо от того, куда повернут от нулевого положения, вправо или влево. В зависимости от направления вращения этого регулятора, сигнал НЧ-составляющих подмешивается к исходному сигналу то синфазно, то противофазно.

Кроме различия в АЧХ, проявляются и различия в ФЧХ. При противофазном сложении фаза результирующего сигнала на низких частотах отстает от соответствующей фазы во входном сигнале, что в ряде случаев может использоваться для корректировки временного положения в общей звуковой картине звучания отдельных инструментов, имеющих преимущественно низкочастотный спектр.

Регулировка тембра на средних и высоких частотах в виталайзере осуществляется двумя регуляторами – Mid-High Tune и Harmonics. Первый из этих регуляторов – это регулятор тембра по ВЧ, однако весьма необычный. Дело в том, что, в силу особой конструкции виталайзера, при установке общего регулятора Process в максимальное положение результирующая АЧХ приобретает плавный, пологий спад в направлении от низких частот к высоким. Иначе говоря, чем выше частота входного сигнала, тем более он ослабляется на выходе. Правда, максимальная величина этого ослабления невелика и составляет около 6 дБ. Упомянутый же регулятор Mid-High Tune позволяет поднимать самые высокие частоты, начиная от частоты (примерно) около 20 кГц и ниже. Единственный момент, который делает работу со всеми виталайзерами несколько непривычной – это то, что регулятор Mid-High Tune установлен «с точностью до наоборот», то есть его крайнее левое положение соответствует подъему самых верхних частот, а крайнее правое – самых низких. Этот регулятор, по сути, представляет собой электронный аналог резонансного контура, настроенного

на частоту 24 кГц. Изменение полосы частот, в которой осуществляется коррекция АЧХ, производится путем изменения добротности этого контура, а не частоты его настройки. При его высокой добротности осуществляется подъем только наивысших частот звукового спектра, который лишь чуть затрагивается достаточно узкой резонансной кривой этого контура.

При снижении добротности (повороте ручки Mid-High Tune в сторону более низких частот) полоса захватываемых этим контуром частот расширяется вниз, и осуществляется подъем не только наивысших составляющих спектра, но и более низких.

Таким образом, при использовании этого регулятора удастся поднять самые верхние частоты, и одновременно – ослабить уровень «верхней середины», которая столь часто нам досаждала во многих отечественных записях. Кстати, сильно удивленные этим нередким и весьма своеобразным дефектом наших звукозаписей, западные звукорежиссеры даже придумали особый термин для его обозначения – «русские 6 кГц». Пожалуй, это единственный термин, которым отечественная звукозапись обогатила международный профессиональный лексикон.

Еще один регулятор, входящий в состав виталайзера – это ручка Harmonics – регулятор уровня выходного сигнала встроенного в виталайзер эксайтера, подмешиваемого в общий сигнал эффекта. Вообще-то этот эксайтер – один из самых простейших, и кроме регулятора уровня имеет только регулятор частоты настройки, совмещенный физически с ручкой регулятора Mid-High Tune.

Все остальные модели виталайзеров имеют еще дополнительно и кнопку Solo, позволяющую снимать с него только сигнал эффекта и осуществлять смешивание его с прямым сигналом во внешних устройствах, например, в микшерном пульте.

#### **17.4.10. Устройства изменения высоты тона**

Надобность в изменении тональности звучания возникает по следующей причине. По принятой технологии записи эстрадных исполнителей вначале подготавливают фонограмму оркестрового сопровождения. Голос солиста записывают под готовую фонограмму. При такой технологии исключаются повторные затраты на новую запись оркестра, если солист допустил художественные или технические погрешности. Но ко времени записи солиста может случиться, что его звуковысотный диапазон несколько изменился, и аккомпанемент нужно транспонировать в иную тональность. Казалось бы, транспонировать сигнал можно методом гетеродинамирования, смещая частоту  $f_1$  исходного сигнала в ту или иную сторону с помощью вспомогательной частоты  $f_2$ .

Однако применение этого метода нарушает исходный гармонический строй. Пусть исходный сигнал содержит частоты  $f$  и  $2f$  (октавное соотношение). При смещении на  $\Delta f$  получаются частоты  $f+\Delta f=f_1$  и  $2f+\Delta f=f_2$ , то есть будет нарушен октавный интервал ( $f_2 \neq 2f_1$ ). То же случится со всеми другими музыкальными интервалами.

Транспонирование звучания в иную тональность можно осуществить, изменив скорость воспроизведения фонограммы до значения  $V_2$  по сравнению с исходной скоростью записи  $V_1$ . Если увеличить скорость, то спектр сместится в область более высоких частот, если уменьшить – в область более низких частот. Соответственно изменится высота тона. Такая возможность имеется в современных монтажных магнитофонах. Однако при этом изменится длительность звучания: при изменении высоты звука на полтона – на 6%, на тон – на 12%, на два тона – на 26%.

Рассмотренный прием, только при значительном (до 2 раз) изменении скорости, используют для создания голосов сказочных персонажей. В давней радиопостановке «Золотой ключик», известной нескольким поколениям людей, звучание голоса деревянного человечка Буратино, нежные голоса кукол, наводящий ужас низкий голос владельца кукольного театра Карабаса-Барабаса были созданы трансформацией голоса всего одного исполнителя. Такой же прием используют в эстрадных записях для имитации эффектной, виртуозной игры пианиста. Пьеса исполняется на октаву ниже нотной записи на пониженной вдвое против номинальной скорости записи, а затем воспроизводится на номинальной скорости.

Для изменения тональности без изменения длительности звучания используют магнитофон с вращающимся блоком головок или особое цифровое устройство – гармонайзер. Принцип работы гармонайзера поясняет рис. 17.26, на котором изображён магнитофон с вращающимся блоком головок.

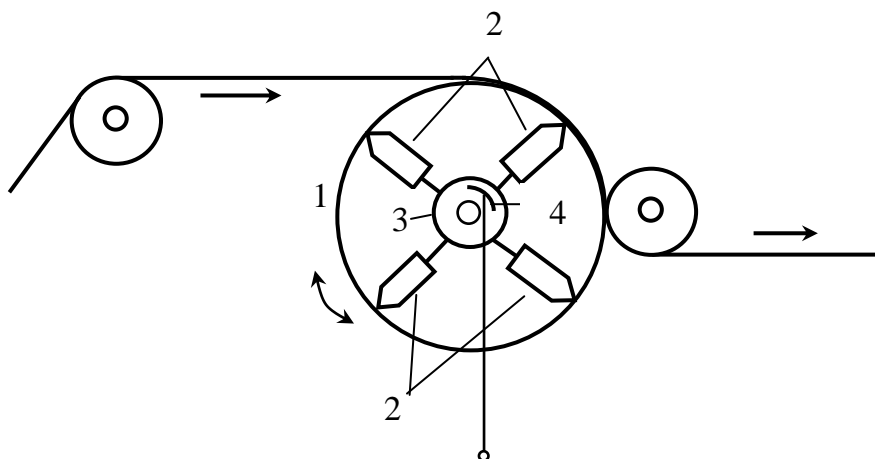


Рис. 17.26. Схема магнитофона с вращающимся блоком головок: 1 – барабан; 2 – воспроизводящие магнитные головки; 3 – контактное кольцо; 4 – щётка

Чтобы понять принцип действия устройства, представим, что на ленте записаны импульсы, следующие с какой-то частотой. Если барабан неподвижен, то одна из головок будет считывать импульсы с той частотой, с какой они были записаны. Пусть барабан вращается по часовой стрелке, то головка как бы «догоняет» импульсы, записанные на фонограмме, и за прежний промежуток времени головки считают меньшее количество импульсов, то есть их частота

уменьшится. Если барабан с головками вращается против часовой стрелки (против направления движения фонограммы), то за тот же промежуток времени будет считано больше импульсов, чем при неподвижном барабане, то есть частота следования воспроизводимых импульсов увеличится по сравнению с исходной. Изменения частоты при постоянной скорости вращения барабана будут пропорциональны частоте записанных сигналов, и нарушения гармонического строя не произойдет.

Описанный эффект получают сегодня с помощью цифровых устройств. Сигнал превращают в цифровую форму и записывают в ячейки памяти. При считывании выборки некоторые записанные значения повторяются, либо, наоборот, пропускаются. Результатом является повышение или понижение высоты тона воспроизводимых сигналов.

Кроме изменения тональности звучания гармонайзер выполняет и другие функции:

- имитацию процесса реверберации;
- осуществление задержки сигнала;
- создание других спецэффектов (иллюзия звучания ударных инструментов в различных ритмах) и т.д.;
- высотное вибрато (своеобразную амплитудную модуляцию интенсивности звука);
- тремоло (быструю смену звучания двух соседних по высоте тонов);
- арпеджио («разорванные аккорды», подобные аккордам арфы);
- одиночное и многократное эхо.

Используя гармонайзер, можно получить своеобразный эффект «расщепление» голоса. Смещенный по высоте, например, на терцию (на два тона) голос соединяют с несмещенным голосом и создают иллюзию исполнения произведения двумя солистами, дуэтом.

#### **17.4.11. Устройства изменения длительности звучания**

Иногда возникает необходимость изменить длительность звучания. Это нужно для того, чтобы избежать излишних пауз между передачами или (что чаще) вместить передачу в промежуток времени, задуманной сеткой вещания.

Если требуемые изменения невелики (6–12%), их можно получить изменением скорости движения фонограммы в магнитофоне. Изменение высоты звука при этом не замечаются слушателями.

Большие возможности изменения длительности звучания предоставляют цифровые методы. В речевых передачах результат достигается автоматическим изменением длительности пауз. В случае музыкальных передач используют устройство, названное «растягивателем времени» (*Zeitdehner*). На основе анализа записанных в цифровую память сигналов определяются частоты колебаний и добавляются или, наоборот, удаляются некоторое количество отрывков звучания. В лучших образцах таких устройств длительность звучания изменяется от

половины до удвоенного значения первоначальной длительности. Правда, при этом наблюдаются погрешности звучания.

Рассмотренные в настоящем разделе устройства помещают в пульт звукоорежиссера, а при большом их числе – в стойку звуковых эффектов. Для облегчения управления такими сложными комплексами используют универсальные или специализированные ЭВМ. В их память закладывают типовые программы операций.

## **ГЛАВА 18. СИНТЕЗ ЗВУКА И ОСНОВЫ MIDI**

Данная глава носит ознакомительный характер, и ее задачей является всего лишь введение читателя в круг проблем и задач данной области мультимедиа, а также знакомство с терминологией. Как синтезу звука, так и работе с MIDI посвящены многочисленные издания.

### **18.1. Синтез звука**

#### **18.1.1. История синтеза звука**

В наши дни синтезаторы звука, в первую очередь, музыкальные, находят все большее применение. И дешевые китайские «говорящие» часы, и профессиональные электронные музыкальные инструменты оснащены звуковыми синтезаторами. Но если синтезатор, установленный в часах или недорогой музыкальной игрушке, способен сгенерировать лишь незамысловатую мелодию с посредственным качеством, то профессиональный электронный синтезатор зачастую способен заменить целый оркестр. Возможность создания специальных эффектов, мощь и универсальность профессиональных электронных музыкальных синтезаторов сделали их незаменимыми помощниками при работе на сцене, в студиях звукозаписи, на телевидении и в кино.

Вообще говоря, только один из музыкальных инструментов имеет право называться «естественным» – человеческий голос. Только в нем методом звукоизвлечения является физиологическая способность «в чистом виде», а источником звука – живое тело. Во всех иных материалах служит все, что попало человечеству «под руку» и поддавалось обработке, а для звукоизвлечения использовался подвластный на данный исторический момент метод преобразования механической энергии в звуковую.

Самое раннее упоминание о «контакте» электричества и музыки относится к 1761 году. Любопытно, что маркиз де Лаборд, получивший патент на «электрический» клавесин, механику которого приводили в действие работающие на гальванических батареях электромагниты, профессионально не был связан с музыкой. Как будет видно из дальнейшего, такое положение вещей – не редкость. Следующие по хронологии изобретения тоже являлись «побочным эффектом» научных экспериментов и не имели практического применения. В 1837 году К. Г. Пэйдж в ходе эксперимента с электрическими магнитами и ка-

тушками индуктивности открыл принцип электронного камертона. В 1885 году Эрнст Лоренц запатентовал метод создания звука с помощью электромагнита, поочередно притягивающего и освобождающего металлические полоски разной длины.

Первый электромеханический музыкальный инструмент, звучание которого стало достоянием широкой публики, был разработан и построен на рубеже XIX–XX веков американцем Таддеусом Кахиллом. К тому времени человечество, вооруженное мощной научной базой, серьезно взялось за удовлетворение собственных потребностей, и колесо технического прогресса начало стремительно раскручиваться. К тому времени уже были известны электрический генератор переменного тока (машинного типа) и телефон. Но кому, если не одному из прагматичных американцев, могла прийти в голову идея «скрестить» их и использовать как музыкальный инструмент?! Замысел был нетривиальным и на рубеже веков производил грандиозное впечатление. Изобретатель думал не о массовом производстве инструментов, а о способе одарить миллионы американцев возможностью слушать музыку. Предполагалось, что исполняемые на инструменте музыкальные произведения будут передаваться всем желающим по телефонным линиям.

В заголовке патента, выданного Таддеусу Кахиллу 6 апреля 1897 года, указано: «Способ и аппарат для создания и распространения музыки посредством электричества». Базой для воплощения идеи служили очевидные предпосылки: если выход генератора переменного тока подсоединить непосредственно к наушнику телефона, будет слышен звук, высота которого соответствует частоте генерируемого электрического тока.

Согласно блок-схеме в патентном описании, музыкальный инструмент Кахилла состоял из множества генераторов электрического тока и сложной системы переключателей, связанных через механические приспособления с видоизмененной органной клавиатурой. Сигнал этой «электростанции» через трансформаторы должен был передаваться по телефонным линиям и усиливаться с помощью больших бумажных ратрубов, прикрепленных к телефонному наушнику.

Первое свое детище изобретатель назвал *Dynamophone* (от лат. *dynamo* – сила и греч. *phone* – голос, звук). Это название технически точно описывает примененный метод формирования звука – использование динамо-машин – так на заре нашего века называли генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую. Следующий инструмент получил имя, более широко раскрывающее замысел Кахилла – *Telharmonium*, складывающееся из английского слова *telephone* (телефон) и латинского *harmonium* (гармония).

По бедности в своих первых экспериментах Кахилл использовал не дорогие динамо-машины, а вращающиеся прерыватели постоянного тока (реотомы), источником которого служили гальванические батареи. Полученные подобным методом электрические сигналы имели сложную форму, и, чтобы приблизить ее к синусоидальной, изобретатель использовал фильтры из последовательно соединенных катушек индуктивности.



Кахилл обладал редким сочетанием качеств: талантом изобретателя, юридической грамотностью, позволившей запатентовать его идеи, и предпринимательской энергией, привлекушей к проекту инвесторов. Опытный образец Telharmonium'a с 35 вращающимися цилиндрами был собран в 1900 году, и «электрическая музыка» полетела по телефонным проводам города Вашингтон и его окрестностям.

Публичные демонстрации инструмента привлекли новых спонсоров, на деньги которых Кахиллу удалось построить еще один инструмент (читай – электростанцию) в городе Холиоук, штат Массачусетс. Эта модель была технически более совершенной, в ней использовались динамо-машины, механизм регулирования скорости которых обеспечивал более точное интонирование. Были также улучшены акустические параметры телефонного излучателя, в результате чего удалось избежать резонансов на некоторых частотах.

С точки зрения исполнителя эта модель также была совершеннее. «Интерфейс» состоял из трех ручных клавиатур и одной ножной, педалей громкости для каждой из них, выключателей и регуляторов громкости для каждой отдельной гармоник. Управлять этим хозяйством должны два человека – исполнитель и ассистент.

Летом 1906 года состоялся коммерческий дебют Telharmonium'a – прослушивание в гостинице «Хамилтон», примерно в двух километрах от местоположения самого инструмента и исполнителя. Средства массовой информации особенно подчеркивали «полноту, округлость и чистоту» звучания. Некоторые репортеры справедливо считали, что Кахилл предвосхищает развитие музыкальной индустрии. Другие с восторгом приветствовали победу «демократии» в музыке, которую теперь могли слышать «... в городах, селах, и даже на фермах, везде, где есть телефон...».

Поощряемый откликами в прессе, Кахилл упаковал свой инструмент – «багаж» весом около 200 тонн занял несколько железнодорожных вагонов – и отбыл в Нью-Йорк, где в сентябре, в специально построенном Telharmonic-зале, дал первый публичный концерт перед членами Нью-Йоркского Электрического Общества. Было исполнено несколько классических произведений и вокальных номеров под аккомпанемент Telharmonium'a, демонстрировалась возможность имитации акустических музыкальных инструментов, например, барабанов и ансамбля флейт. Концерт вызвал бурю восторга. После того, как чиновникам разъяснили, что мощности «электростанции» хватит, чтобы разнообразной музыкой могли наслаждаться 15...20 тысяч подписчиков, Электрическое Общество взяло на себя опеку над проектом.

Хотя перспективы казались радужными, честолюбивым планам Кахилла не суждено было сбыться. Дело в том, что сила тока, производимого Telharmonium'ом, была настолько велика, что телефонная компания подала в суд на возмещение ущерба от повреждений телефонных линий. Ответственные лица, на которых была возложена задача привлечения инвесторов, внезапно исчезли... вместе с деньгами. Кроме того, в это время начали развиваться электроника и радио, и Telharmonium с каждым днем морально устаревал. Важные

технологические открытия, которые могли бы способствовать модернизации инструмента, чуть-чуть «не успевали» по времени.

Не в стиле американского «хэппи-энда» проект Кахилла потерял многих потенциальных подписчиков и закончился крахом. Возможно, как музыкальный инструмент, Telharmonium потерпел бы неудачу в любом случае. Один из исполнителей, нанятых Кахиллом, отмечал, что «несмотря на разнообразие тембров, инструмент имел доминирующие призвуки, которые со временем стали бы невыносимо действовать слушателям на нервы».

Несмотря на то, что Telharmonium не имел коммерческого успеха, Таддеуса Кахилла следует считать родоначальником «электрической» музыки. Он сумел продемонстрировать, что с помощью электричества можно создавать не только материальные продукты, но и замечательную, захватывающую внимание публики, музыку. Общие принципы конструирования, развитые этим изобретателем, успешно использовались другими.

Практически одновременно с Кахиллом интересные эксперименты были проведены в 1899 году английским физиком Уильямом Даддлом. Он использовал угольную дуговую лампу (других тогда не было) для создания... музыкальных звуков. «Поющая дуга», как любовно назвал свое детище Даддл, питалась от постоянного тока, пропущенного через шунтирующую схему, создающую переменный ток на выходе. В принципе, «Поющая дуга» работала как громкоговоритель. Высокий потенциал (300 вольт!) позволял создавать чисто звучащие ноты, высота которых зависела от соотношения емкости и индуктивности, а громкость – от реактивного сопротивления, используемых в схеме. Даддл сконструировал также клавиатуру, с помощью которой можно было управлять этими характеристиками.

«Поющая дуга» Даддла издавала забавные звуки, но была слишком тяжелой, чтобы использоваться для создания профессиональных музыкальных инструментов: ведь их надо таскать с концерта на концерт... Но технический прогресс не стоял на месте, что-то должно было случиться. И случилось. Американский инженер Ли де Форест в 1906 году (когда Кахилл закончил монтаж усовершенствованной модели Telharmonium'a) изобрел электронную лампу, которую он назвал «Одион» (Audion). Важность этого события трудно переоценить, так как лампа – основной компонент электронного усилителя.

Следующей важной заслугой Ли де Фореста было создание электронного генератора. Именно Ли де Форест в 1915 году получил первый патент на принцип положительной обратной связи. Теперь отпала необходимость использования динамо-машин для генерирования звуковых колебаний.

Тогда же де Форест построил инструмент, в котором использовалось по одному ламповому триоду на каждую октаву, а конструкция клавиатуры позволяла извлекать только одну ноту в каждой октаве. Выходной сигнал подавался на громкоговорители, которые можно было расположить по периметру комнаты, что придавало звучанию некоторую пространственность. Де Форест сам был очень увлечен своим детищем – «музыкой ламп», как он его называл. В одной из опубликованных работ он писал: «Я надеюсь, что с помощью этой ма-

ленькой электронной лампы смогу сделать инструмент, достаточно совершенный, чтобы музыканты могли реализовать свои самые богатые музыкальные фантазии». В декабре 1915 года изобретатель представил публике описание «Одион-пиано». Его схема предполагала применение отдельных ламповых генераторов для каждой ноты звукоряда. К сожалению, этот замечательный инструмент не был «доведен до ума», потому что автору просто не хватило стабильно работающих электронных ламп.

Роль Ли де Фореста в разработке электронных музыкальных инструментов чрезвычайно важна. Его ламповый триод лег в основу будущих разработок в области усиления звука и сделал возможным создание новых, более совершенных электронных генераторов.

Самым популярным электромusикальным инструментом первой половины XX века был орган, созданный инженером-часовщиком Лоуренсом Хаммондом, который развил многие технические идеи Таддеуса Кахилла и использовал открытие Ли де Фореста. Орган Лоуренса Хаммонда представлял собой модернизированный Telharmonium Кахилла, и, благодаря простоте конструкции, было налажено их массовое производство. За счет использования ламповых усилителей его размеры были меньше пианино. В ранних моделях Hammond'a были две ручные и одна педальная клавиатуры. «Тон-генератор» состоял из сотни железных дисков, расположенных на шкивах попарно и управляемых синхронным двигателем, и системы переключения на механических тягах, внешне очень похожих на клапаны регистров духового органа.

Электроорган был представлен широкой публике в апреле 1935 года на выставке Индустриального Искусства в Нью-Йорке и был с энтузиазмом встречен многими известными тогда пианистами и органистами. Находящийся в зените славы великий музыкант Джордж Гершвин немедленно заказал Hammond для себя. Появление на рынке нового музыкального инструмента неминуемо повлекло возникновение новых стилей в популярной музыке. В то время список профессионалов, использующих Hammond'ы, был очень представительным.

В течение многих лет термины «электрический орган» и «Hammond» были фактически синонимами. Но Hammond не всегда легально назывался «органом». Это сегодня кажется, что орган – он и есть орган. Но в 1936 году фирмы-изготовители духовых органов настаивали на том, что электрическое устройство не может так называться, так как это вводит в заблуждение публику, и требовали изменить название на что-нибудь типа «электротон». Под их давлением Федеральная Торговая Комиссия США подала в суд на Hammond Organ Company. На судебных процессах приводились аргументы, что звук Hammond'a во все не органный, что формирование гармоник не соответствует человеческому слуховому восприятию. Обвинение требовало провести сравнительные испытания духового и электронного органов. При проведении таких испытаний электроорган Hammond «побил» духовой орган Skinner стоимостью 75 000 долларов. Судьями были девять профессоров и пятнадцать студентов университета Чикаго, причем последние были выбраны наугад. В часовне университета, где был установлен духовой орган и его электрический «братец», были исполнены

тридцать избранных произведений, одни на органе Hammond, другие на органе Skinner. Слушателей просили угадать, какой инструмент звучал. Каждый из профессоров допустил в среднем десять ошибок, а студенты угадали лишь в половине случаев. Забавно, что согласно теории вероятности такой же результат можно было получить при подкидывании монетки наудачу!

Под всем этим имелась экономическая подоплека. Пик производства духовых органов прошел в 1927 году, и к 1935 году, когда на рынок вышел Hammond, его уровень упал на 80%. Электрический «заменитель» был экономичней и надежней, его можно было даже переносить – это раздражало «духовиков». Но, как это часто бывает, новый инструмент создал собственную уникальную нишу на рынке – и занял ее! Приблизительно пять тысяч органов Hammond были проданы за первые три года, и около 35 % из них были куплены для установки в храмах.

Говоря о синтезе звука, нельзя обойти вниманием нашего соотечественника Льва Термена. Уникальная личность с уникальной биографией, Лев Сергеевич занял достойное место в истории электронной музыки. Его вклад в развитие электронной музыки и электроакустики трудно переоценить.

Термен использовал гетеродинный принцип создания звука: разница между звуками двух одновременно работающих высокочастотных («сверхзвуковых») генераторов создавала «биения» в пределах слышимого диапазона. Термен создал и клавишную версию наиболее известного своего инструмента – Терменвокса, но на вершину славы его вознес как раз неклавишный Терменвокс – шоу, использование которого вызывало дикий ажиотаж публики.

Давайте рассмотрим подробнее, что он собой представлял. У инструмента было два генератора сверхзвуковой частоты. Поднесение руки к одному из генераторов изменяло емкость входящего в LC-контур конденсатора, и, соответственно, меняло частоту переменного магнитного поля. Второй генератор работал на неизменной частоте. Разностная частота неизменного и изменяемого полей и давала разные звуковые частоты, тональность которых зависела от движения руки в магнитном поле одного из генераторов. Для удобства игры инструмент имел две антенны, посредством которых изменялись, соответственно, высота тона и громкость. Играть на Терменвоксе было «просто», надо было «всего лишь» делать волнообразные пассы обеими руками в электромагнитных полях, создаваемых антеннами. Положение одной руки относительно антенны определяло высоту тона, другой – громкость звука. Физического контакта не требовалось вообще!

В 1927 году Лев Термен прибыл со своим Терменвоксом в Соединенные Штаты Америки из Европы, где он «вертел маленькими пальчиками, волшебным образом меняя тон и амплитуду» – так писал в одной из газет обозреватель светской жизни. Когда Термен давал концерт в парижской Опере, администрации пришлось вызвать полицию для наведения порядка: толпы слушателей пытались прорваться в зал, и впервые в истории все места на галерке и в ложах были распроданы, причем за месяц вперед.

В Соединенных Штатах концерты Льва Термена проходили под патронажем известных деятелей культуры и меценатов, сначала в частных салонах, а затем, 31 января 1928 года – в Metropolitan Opera. В конце года состоялся дебют с Нью-Йоркским филармоническим оркестром, где им был исполнен ряд классических произведений. Ассистировали три студента, ученики Термена. Концерт «эфирной» музыки завершился шквалом аплодисментов, не смолкавшим в течение пяти минут, и несколькими вызовами на бис.

Однако, реакция публики, поначалу очень благосклонная, через некоторое время диаметрально изменилась: дефекты исполнения, как и следовало ожидать, стали бросаться в глаза... нет, скорее, в уши. Ведь Термен, изобретая инструмент, сам не овладел виртуозной техникой игры на нем, точнее, не успел еще создать ее, и не обладал абсолютным слухом. Ему «не на что было положиться» во время исполнения, и он безбожно фальшивил.

В прессе стали появляться комментарии типа: «... эти устрашающие звуки, подобные изображению в кривом зеркале... джазовые песенки, которые изрыгает супермашина Термена, могут заглушить даже вой автомобильных клаксонов в час пик на Бродвее...».

Как нередко бывает, пришлось ждать долгих шесть лет, пока появится первый виртуоз, способный в полной мере воспользоваться заложенными в инструменте исполнительскими возможностями. Это была русская виолончелистка Клара Рокмор. Все эти годы – с 1928 по 1934 – она под персональным приглядом изобретателя овладевала сложной техникой исполнения на Терменвоксе. И, в конце концов, так преуспела в этом, что смогла абсолютно точно интонировать, извлекая звуки из воздуха аккуратными движениями кистей рук и пальцев. «Нашла воздушную аппликатуру», как сказал один музыкальный критик. После того, как Клара Рокмор впервые выступила публично, в газете The New York Times появилась статья, автор которой отмечал, что исполнительница не только сумела «обуздать» непристойно фальшивящий Терменвокс, но и «заставила публику благоговейно внимать блестящей интерпретации виолончельной сонаты Франка, богатой нюансами и разнообразнейшими исполнительскими «штучками», типа быстрой смены легато и стаккато».

В качестве исполнительницы на Терменвоксе (его еще называли Эфирофон, англ. Aetherphon) Клара Рокмор сделала блестящую карьеру продолжительностью более чем в тридцать лет. До нашего времени сохранилась великолепная запись, сделанная на студии Delos Records. Пластинка называется «Clara Rockmore, Theremin Virtuoso».

Л.С. Термен разработал и изготовил еще несколько инструментов, работавших на гетеродинном принципе, в том числе «электрическую виолончель». Новую разработку в 1930 году в Карнеги-холле опробовал композитор Вэлингфорд Ригер. Концерт проходил под аккомпанемент «оркестра» из четырнадцати эфирофонов и сопровождался световыми эффектами. В этом направлении наш знаменитый соотечественник вел ничуть не менее интенсивные эксперименты. Несколько позже Термен использовал огромные прозрачные колеса с нанесенными на них геометрическими рисунками и арабскими цифрами, вра-

шающиеся перед неоновой стробоскопической лампой. С изменением высоты тона синхронно менялась и частота вспышек стробоскопа, геометрические рисунки постоянно менялись, благодаря феномену инерции зрения создавались ошеломляющие зрительные эффекты.

В 1932 году Термен осуществил еще более амбициозный проект. Это было грандиозное шоу с участием шестнадцати «виолончельных» и «клавишных» Терменвоксов, электронных литавр (тоже, между прочим, клавишных) и Терпситона. Терпсихора – древнегреческая муза танца, а Терпситон, или эфирно-музыкально-танцевальная платформа Термена, представлял собой арену, чувствительную к движениям танцора и трансформирующую его телодвижения в замысловатые звуки. От движений рук зависела интонация, а от поклонов – громкость.

В историю Лев Сергеевич Термен, безусловно, вошел как человек, определивший развитие не только электронных музыкальных инструментов, но и во многом массовой музыкальной культуры в целом.

### 18.1.2. Общие принципы синтеза звука

В основе различного звучания музыкальных инструментов лежит индивидуальная тембровая окраска. Порой, чтобы подчеркнуть особенность звучания музыкального инструмента, употребляют термин «голос». Голоса музыкальных инструментов настолько индивидуальны, что мы с легкостью можем различить их в звучании симфонического оркестра.

Созданный с помощью музыкального инструмента звуковой сигнал состоит из нескольких характерных фрагментов – фаз. Так, например, при нажатии на клавишу рояля амплитуда звука сначала быстро возрастает до максимума, а затем немного спадает. Начальная фаза образования звука называется атакой (*attack*). Длительность атаки для различных музыкальных инструментов варьируется от единиц до нескольких десятков или даже сотен миллисекунд. После атаки начинается поддержка (*sustain*), в течение которой уровень сигнала примерно постоянен или плавно изменяется (в случае применения амплитудного вибрато). Ощущение высоты звука формируется как раз во время поддержки. Далее идет участок относительно быстрого затухания (*release*), величины сигнала. Огибающая колебаний во время атаки, поддержки и затухания называется амплитудной огибающей (рис. 18.1).

Различные музыкальные инструменты имеют, разумеется, разную форму амплитудной огибающей, тем не менее, отмеченные фазы характерны практически для всех инструментов (исключение составляют ударные).

В процессе воспроизведения звука его спектр изменяется во времени (рис. 18.2). Подобное представление сигнала называют динамическим спектром.

Идеальная звуковая волна может быть «определена» путем задания ее амплитуды и частоты. Такую звуковую волну можно получить, например, с помощью камертона. Однако есть еще третий параметр – фаза звуковой волны. Для простоты представления динамического спектра сигнала его фаза на

рис. 18.2 не показана. Те сигналы, у которых фаза сильно зависит от времени, – звуки шумовых инструментов, начало звучания многих ударных (перкуSSIONных) инструментов, – трудно охарактеризовать динамическим спектром. Тем не менее, представление звука в виде динамического спектра традиционно и наглядно.

Для создания электронного аналога реального звука, т.е. для синтеза звука, необходимо воссоздать огибающие гармоник, из которых состоит реальный звук.

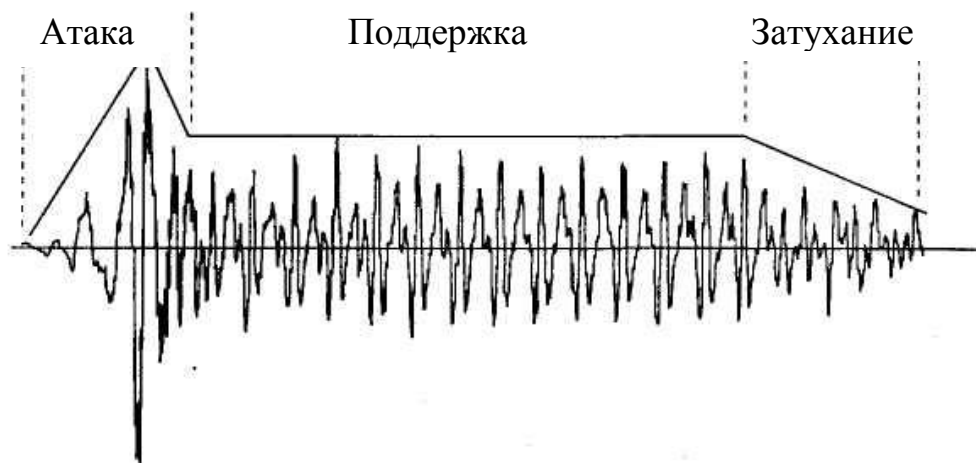


Рис. 18.1. Огибающая звукового сигнала

Обобщенно технология создания звука в электромузыкальных цифровых синтезаторах выглядит примерно следующим образом. С помощью цифрового устройства, использующего один из методов синтеза, генерируется так называемый сигнал возбуждения с заданной высотой звука. Он должен иметь спектральные характеристики, максимально похожие на характеристики звука имитируемого музыкального инструмента на стадии поддержки. Затем сигнал возбуждения подается на фильтры, имитирующие амплитудно-частотные характеристики излучающих звук поверхностей (корпус, дека и т. д.) реальных музыкальных инструментов, и фильтры, управляемые сигналом амплитудной огибающей, которые создают эффект наличия большого количества высокочастотных составляющих на стадии атаки и последующего их уменьшения на стадии затухания. Одновременно формируется огибающая сигнала с помощью умножения временных отсчетов сигнала на временные отсчеты образцовой для данного типа музыкального инструмента амплитудной огибающей. Дополнительно могут быть добавлены частотное и амплитудное вибрато.

Далее сигнал может подвергнуться электронной обработке с целью создания эффектов реверберации, хоруса, флэнжера и др. Если синтезируется несколько одновременно звучащих различных музыкальных инструментов, то большинство описанных операций выполняется для каждой ноты каждого инструмента отдельно. Результирующий сигнал получается путем суммирования в цифровом виде всех составляющих звуков и только после этого преобразуется из цифрового в аналоговый. Естественно, в конкретных реализациях цифровых

синтезаторов музыкальных звуков некоторые этапы могут быть упрощены или вовсе отсутствовать, что, конечно, ухудшает качество звука.

Обычно синтезаторы получают упрощенное название по типу примененного в них генератора сигнала возбуждения. Например, если применяется волновой табличный генератор, то и все устройство целиком может быть названо «wavetable synthesizer» – WT-синтезатор.

Рассмотрим некоторые методы синтеза звука, применяемые в синтезаторах электронных музыкальных инструментов и в синтезаторах компьютерных звуковых карт.

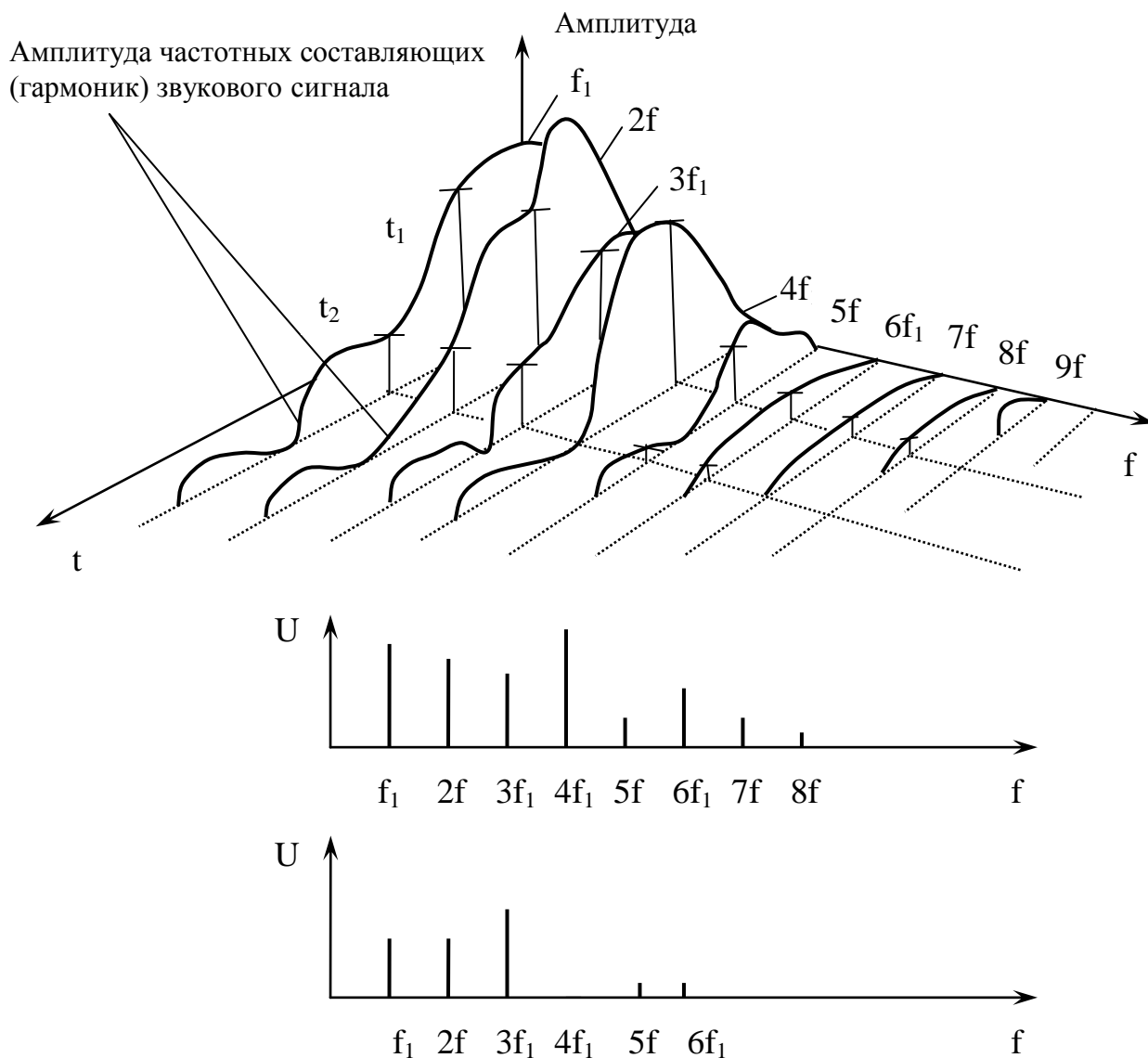


Рис. 18.2. Динамический спектр сигнала

### 18.1.3. Краткий обзор методов синтеза звука

Наиболее изученным методом считается **аддитивный синтез** (от латинского *additiv* – сложение). Суть метода состоит в том, что звук ре-



зультатирующего тембра формируется путем сложения нескольких исходных звуковых волн. Этот метод используется в классическом органе. Для того чтобы разнообразить звук этого инструмента, конструкторы хитроумной системой клапанов заставляли при нажатии на одну клавишу звучать сразу несколько труб. При этом звучащие трубы в основном настроены или в унисон, или в одну-две октавы. При нажатии на клавишу первыми начинают звучать короткие трубы, дающие высокие обертоны, затем вступает средняя секция и последними – басы. Таким образом, огибающие для разных гармоник различаются. В электромузыкальных инструментах (ЭМИ) этот метод применяется в более примитивном статическом виде.

При цифровом аддитивном синтезе отдельно формируется  $N$  гармоник с частотами от  $f_1(t)$  до  $f_N(t)$  и амплитудами от  $A_1(t)$  до  $A_N(t)$ , зависящими от времени. Затем эти гармоники складываются. Огибающие всех  $N$  составляющих формирует процессор при воспроизведении звука. Среди значений частот  $f_1(t) \dots f_N(t)$  могут быть и не кратные, поэтому метод хорошо подходит для синтеза полифонических звуков. Если ставится задача получить все частотные точки звукоряда с их гармониками, то необходимо использовать несколько сотен составляющих.

Для получения слабо искаженного синусоидального сигнала используют генератор, управляемый кодом (ГУК). Он состоит (рис. 18.3) из формирователя линейно изменяющейся фазы, собранного на сумматоре и регистре, постоянно запоминающего устройства (ПЗУ), в котором записаны значения функции  $\sin x$  для одного периода, цифрового умножителя параллельных кодов и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) с фильтром низких частот (ФНЧ) на выходе. Работу ГУК синхронизируют импульсы, следующие с частотой дискретизации сигнала  $f_d$  (обычно от 20 до 50 кГц).

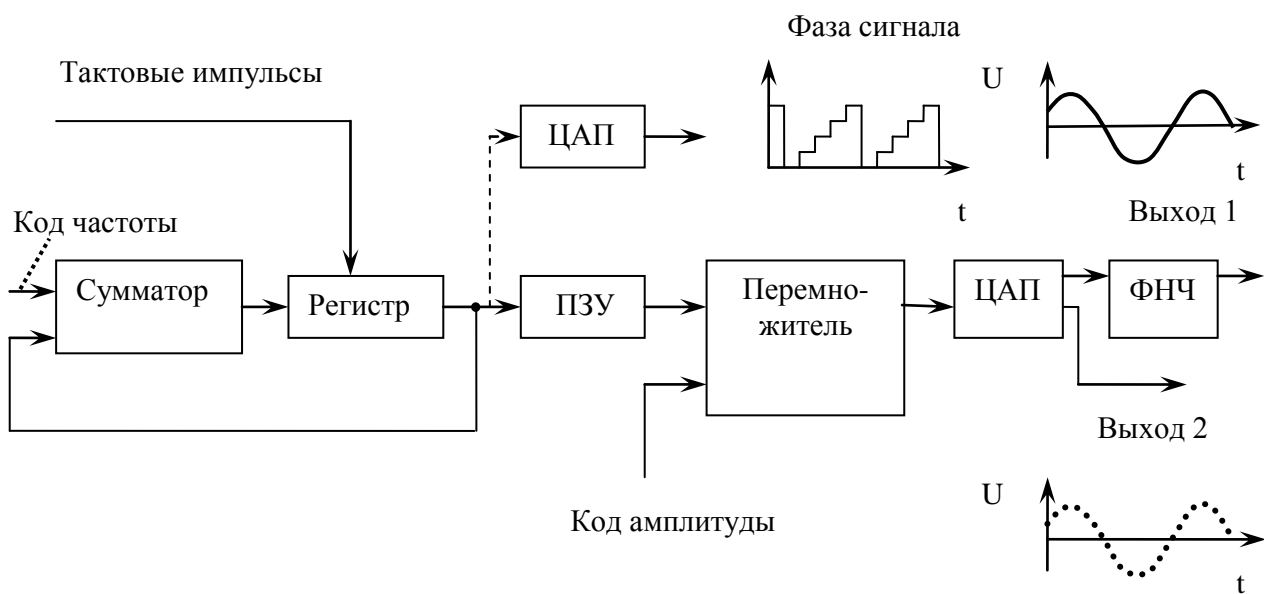


Рис. 18.3. Структурная схема генератора, управляемого кодом

По фронту тактового импульса регистр запоминает код текущего значения фазы  $\varphi$ . В момент прихода следующего импульса этот код складывается с кодом частоты  $f$ , и в ПЗУ идет уже их сумма и т.д. Таким образом, на выходе регистра формируется линейно изменяющийся код, являющийся фазой сигнала. Из-за конечной разрядности сумматора фаза не может увеличиваться беспрестанно, поэтому получается зависимость от времени, близкая к пилообразной. Разрядность сумматора и регистра (20...24 бит) выбирают, исходя из требований к точности задания частоты. Тогда частота изменения фазы составит

$$F_{\varphi} = \frac{f_{\text{д}} \times K_f}{2^m}, \text{ где } K_f - \text{ код частоты.}$$

Код фазы является адресом в ПЗУ, где хранятся значения синуса или косинуса для одного периода. Однако все  $m$  разрядов кода фазы здесь использовать нет необходимости, так как для приемлемой точности задания синусоиды достаточно 2048 точек, т.е. лишь 11 старших разрядов. Значения функции, записанные в ПЗУ, умножаются в параллельном перемножителе на амплитуду  $A$  и преобразуются в аналоговый вид с помощью ЦАП с разрядностью 10...12 бит.

Итак, на выходе ГУК мы будем иметь синусоиду с частотой, определяемой кодом частоты  $f$ , и амплитудой, соответствующей коду амплитуды  $A$ .

Для того чтобы получить  $N$  синусоид, совсем не обязательно использовать  $N$  генераторов. Достаточно немного усложнить уже известный ГУК (рис. 18.4). Все его функциональные элементы те же, но для хранения  $N$  значений кода амплитуды, частоты и фазы необходимо ввести оперативные запоминающие устройства (ОЗУ) емкостью  $N$  слов соответствующей разрядности. Адресом в ОЗУ служит номер формируемой в соответствующий момент синусоиды. Адрес принимает значения от 0 до  $N-1$ . Конечно, для формирования сигналов с частотой, определяемой по приведенной выше формуле, нужно увеличить тактовую частоту в  $N$  раз, так как один цикл работы включает формирование  $N$  независимых сигналов. Полученные сигналы обычно складывают уже в аналоговом виде в ФНЧ, но это можно сделать и в цифровом виде с помощью накапливающего сумматора.

Описанный метод позволяет непосредственно формировать сигнал с соответствующим динамическим спектром, но требует от блока управления очень много информации –  $N$  значений амплитуды и частоты.

Другим способом синтеза звука является **метод волновой формы** (от англ. waveshaping). Забегая вперед, отметим, что, не смотря на созвучное название, **этот метод никакого отношения к синтезу звука на основе таблицы волн не имеет.**

Метод волновой формы является разновидностью нелинейного синтеза, который характеризуется тем, что для получения одного музыкального звука используется сигнал одного генератора. Гармоники при этом получают в результате нелинейных искажений, как в «плохом» усилителе.

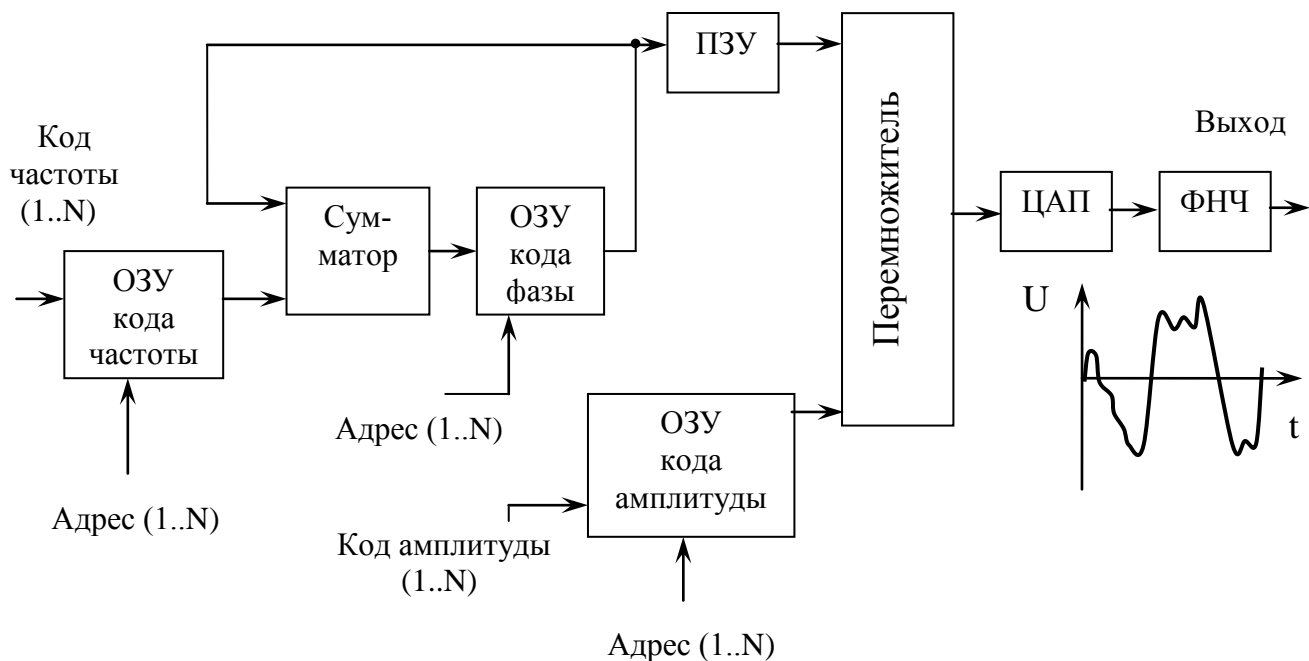


Рис. 18.4. Функциональная схема усовершенствованного ГУК

Синусоидальный сигнал с амплитудой  $A_1$  и частотой  $f_1$  пропускают через нелинейный элемент (рис. 18.5) с передаточной характеристикой  $F(x)$  и на выходе получают сигнал той же частоты, но, в общем случае, с другой амплитудой и обогащенный гармониками.

Зная амплитуду сигнала и вид характеристики  $F(x)$ , можно абсолютно точно вычислить спектр сигнала на выходе. Используя нелинейные элементы специального вида, можно получить спектры, характерные для тех или иных инструментов. Получение динамического спектра тем более не представляет труда, коль скоро спектр зависит от амплитуды  $A_i$ , причем эта зависимость определяется только видом функции  $F(x)$ .

Недостаток метода состоит в том, что он не позволяет отдельно управлять амплитудой и спектром выходного сигнала. Существенно расширить возможности синтезатора позволяет устройство, схема которого показана на рис. 18.6.

Сигнал второго генератора, имеющий частоту  $f_2$  и амплитуду  $A_2$ , перемножается с искаженным сигналом первого генератора, поэтому уравнение синтеза имеет вид

$$U = A_2 \sin(2\pi f_2 t) \times F[A_1 \sin(2\pi f_1 t)].$$

В результате, во-первых, появляется возможность непосредственно управлять амплитудой выходного сигнала, варьируя параметр  $A_2$ , во-вторых, умножение сложного сигнала  $F[A_1 \sin(2\pi f_1 t)]$  на синусоиду  $\sin(2\pi f_2 t)$  приводит к сдвигу первоначального спектра на величину  $f_2$ . При целочисленном отношении  $f_2/f_1$  это означает изменение амплитуды уже имеющихся гар-

моник, в остальных случаях – образование новых составляющих спектра. Эффект этой операции настолько значителен, что она получила самостоятельное название **кольцевой модуляции**.

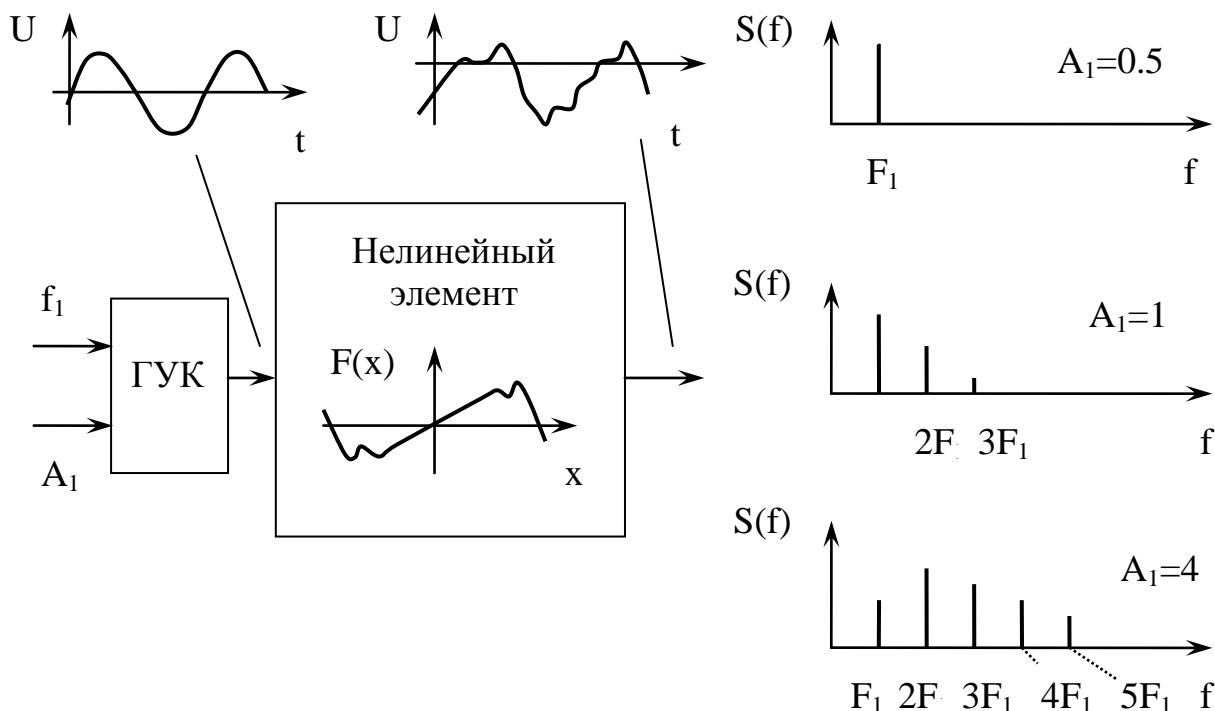


Рис. 18.5. Схема образования сигнала при синтезе звука методом волновой формы

Итак:

- параметры  $f_1$  и  $f_2$  влияют на основной тон звука;
- $F(x)$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $f_2/f_1$  – на спектр звука;
- $A_1$ ,  $A_2$ ,  $F(x)$  – на амплитуду выходного сигнала.

Несмотря на тесную взаимосвязь параметров, имеется возможность управлять звуком оперативно и в широких пределах, изменяя всего два из них –  $A_1$  и  $A_2$ , т.е. регулируя амплитуду сигналов генераторов огибающих.

Метод реализуется с помощью уже известных нам генераторов, управляемых кодом, умножителя и ПЗУ (или ОЗУ), в котором в табличном виде задана функция  $F(x)$ . Разумеется, изготавливать два генератора не нужно, достаточно использовать банк генераторов, который будет последовательно вычислять значения функций  $A_1 \sin(2\pi f_1 t)$  и  $A_2 \sin(2\pi f_2 t)$ . Огибающие сигналов с амплитудами  $A_1, A_2$  и частотами  $f_1, f_2$  реализуют программно – эта функция возложена на управляющий микропроцессор. Метод особенно хорошо подходит для синтеза звуков духовых инструментов.

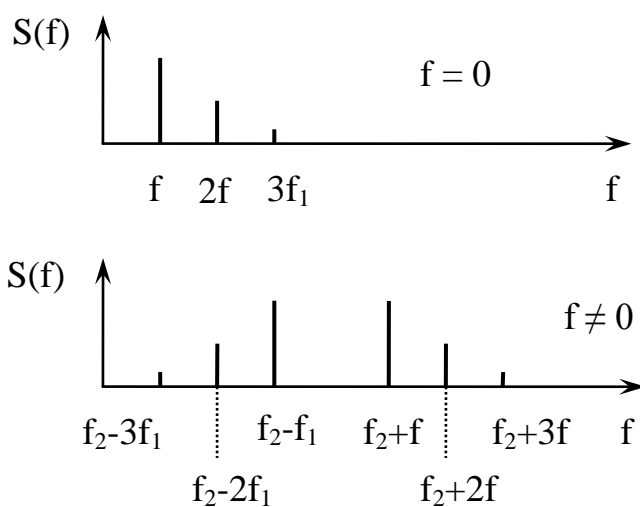
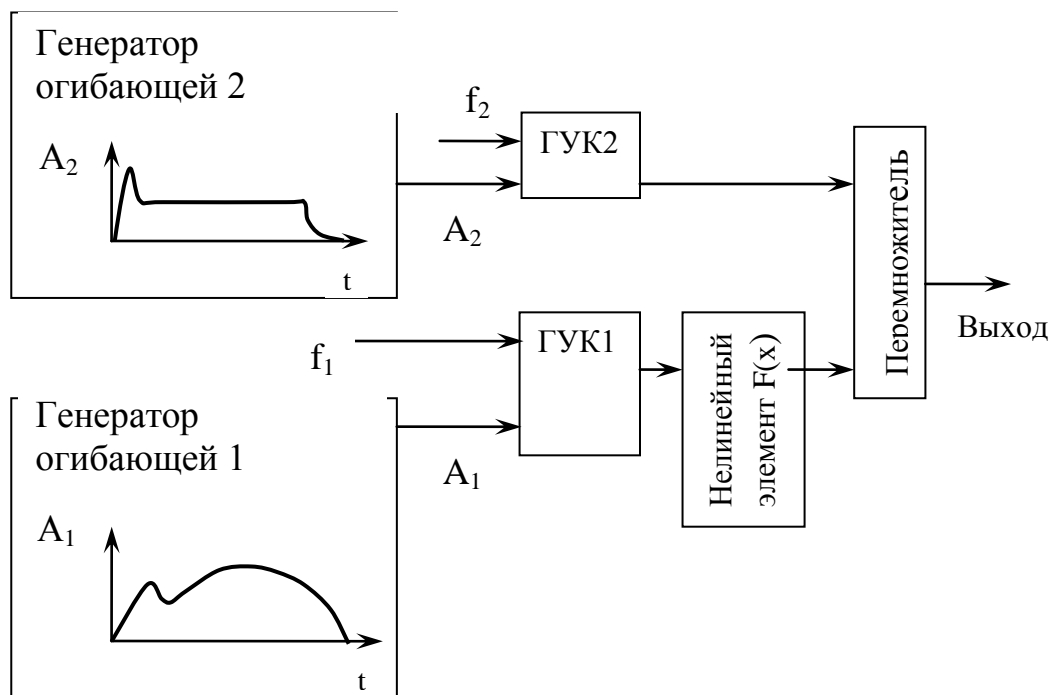


Рис. 18.6. Синтез звука на основе двух ГУК

**Субтрактивный метод синтеза** заключается в том, что новый тембр создается путем изменения соотношения между отдельными составляющими первоначального колебания. Реализуется этот метод в два этапа. Сначала формируется первоначальное колебание, основные частоты которого соответствуют частотам нот. Главное требование к первоначальному колебанию сводится к тому, что оно должно иметь как можно более богатый тембр (иметь большое количество гармоник). На втором этапе с помощью частотных фильтров из первоначального колебания выделяют составляющие, характерные для имитируемого музыкального инструмента. Известно, что спектр импульсной после-

довательности тем шире, чем короче каждый импульс. Поэтому первоначальным сигналом может служить последовательность коротких прямоугольных импульсов.

В первых звуковых картах для получения звуков использовался синтез звука с помощью генераторов прямоугольных импульсов. Позже ему на смену пришел синтез звука на основе частотной модуляции (ЧМ), поэтому в документации на звуковую карту вы, скорее всего, встретите английское название – Frequency Modulation Synthesis, или FM-синтез.

**FM-синтез** используется практически во всех недорогих звуковых картах. Качество звука при использовании FM-синтезатора вполне приемлемо и в большинстве случаев способно удовлетворить запросы неискушенных пользователей.

Однако более качественное и реалистичное звучание имеют звуковые карты с синтезом звука **на основе таблицы волн** (Wave Table Synthesis – WT-синтез). Иногда WT-синтез называют просто волновым синтезом.

В заключение общего обзора методов синтеза звука отметим «появление» в некоторых моделях звуковых карт синтезаторов на основе физического моделирования. В отличие от синтеза звука на основе таблицы волн, где в качестве исходных выступают оцифрованные звуки реальных музыкальных инструментов, записанные в ПЗУ, физическое моделирование предусматривает использование математических моделей звукообразования реальных музыкальных инструментов для генерации в цифровом виде соответствующих волновых форм, которые затем конвертируются в звук при помощи ЦАП.

Например, существует точное математическое описание явлений, происходящих в саксофоне: в качестве источника колебаний воздуха выступает трость, затем звук усиливается и тембрально окрашивается в резонаторе, в качестве которого используется изогнутая металлическая труба. В синтезаторе сначала производится расчет сложных колебаний воздуха, которые возникают под влиянием колебаний трости, затем на основании полученных данных создается цифровое подобие этих колебаний, после чего рассчитываются все изменения, происходящие со звуком в резонаторе. Остается только преобразовать цифровую модель звука в электрические колебания, с чем успешно справляется ЦАП звуковой карты. Пионер в области физического моделирования фирма Yamaha производит синтезаторы, которые очень хорошо имитируют духовые и струнные инструменты, причем с их помощью можно проводить очень интересные эксперименты в области формирования звука, комбинируя различные типы источников колебаний, с совершенно неожиданными резонаторами и обрабатывая получившийся звук всевозможными фильтрами. Отметим, что многие звуковые карты имеют возможность работать с программным (виртуальным) синтезатором, который функционирует на основе принципов физического моделирования звука.

Одной из разновидностей физического моделирования является технология WaveGuide, активно разрабатываемая в Стэнфордском университете. Эта технология уже применяется в нескольких промышленных моделях электрон-

ных роялей, например, фирмы Baldwin. При использовании этой технологии моделируется распространение колебаний, представленных дискретными отсчетами по струне (одномерное моделирование) и по резонансным поверхностям (двумерное моделирование) или в объемном резонаторе (трехмерное). При этом появляется возможность моделировать также нелинейные эффекты (например, удар молоточка, касание струны демпфером).

#### 18.1.4. Синтез звука на основе частотной модуляции

Синтез звука с помощью частотной модуляции известен, прежде всего, по широко распространенным электромузыкальным инструментам фирмы Yamaha, хотя его основы были заложены задолго до их появления.

При частотной модуляции мгновенная частота несущего сигнала изменяется под воздействием модулирующего сигнала, а отклонение несущей частоты от среднего значения пропорционально амплитуде модулирующего сигнала.

Например, при синусоидальном модулирующем сигнале ЧМ-сигнал может быть описан выражением

$$U = A_C \sin \left[ 2\pi f_C t + m_f \sin(2\pi f_M t) \right],$$

где  $f_C$  – несущая, или средняя, частота;

$f_M$  – частота модулирующего сигнала;

$m_f$  – индекс частотной модуляции – отношение девиации частоты к средней частоте;

$A_C$  – амплитуда сигнала несущей.

Если  $m_f = 0$ , то, очевидно, в спектре выходного сигнала содержится лишь одна гармоника с частотой  $f_C$ . Однако при  $m_f \neq 0$  в спектре появляются составляющие с частотами  $f_C = K_M$ , где  $K$  – натуральное число. При увеличении  $m_f$  энергия «перекачивается» из максимума на частоте  $f_C$  в боковые частоты (рис. 18.7). Амплитуда боковых частот выражается через функции Бесселя первого рода  $k$ -го порядка  $J_k(m_f)$ , аргументом которых является  $m_f$ . С увеличением  $m_f$  в спектре появляется большое число боковых частот со значительной амплитудой. Итак, изменяя всего один параметр – индекс модуляции  $m_f$ , – можно варьировать спектр в широких пределах. Именно этот принцип положен в основу метода FM-синтеза. Функциональная схема, реализующая этот метод, представлена на рис. 18.8.

В устройстве использованы два генератора. Первый ГУК является модулирующим, второй вырабатывает FM-сигнал, поскольку, в общем случае, для синтеза голоса одного инструмента при FM-синтезе достаточно двух генераторов.

Генератор огибающей 1 управляет амплитудой выходного сигнала, генератор огибающей 2 обеспечивает изменение индекса модуляции в широких

пределах – от нуля до нескольких десятков, при этом выходной сигнал изменяется от чисто синусоидального до сигнала с очень богатым спектром – так формируется необходимый динамический спектр.

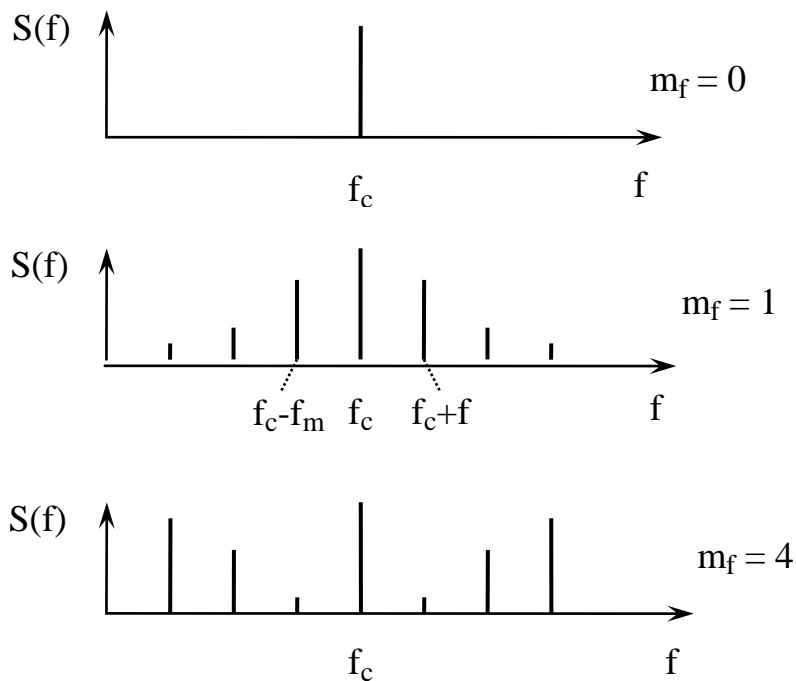


Рис. 18.7. Спектр сигнала при FM-синтезе

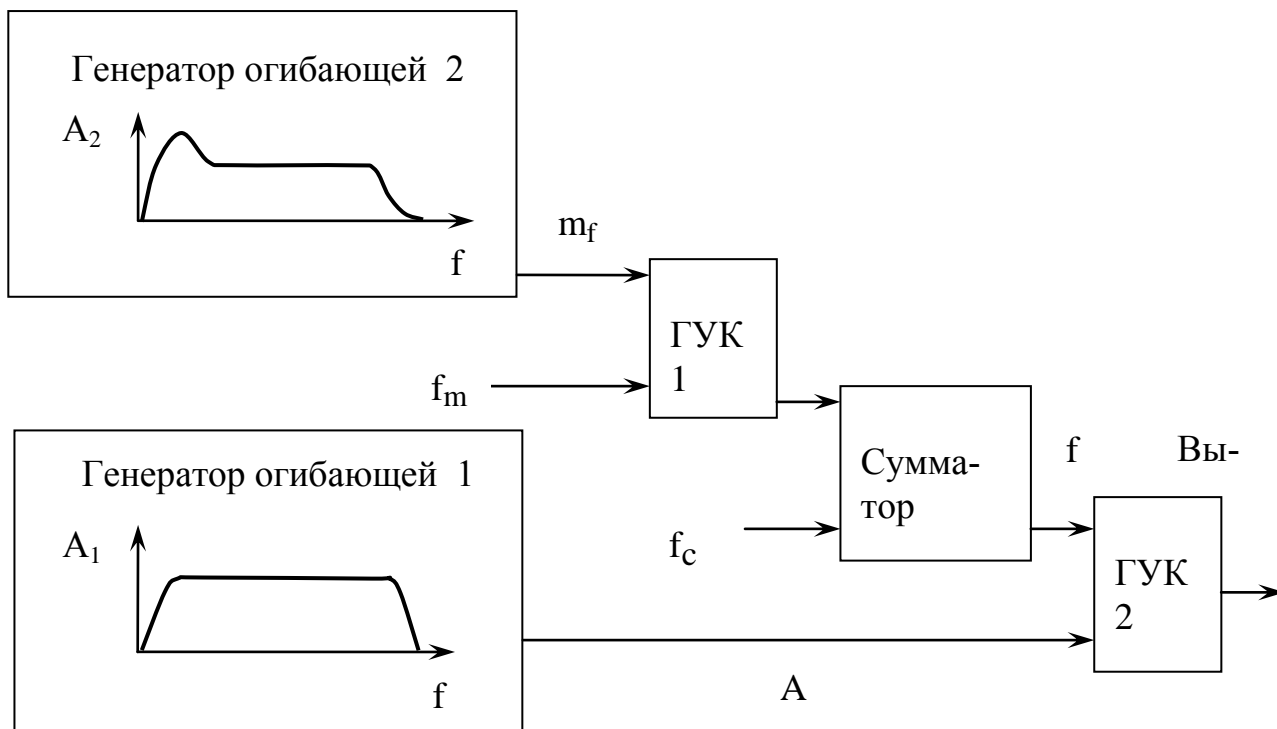


Рис. 18.8. Схема блока FM-синтеза



Такая упрощенная модель не позволяет получить большого разнообразия изменений спектра, поэтому в реальных синтезаторах используют не два, а большее число генераторов, модулирующих друг друга. При этом создание новых звуков возможно, в основном, эмпирическим методом, путем выбора определенных частотных соотношений и схемы соединения генераторов. Комбинации включения генераторов называют также FM-алгоритмами.

Следует отметить, что количество генераторов (реальных или виртуальных, то есть реализованных программно) определяет максимальное количество простейших звуков, которое синтезатор может воспроизводить одновременно, иначе говоря, полифонию. Для современных звуковых карт хорошей считается полифония, равная 32 и более.

В первых звуковых картах использовались двухоператорные синтезаторы. Это означает, что в создании звука одного тембра могут участвовать максимум два генератора.

В звуковых картах современных моделей FM-синтезатор может использовать для генерации звука одного тембра уже четыре (четырёхоператорный) и более генератора, причем каждый генератор может формировать сигнал одной из predetermined форм (waveform).

В соответствии с FM-алгоритмом, выходные сигналы генераторов могут, например, суммироваться. В этом случае реализуется аддитивный синтез. При другом способе включения, например, при последовательном соединении с петлей обратной связи, второй генератор задает основной тон сигнала (является генератором несущей), а первый определяет обертоны (является модулятором). При таком включении сигнал с выхода первого генератора поступает на вход второго, а сигнал с выхода второго подается на вход первого.

В настоящее время разработано большое количество FM-алгоритмов синтеза оригинальных звучаний. Достоинство FM-синтеза состоит в том, что на картах с совместимыми FM-синтезаторами обеспечивается высокая повторяемость тембров, так что партия «скрипки», записанная на домашнем компьютере, с большой вероятностью будет звучать без искажений и на других картах.

Однако данный метод синтеза не лишен недостатков. Поскольку процесс синтеза совмещен по времени с процессом исполнения музыки, существенно возрастают требования к суммарной производительности, как компьютера, так и синтезатора. И действительно, чем выше требования к точности воспроизведения звучания музыкального инструмента, тем большее количество генераторов должно быть задействовано. При этом алгоритм управления генераторами будет достаточно сложным, так как в нем должны быть учтены малейшие оттенки звучания, присущие конкретному инструменту.

### **18.1.5. Синтез звука на основе волновой таблицы**

Первые звуковые карты с WT-синтезаторами появились практически одновременно со звуковыми картами вообще. Их выпускала и выпускает по сей

день фирма Roland, известная, прежде всего, своей профессиональной музыкальной техникой. Следует отметить, что на роль пионера в реализации волнового синтеза претендуют еще, как минимум, две фирмы – Ensoniq и Turtle Beach.

Первые карты с WT-синтезаторами фирмы Roland не имели блоков цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразования, поэтому их часто использовали в комплекте с Sound Blaster-совместимыми картами, у которых они имелись. Но массового распространения карты этой фирмы не получили, главным образом, из-за очень высокой цены.

Предшественниками волновых синтезаторов явились сэмплеры. Сэмплер – это синтезатор, который позволяет записывать звуки музыкального инструмента при помощи микрофона и затем воспроизводить их в любом темпе с соответствующим изменением средней частоты. Записанные (фактически, оцифрованные) звуки и сейчас называют сэмплами. Важно то, что блок синтеза сэмплера может анализировать звук, а FM-синтезаторы такой возможности не имеют. Можно, конечно, записать звук и методом импульсно-кодовой модуляции (такой подход реализуют при записи ударных инструментов, а также в дорогих моделях ЭМИ), но для этого необходим большой объем памяти, что приводит к понятным осложнениям.

В WT-синтезаторе для создания реалистичного звука используются предварительно оцифрованные образцы звуков, сведенные в один или несколько так называемых банков инструментов. Банки с образцами звучания инструментов обычно хранятся в специальной микросхеме ПЗУ на звуковой карте, однако может быть использован и жесткий диск. В процессе работы в оперативную память (ОЗУ) компьютера или в собственную оперативную память звуковой карты могут загружаться дополнительные банки инструментов. Объем памяти в ПЗУ или ОЗУ, отводимой для хранения банков инструментов, зависит от модели звуковой карты. Отметим, что в звуковой карте могут иметься одновременно и ПЗУ и ОЗУ. Кроме того, во многих звуковых картах предусмотрено место для установки дополнительных модулей памяти для хранения банков инструментов.

В общем случае банки инструментов устроены следующим образом.

Каждый образец звучания (патч) представляет собой комбинацию сэмплов – обычных wav-файлов, организованных в слои (layers).

Интересно, что термин патч имеет свою историю. Самые первые музыкальные синтезаторы состояли из отдельных модулей – фильтров, усилителей, а также аналоговых генераторов, управляемых напряжением. Модули соединялись определенным образом в единое целое с помощью специальных кабелей. В переводе с английского слово patch означает также временное соединение, переключатель. Поэтому звуки, получаемые в результате синтеза, стали называть патчами. В последующем слово патч стало служить для обозначения записанного (оцифрованного!) образца звучания какого-либо музыкального инстру-

мента. Так что патч и сэмпл можно рассматривать как одно и то же, но поскольку образец звучания конкретного инструмента может состоять из нескольких фрагментов, то для обозначения образца звучания в целом мы будем употреблять слово патч, а для обозначения составляющих его фрагментов – сэмпл.

Присутствие в патче нескольких сэмплов обусловлено веской причиной. WT-синтезатор с помощью одного музыкального тона может получить другой. Допустим, исходный сэмпл оцифрован с частотой 44,1 кГц. Тогда, если воспроизводить его с удвоенной частотой дискретизации (88,2 кГц), т.е. вдвое быстрее, высота звука возрастет на октаву. Если же воспроизводить сигнал с пониженной частотой дискретизации, то высота звука уменьшится. Таким образом, если воспроизводить сэмпл с измененной соответствующим образом частотой дискретизации, можно получить звук любой высоты.

Однако при таком подходе возникает один неприятный момент. Одновременно со смещением величины тактовой частоты и высоты звука будет изменяться длительность атаки и скорость затухания сигнала. Так, если мы удвоим тактовую частоту, то, наряду с удвоением высоты звука, в два раза уменьшится общее время звучания. Поэтому вдвое сократится длительность атаки и вдвое возрастет скорость затухания звука. Это вызовет искажение общего впечатления о звуке. Тембр же воспроизводимого сигнала подвергнется еще более серьезным изменениям.

В реальном музыкальном инструменте при изменении высоты звука форма амплитудно-частотной характеристики излучающих звук поверхностей, ее местоположение на оси частот, величина максимумов и минимумов обычно не изменяются. А вот при изменении скорости воспроизведения оцифрованного сигнала вместе с частотой основного тона изменится и форма АЧХ (растянется или сожмется, максимумы и минимумы сместятся по оси частот).

Конечно, это сильно исказит звук. Кроме того, в некоторых музыкальных инструментах (пианино, гитара и др.) звуки разной частоты формируются с помощью различных элементов конструкции (струны с оплеткой и без; несколько струн, настроенных в унисон). В этом случае звук, полученный с помощью удвоения скорости воспроизведения оцифрованного сигнала, может изначально не соответствовать реальному, на октаву более высокому звуку. Поэтому в WT-синтезаторах применяется несколько иной способ изменения высоты звука: оцифровывается несколько разных по высоте сигналов (сэмплов) реального музыкального инструмента, перекрывающих весь его частотный диапазон. Шаг по частоте должен быть достаточно мал, чтобы изменения тембра, связанные с конструктивными особенностями инструмента, при смещении частоты основного тона с помощью варьирования частоты дискретизации не были заметны на слух.

Звучание некоторых музыкальных инструментов становится более реалистичным и выразительным при одновременном воспроизведении нескольких

сэмпл, поэтому звуки инструментов зачастую генерируются WT-синтезатором путем наложения нескольких сэмпл.

С помощью специальных программ – редакторов патчей можно изменить (подкорректировать) содержание любого произвольного слоя, изменяя форму волны, высоту тона сэмпла, включить обычные или управляемые генераторами фильтры и т. д. Таким образом можно добиться самого необычного звучания. Следует отметить, что количество сэмплов в патче определяется характеристиками (возможностями) синтезатора звуковой карты. Так, например, синтезатор звуковых карт Tropez, Tropez Plus и Maui (фирма-изготовитель Turtle Beach) способен работать с 4 сэмплами в патче, в то время как синтезатор звуковой карты Pinnacle – с 32!

Поскольку качество работы звуковых карт с WT-синтезатором напрямую зависит от качества звучания образцов инструментов, хранящихся в памяти, желательно иметь сэмплы высокого качества (с высоким разрешением), что, в свою очередь, приводит к росту объема банка инструментов. Если, например, для хранения каждого образца звука отводится всего несколько килобайт памяти, качество работы такой карты не будет сильно отличаться от качества работы звуковой карты с FM-синтезатором. Следовательно, чем больше объем банка инструментов, тем реалистичней становится звучание, ибо в памяти может храниться больше сэмплов, записанных с более высоким разрешением.

Заметим, что для устройства, имеющего диапазон частот генерируемого звука в пять октав, при оцифровке через интервал в один тон по высоте с частотой дискретизации 48 кГц и разрядностью данных 24 бита понадобится около 7 Мбайт памяти на 1-секундный отрезок сигнала.

Однако WT-синтезаторы обычных звуковых карт имеют меньший объем памяти, хотя могут имитировать более ста инструментов. Достигается это тем, что звук оцифровывается с большим шагом по частоте основного тона и подвергается различным видам компрессии. В таблице хранятся отрезки сигнала длительностью, значительно меньшей одной секунды. При этом для синтеза длительных нот применяется заикливание (многократное повторное воспроизведение отрезка сигнала в таблице). Отрезок как бы превращается в кольцо. Естественно, для обеспечения звучания без щелчков требуется специальная обработка сигнала. Он должен содержать целое число периодов основного тона, а отсчеты около стыка должны быть обработаны специальной сглаживающей программой.

Кроме образцов звучания музыкальных инструментов, в банке инструментов могут храниться патчи немusикальных, необычных или даже нереальных «инструментов», таких как шум ветра, хлопок в ладоши, звук выстрела и т.п.

Патчи инструментов с малой длительностью звучания (ударные) обычно записываются полностью, а остальные могут содержать лишь начало, конец и небольшую «среднюю» часть звука, которая затем циклически проигрывается в

течение нужного времени.

Один банк может содержать образцы звучания 7...10 инструментов, всего же инструментов обычно около 500.

Безусловным достоинством синтеза на основе волновой таблицы является предельная реалистичность звучания классических инструментов и простота получения звука.

В качестве недостатков необходимо назвать ограниченность набора заранее подготовленных тембров, отдельные параметры которых нельзя изменять в реальном времени, большой объем памяти, необходимой для хранения сэмплов, различия в звучании разных WT-синтезаторов из-за различий в наборах стандартных инструментов.

В заключение отметим, что на некоторых звуковых картах могут устанавливаться одновременно и FM- и WT-синтезаторы.

## **18.2. Основы MIDI**

### **18.2.1. Общие сведения**

Вы, вероятно, знаете, что различные синтезаторы, сэмплеры и звуковые платы связываются между собой при помощи MIDI-интерфейса. Если вы заглянете на заднюю панель любого синтезатора, то, скорее всего, найдете там пятиконтактные гнезда MIDI-входов и выходов, которые маркируются как MIDI In, MIDI Out и MIDI Thru.

Такие же гнезда есть и на MIDI-переходниках звуковых плат, и на различных приборах обработки звука, и даже на цифровых микшерах и многоканальных магнитофонах. И если вы соедините все свое оборудование при помощи этого интерфейса, то сможете заставить его работать в единой системе: с одного синтезатора можно будет обращаться к звукам другого, цифровые магнитофоны будут запускаться при нажатии кнопки в компьютерной программе и т.д. То есть MIDI-интерфейс – это единый стандарт передачи управляющей информации между цифровыми музыкальными инструментами и другим студийным оборудованием.

Два MIDI-устройства обмениваются между собой именно управляющей информацией, например, командами вызова нужного звука из памяти, командами его воспроизведения с нужной высотой и длительностью и т.д. То есть никакой физической передачи звуков по этому интерфейсу не происходит.

До 1982 года, когда была принята спецификация MIDI, синтезаторы разных производителей имели разные архитектуры и системы управления. Это было очень неудобно для музыкантов – ведь при покупке каждого нового инструмента приходилось «с нуля» изучать принципы его работы. Кроме того, сек-

венсоры\* одних производителей не могли работать с синтезаторами других – в результате для каждого синтезатора приходилось покупать отдельный секвенсор. Поэтому-то и возникла идея стандартизировать синтезаторы и другое сопутствующее оборудование и принять единую систему обмена данными между ними. В результате и появился Music Instruments Digital Interface (**MIDI**) – цифровой интерфейс музыкальных инструментов. А через некоторое время им стали оборудовать подавляющее большинство студийных устройств.

Благодаря MIDI-интерфейсу, во-первых, все цифровые синтезаторы теперь имеют очень похожие системы управления, и если музыкант или звукорежиссер знает основные принципы работы MIDI, то без труда может разобраться с любым из них. Во-вторых, музыкальные инструменты разных фирм могут работать вместе и, например, с Roland'a можно получить доступ ко всем ресурсам Korg'a и даже играть «защитыми» в него звуками. В-третьих, секвенсор может управлять не только подключенными синтезаторами, но и любыми другими устройствами, имеющими MIDI-входы и выходы. Например, под управлением секвенсора процессор эффектов в нужный момент аранжировки может менять свои настройки, а цифровой микшер включать и отключать каналы, а также выставлять заранее запрограммированный уровень дорожек или автоматически плавно убирать громкость в конце композиции.

### 18.2.2. MIDI-интерфейс

«Артериями» любой MIDI-системы являются 16 информационных MIDI-каналов, по которым передаются MIDI-сообщения – сигналы, несущие информацию о состоянии органов управления звуковым устройством (например, синтезатором). MIDI-сообщениями могут быть ноты, команды о смене звука, информация о положении регулятора изменения высоты тона и т. д.

На рис. 18.9 изображена схема Sample Playback синтезатора, который тоже является такой системой, так как в его корпусе размещены минимум два совершенно независимо работающих устройства – клавиатура и звуковой модуль. Доступ к памяти синтезатора, где хранятся оцифрованные сэмплы (образцы звучания), осуществляется по уже упомянутым 16 MIDI-каналам. В начале работы музыкант указывает при помощи кнопок управления, какой канал с каким звуком будет работать. На рисунке первому каналу присвоено фортепиано, пятому – орган, десятому – ударные и пятнадцатому – бас. Причем эти связи устанавливаются совершенно произвольно по желанию музыканта: за любым каналом может быть закреплен любой звук, находящийся в памяти.

Клавиатура синтезатора одновременно может работать только с одним

---

\* MIDI-секвенсор – программа, позволяющая записывать и редактировать MIDI-сообщения и представляющая их в виде треков. MIDI-трек – полный аналог звуковой дорожки многодорожечного ленточного магнитофона.

MIDI-каналом (если только не включена специальная функция разделения, разбивающая клавиатуру на две или более частей, каждая из которых может обращаться к отдельному каналу). Поэтому музыкант указывает номер канала с присвоенным звуком, который он хочет использовать. Обычно это делается прямо на верхней панели синтезатора при помощи кнопок переключения канала. По умолчанию клавиатура работает с тем каналом, который указан на дисплее синтезатора. После настроек он может начинать исполнение композиции. Во время игры MIDI-клавиатура создает сообщения об условных номерах нот и о скорости нажатия клавиш, которые передаются по выбранному каналу в звуковой модуль. А он, в свою очередь, изменяет высоту и громкость выбранного звука, согласно полученным MIDI-сообщениям. Результат этой работы мы с вами слышим из акустических систем.

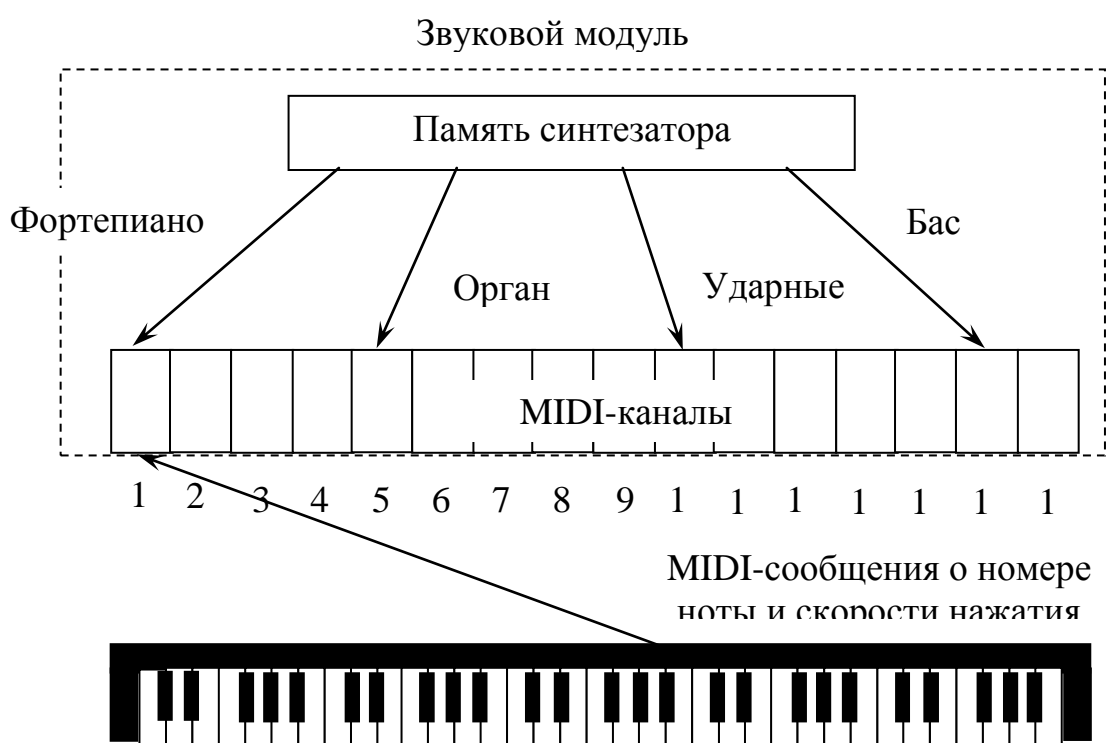


Рис. 18.9. Функциональная схема Sample Playback-синтезатора

Теперь давайте разберемся со связкой синтезатор-секвенсор.

Рис. 18.10 изображает схему работы синтезатора, соединенного с компьютерным секвенсором. И у синтезатора, и у компьютера, в котором установлена звуковая плата или плата MIDI-интерфейса, есть MIDI-входы и выходы. Они соединяются между собой специальными шнурами с пятиштырьковыми разъемами. По этим шнурам передаются MIDI-сообщения, рассортированные по 16-ти независимым каналам. Это не означает, что в шнурах используются целых 16 жил. Они обычные – трехжильные (по двум идет сигнал, а один используется для заземления), просто перед передачей сообщений по физическим проводам, вся информация кодируется особым образом, а при приеме происходит

обратный процесс – декодирование.

Итак, музыкант исполняет на клавиатуре какое-то произведение. MIDI-сообщения поступают в звуковой модуль, например, по первому каналу, и мы слышим этот звук. Но эти сообщения поступают по тому же первому каналу и на MIDI-выход синтезатора, а дальше – в секвенсор. А в секвенсоре есть такие же дорожки, как и в многоканальных магнитофонах, только они располагаются не на магнитной ленте, а в оперативной памяти секвенсора (или компьютера, если секвенсор – это программа). Каждая дорожка должна соответствовать одному из MIDI-каналов. При записи на нее фиксируются все MIDI-сообщения, которые приходят через вход секвенсора по выбранному каналу. А при воспроизведении с нее начинают считываться все записанные данные и передаваться по тому же самому каналу, только уже через выход.

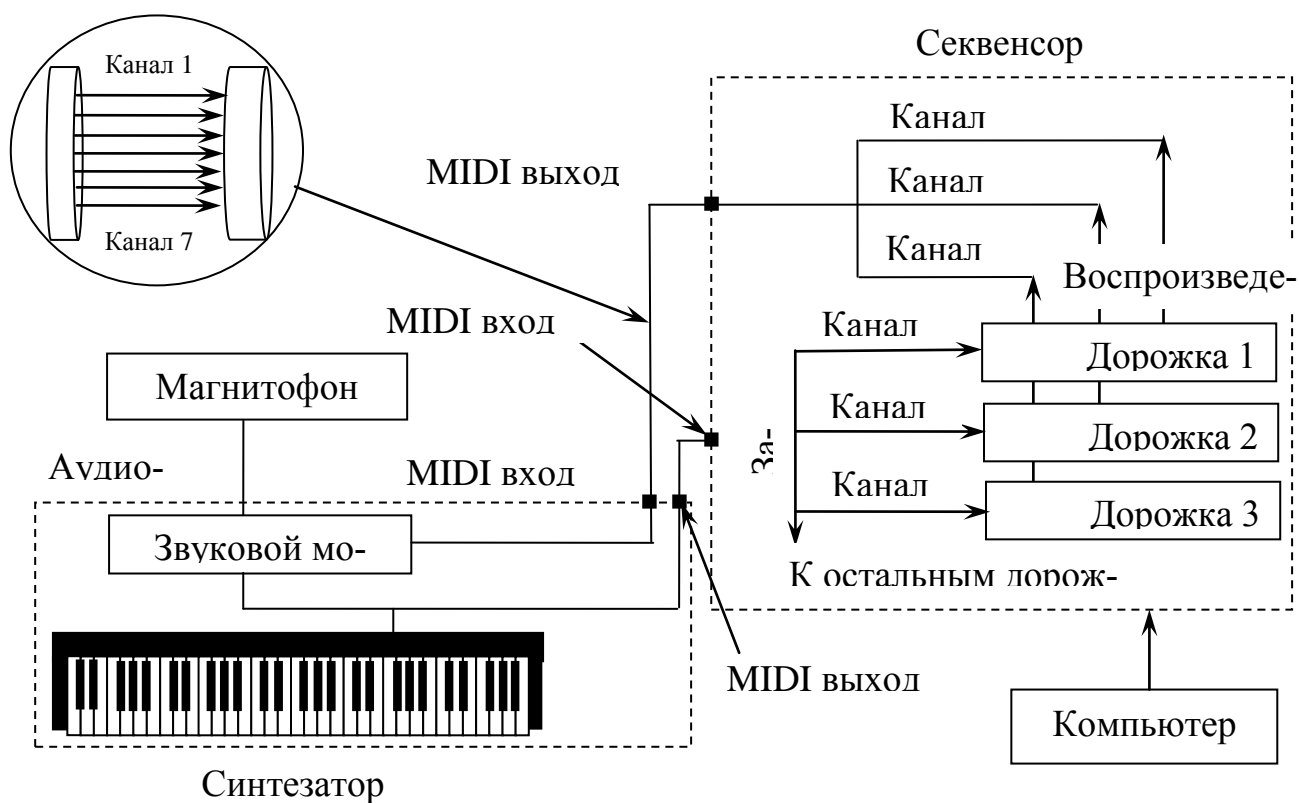


Рис. 18.10. Схема взаимодействия синтезатора и секвенсора

На нашем рисунке для упрощения схемы не показано, что синтезатор передает MIDI-сообщения по нескольким каналам. Но если музыкант переключается на второй канал и начинает играть на другом инструменте, то на MIDI-выход начинают поступать сообщения именно по второму каналу, и если в секвенсоре вторая дорожка включена на запись данных с этого же канала, то все, что играется на клавиатуре, будет записано.

В целом, процедура работы с секвенсором будет выглядеть следующим образом. Музыкант на синтезаторе присваивает первому каналу звук фортепиано-



но, а в секвенсоре включает запись первой дорожки, которая предварительно тоже настраивается на первый канал. После этой операции он играет на клавиатуре партию фортепиано будущей композиции, которая записывается на первую дорожку. По окончании записи в секвенсоре включается воспроизведение, и записанные MIDI-сообщения передаются по первому каналу на его MIDI-выход, а оттуда – на MIDI-вход синтезатора. С входа они попадают в звуковой модуль, который и воспроизводит запись звука фортепиано.

После записи первой дорожки музыкант включает в секвенсоре запись другой дорожки, присвоив ей другой MIDI-канал. На синтезаторе он выбирает, например, звук баса и тоже присваивает его этому каналу. Теперь он снимает секвенсор с паузы и слышит партию фортепиано – ведь каналы совершенно независимы друг от друга. Под фортепиано он играет партию баса, которая записывается в секвенсор на другую дорожку. Теперь, если он запустит воспроизведение, то услышит и фортепиано, и бас вместе. Точно таким же образом записываются партии всех остальных инструментов.

Если же вы подключите к MIDI-выходу секвенсора любое студийное устройство (например, процессор эффектов) и запишите на одну из дорожек специальные сообщения, которые это устройство «понимает», то в выбранный момент композиции оно выполнит нужные вам действия. Кстати, очень многие синтезаторы, в том числе и установленные на звуковые карты, имеют собственные процессоры эффектов, управление которыми можно осуществлять при помощи секвенсора. В нужный момент композиции процессор получит от секвенсора MIDI-сообщение и включит соответствующий эффект.

### 18.2.3. MIDI-сообщения и события

Итак, MIDI-сообщения – это управляющие сигналы, которые передаются по MIDI-интерфейсу. Например, при нажатии клавиши на динамической MIDI-клавиатуре производятся три сообщения, которые описывают исполнение ноты: Pitch (высота ноты), Velocity (скорость нажатия клавиши) и Duration (длительность). Эти сообщения могут передаваться по одному из каналов в звуковой модуль, а могут направляться и в секвенсор, который запишет их в определенное место композиции. Такая группа сообщений, привязанная к одному из моментов времени композиции и каналу, называется Event (Событие). То есть каждая нота композиции, записанная секвенсором, – это событие.

Надо четко понимать разницу между сообщением и событием. Устройства в MIDI-системе обмениваются сообщениями, но как только эти сообщения записываются в секвенсор, они получают два дополнительных параметра – время воспроизведения и номер канала – и становятся событиями.

Второй по важности после MIDI-нот вид сообщений – это Controllers (контроллеры). Они управляют различными параметрами синтезаторов типа громкости или панорамы выбранного канала. Кстати, не путайте эти MIDI-

сообщения и ручки управления автономным синтезатором, которые тоже иногда называются контроллерами.

Стандарт MIDI предусматривает наличие 128 контроллеров, каждый из которых может принимать значения от 0 до 127. Но реально из них используется не более 20. Самые главные из них – это Volume (громкость), Pan (панорама) и Modulation (модуляция). Они управляют параметрами воспроизведения нот по каждому из каналов. Таким образом, записав в секвенсор на первый канал контроллер Volume, имеющий значение 127, а на второй – значение 64, вы получите разницу в громкости этих каналов в два раза.

И, наконец, третий важный тип MIDI сообщений – это SysEx, или «системные эксклюзивные сообщения». Как и контроллеры, они предназначены для управления различными параметрами синтезаторов, или другого студийного оборудования. Однако SysEx «персонализированы», т.е. они работают только в пределах одного конкретного устройства. Их существование необходимо из-за того, что 127 контроллеров просто не хватает для управления всеми параметрами современных синтезаторов. Поэтому чаще всего контроллеры используются в стандартных ситуациях (отрегулировать громкость и панораму в канале, установить уровень того или иного эффекта, изменить частоту среза и резонанс фильтра и т. д.). А вот для управления процессорами эффектов, «глубинными» параметрами синтеза или операциями по обслуживанию инструмента (например, «сбрасывание» отредактированных звуков в компьютер) применяются SysEx.

#### 18.2.4. MIDI-синхронизация

В студиях очень часто бывает необходимо обеспечить синхронную работу двух или нескольких устройств: секвенсора и многоканального магнитофона; двух магнитофонов одновременно и т. д. Раньше, в эпоху аналоговых магнитофонов, чаще всего использовалась синхронизация SMPTE, однако сейчас большинство студийных устройств синхронизируются по MIDI.

Делается это так. Например, у вас есть секвенсор и многоканальный магнитофон. Любой секвенсор должен равномерно «проматывать» виртуальную ленту (по аналогии с магнитофоном), на которую записываются MIDI-сообщения. Для этого во всех секвенсорах есть генератор временного кода, который производит MIDI-сообщение под названием MIDI Clock. При помощи этого временного кода и осуществляется точное управление «лентопротяжным механизмом» секвенсора, а также синхронизация с внешними устройствами. Группа MIDI-сообщений, которые используются для синхронизации, называется MIDI Time Code (MTC).

Во многих современных цифровых магнитофонах есть точно такой же генератор временного кода, который используется для точного управления механикой. Если синхронизировать генератор секвенсора и генератор магнитофона,

то скорость воспроизведения MIDI-сообщений будет точно соответствовать скорости движения ленты.

А для того чтобы магнитофон включался одновременно с секвенсором и вместе с ним выполнял все остальные действия (перемотка, остановка, запись), используют целую группу MIDI-сообщений, которые называются MIDI Machine Control (MMC). В секвенсорах, которые поддерживают MMC, нажатие любой кнопки управления производит соответствующее MIDI-сообщение, которое немедленно передается в магнитофон, которому остается только выполнить команду.

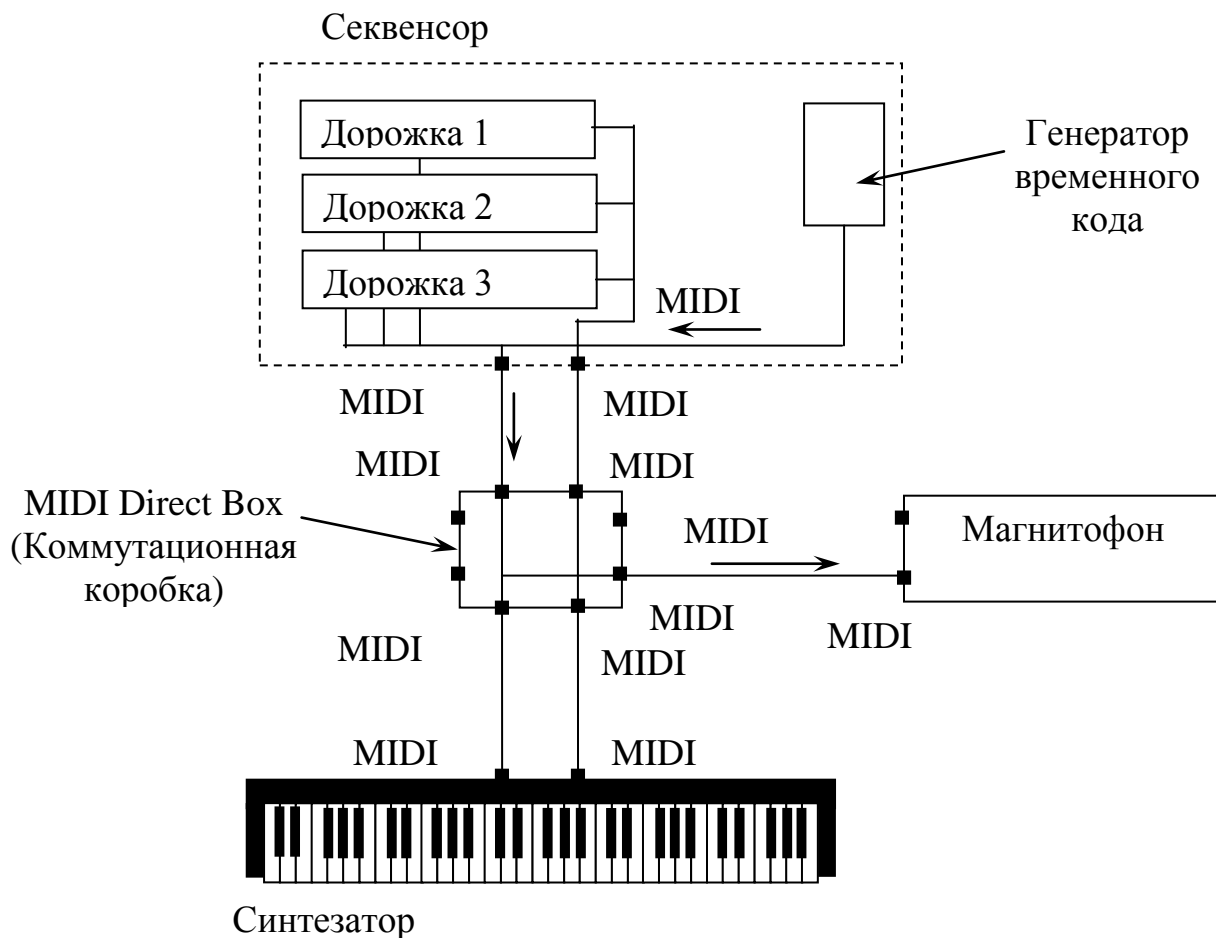


Рис. 18.11. К вопросу о MIDI-синхронизации

### 18.2.5. Организация памяти и форматы банков синтезаторов

В постоянной памяти синтезаторов Sample Playback записаны сэмплы – образцы звучания различных музыкальных инструментов. MIDI-сообщения вызывают из памяти тот или иной сэмпл, и синтезатор воспроизводит нужный звук. Но в памяти сэмплы не просто «свалены кучей», а организованы в определенные иерархические структуры. И чтобы нормально работать с любыми синтезаторами и сэмплерами, в том числе и мультимедийными, надо разобрать-

ся со способами хранения сэмплов и соответствующими стандартами.

Для обозначения совокупности сэмплов и управляющей информации синтезатора обычно используется уже упомянутый нами термин «патч» (некоторые производители используют другую терминологию).

Патчи составляются в более высокие структуры, которые называются программами или инструментами (рис. 18.12). При этом каждый патч может занимать только часть звукового диапазона, а может и пересекаться с другими, при этом звуки разных патчей накладываются друг на друга. Если вы, например, хотите поиграть на синтезаторе звуком фортепиано, то вы вызываете из памяти именно программу, состоящую из нескольких патчей. При нажатии любой клавиши MIDI-клавиатуры в синтезаторе происходит не просто воспроизведение соответствующего сэмпла с нужной высотой, а более сложный процесс, который включает исполнение еще ряда команд.

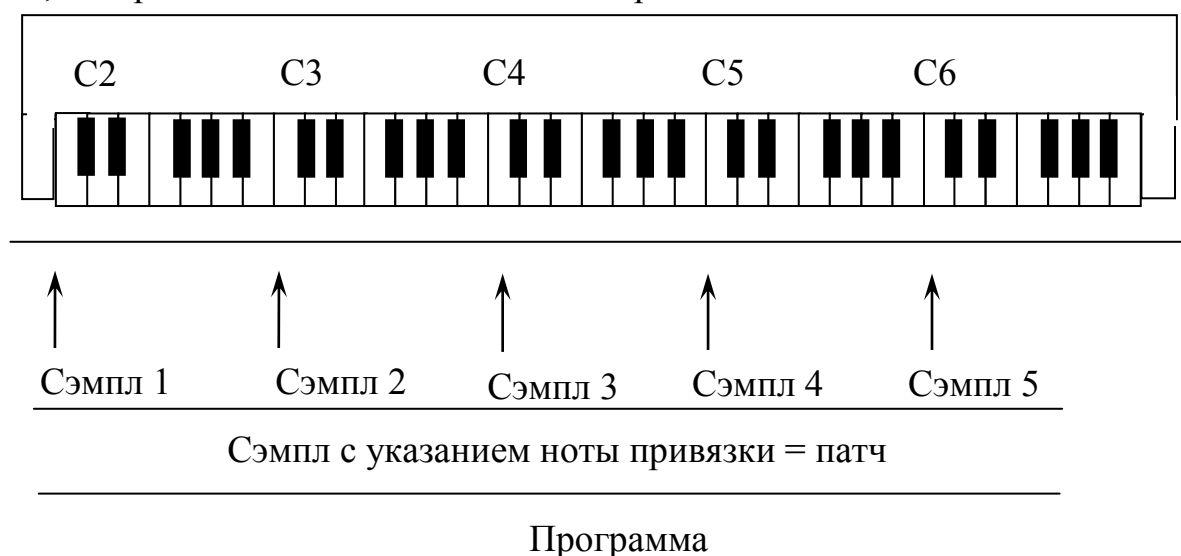


Рис. 18.12. Связь сэмплов и патчей

Программы или инструменты синтезатора объединяются в банки. В одном синтезаторе может быть как один, так и несколько банков. Количество программ в банке никогда не превышает 128 (так просто сложилось исторически, не ищите в этом числе скрытый смысл), а количество самих банков зависит от стандарта, который поддерживает синтезатор или звуковая карта.

Если вы видели автономные sample playback синтезаторы, то наверняка обращали внимание, что на них почти всегда есть надписи типа General MIDI или аббревиатуры GS или XG. Эти обозначения часто пишутся и в спецификациях звуковых карт. Они указывают, какому стандарту соответствует синтезатор.

Аббревиатура GM или надпись General MIDI означает, что в памяти синтезатора находится как минимум один банк (может быть и больше), из 128 программ плюс один банк ударных инструментов, состоящий из 44 патчей барабанов различного звучания, причем каждой MIDI-ноте присвоен свой барабан

(банков ударных и патчей в этих банках может быть и больше). Все программы (как основные, так и патчи ударных) имеют раз и навсегда установленный номер, под которым их можно разыскать в памяти. Это означает, что в GM-совместимых синтезаторах программа, имитирующая рояль, всегда скрывается под номером 1, а под номером 53 – имитатор хора. Такой стандарт введен для того, чтобы с предсказуемым результатом воспроизводить музыку, записанную в любом секвенсоре при помощи разных синтезаторов. Есть и специальный формат файла, который называется «стандартным MIDI-файлом» и обеспечивает воспроизведение музыки на любом синтезаторе или звуковой карте.

GM-синтезатор имеет как минимум 16 MIDI-каналов. Каждый из каналов может быть использован для записи или воспроизведения одной программы или одной ударной установки. Обычно в спецификациях звуковых карт или автономных синтезаторов на этот счет пишется так: «Синтезатор имеет 16-частную мультитембральность».

У любых синтезаторов есть еще одно ограничение – вы не можете одновременно воспроизвести больше определенного количества нот, причем неважно, одним инструментом играют эти ноты или несколькими. Это количество называется полифонией, и для стандарта GM оно определено минимум в 24 ноты (может быть и 28, и 32 – GM это не запрещает). Это означает, что если вы задумали сыграть на клавиатуре аккорд из 25 нот, позвав для этого своих друзей, то у вас ничего не получится. Девять нот из взятого аккорда звучать не будут. Девять – это из-за того, что 8 нот резервируются под барабаны и лишь 16 остаются на все остальные программы. В спецификациях некоторых синтезаторов для описания полифонии может применяться и следующая формулировка: «Синтезатор имеет 24 голоса».

Существует очень распространенное заблуждение, будто все GM-синтезаторы звучат одинаково – ведь инструменты у них одни и те же. Это совершенно неверно. Рояль из GM-совместимой карты Cuncun FX производства Turtle Beach звучит совершенно не так как рояль с GM-совместимого синтезатора Korg. Конечно, оба они – рояли, но вот тембр у этих роялей совершенно разный. Стандарт General MIDI описывает только общий характер инструмента, который должен храниться в памяти под тем или иным номером. Но конкретное качество сэмплов, «раскладка» колец по клавиатуре и многие другие параметры программы остаются на совести производителя.

И еще одно важное замечание. Очень многие производители синтезаторов указывают в спецификациях своих изделий, что они совместимы со стандартом General MIDI. Но при этом реальное количество программ и банков оказывается гораздо больше, чем предусматривает стандарт. В данном случае понятие совместимости означает, что в синтезаторе обязательно есть General MIDI-банк и стандартные MIDI-файлы будут проигрываться без проблем. Остальные банки организованы особым образом и композиции, записанные с их использованием, будут корректно воспроизводиться только на тех же самых

устройствах.

**Теперь об аббревиатурах GS и XG.** Стандарт GS введен японской фирмой Roland. Первоначально этот стандарт назывался GSS и расшифровывался как General Synthesizer System. Позже от трех букв остались только две, и они расшифровываются чаще всего как General Synthesizer – Основной синтезатор. GS – это расширение стандарта GM в сторону увеличения количества банков, а соответственно, и количества инструментов, хранящихся в памяти. Причем GS-устройства полностью совместимы с GM, т.е. стандартные MIDI-файлы всегда проигрываются без проблем. Нарращивание количества программ происходит в виде добавления вариаций основного банка. Это означает, что в GS-синтезаторе по-прежнему будет инструмент номер 90 из набора GM под названием Warm pad, но у него будет пара вариаций 90/1 и 90/2, которые могут быть и совершенно не похожи на основной звук и будут размещены в других банках. При воспроизведении стандартного MIDI-файла банки с вариациями не будут доступны, если в файл не записать специальные MIDI-сообщения. Обычно GS синтезаторы имеют в постоянной памяти 200...400 программ и 6...9 ударных установок (хотя их может быть и больше).

Есть еще одно важное отличие GS от GM – это обязательное присутствие в синтезаторах, поддерживающих Roland'овский стандарт, отдельного процессора эффектов, который может обрабатывать инструменты двумя эффектами одновременно. Обычно это реверберация и хорус. Уровень эффекта регулируется индивидуально у каждого инструмента, но эффекты – общие для всех 16 MIDI-каналов. То есть, если вы обрабатываете на первом канале фортепиано холл-реверберацией, то на всех остальных каналах нельзя установить другой тип эффекта. Можно только поменять уровень «холла».

XG – это стандарт фирмы Yamaha, который представляет собой дальнейшее расширение GM и GS в сторону увеличения количества банков и инструментов в памяти и количества эффектов. Расшифровывается эта аббревиатура как eXtended General MIDI – Расширенный General MIDI, и он тоже полностью совместим с GM. Таблица звуков организована точно так же, как и в стандарте GS, т.е. увеличение количества программ происходит при помощи увеличения количества банков с вариациями. Обычно в памяти XG-синтезаторов находится более 400 инструментов. Одновременно можно использовать три эффекта из имеющихся 64, причем 2 могут работать как в GS, сразу со всеми воспроизводимыми инструментами на 16 MIDI-каналах, а еще один можно присваивать любой из программ индивидуально. Выбор последнего эффекта очень богат – как минимум 42 возможных варианта. Кроме этого, в соответствии со спецификацией XG, любым из эффектов можно обрабатывать и внешние источники звука, подключенные к линейному входу. И GS и XG имеют не менее 32 голосов полифонии (чаще – 64) и 16-частную мультитембральность.

## ГЛАВА 19. СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗВУКА

### 19.1. Исторический экскурс

На заре кинематографа зритель мог наблюдать только картинку с беззвучно двигающимися автомобилями, поездами, повозками, снующими по улицам людьми. Весь художественный замысел режиссера передавался лишь через движения и мимику актеров – это была эпоха немого кино. В 20-е годы прошлого века кино стало звуковым. История началась в 1928, когда в кинотеатрах появился фильм «Jazz Singer». «Певец джаза» – первый фильм, в котором звук воспроизводится одновременно с изображением.

Звук самым кардинальным образом изменил подход к процессу производства фильма – интонации героев во время разговоров, нежный шепот влюбленных, жаркие споры, звук автомобильной погони, перестрелки, музыкальное сопровождение, подчеркивающее самые яркие и драматичные моменты, звон бокалов – весь этот богатый мир звуков стал словно новым измерением. Теперь режиссер получил гораздо больше возможностей для того, чтобы донести свои задумки до зрителя, который, в свою очередь, мог полнее воспринимать происходящее на экране – «визуальные» впечатления дополнились «звуковыми».

На ранних этапах развития аудиотехники звук был монофоническим, то есть исходил из одной точки, но это никого не смущало, поскольку сам факт воспроизведения речи и музыки считался крупным техническим достижением. Довольно скоро после этого, в 1941, публика увидела первый фильм с объемным звучанием: «Фантазию» Уолта Диснея. Звук к «Фантазии» был записан на четырех отдельных каналах. Чтобы их воспроизвести, кинотеатр должен был обладать, кроме прочего, специальным проектором и некоторым количеством добавочных громкоговорителей. Этой технике, на скорую руку окрещенной «Фантасаунд», не была уготована долгая жизнь по двум причинам. Во-первых, затраты кинотеатров на оборудование для проигрывания «фантасаунда» оказались слишком высоки, а во-вторых, уникальная аппаратура, использовавшаяся для записи таких саундтреков, оказалась на дне Атлантического океана в результате нападения немецкой подводной лодки.

В середине 50-х в кинотеатрах были запущены первые удачные форматы, такие как **Cinema Scope** (35 мм, 4 дорожки) и **Todd-AO** (70 мм, 6 дорожек). Они записывались на магнитную ленту, которая приклеивалась к киноленте. Проектор снабжался магнитными головками для воспроизведения аудиозаписи, а кинотеатры дополнительно оснащались усилителями и динамиками. В большинстве своем звуковые каналы были фронтальными, но как минимум один из них отвечал за звук сзади. Качество звучания этих систем было довольно скверным, звук сопровождался чудовищным скрежетом, поэтому тыловой канал часто вообще не использовали. Если он и работал, то только для воспроизведения коротких драматических спецэффектов. Позже системы воспроизведения улучшились, и звукотехники смогли чаще использовать задние каналы, не расплачиваясь за это передозировкой шумов. Таким образом, тыловые каналы бы-

ли «реабилитированы» и стали широко использоваться, погружая публику в «обволакивающее» звуковое поле.

Конструкции фонографов, граммофонов и патефонов сейчас интересуют только историков техники, поэтому мы о них говорить не будем, а перепрыгнем сразу в 1957 год, когда британской компанией Decca Records была разработана первая в мире стереофоническая грампластинка. Тут надо сказать, что общепринятый сейчас термин «стереозвук», характеризующий двухканальную запись, возник по недоразумению или из-за слабого знания разработчиками греческого языка. Дело в том, что слово «stereos» означает «пространственный», то есть применительно к звуку – многоканальный, а не только двухканальный, но в технике некорректные термины встречаются так часто, что проще пользоваться привычными, чем придумывать новые.

Разработчики механических систем пытались записывать на один носитель две звуковые дорожки еще с начала XX века, но либо устройства получались сложными и громоздкими, либо мешали причины коммерческого характера, а возможно, стереозвук просто не был востребован.

Официальной датой рождения стереофонического радиовещания считается 1 июня 1961 года, в 1963 году фирма Philips выпустила на рынок первую компакт-кассету, а в 1969-м Рэй Долби создал систему подавления шумов магнитной ленты, и процесс, как говорится, пошел.

Стереофонические системы очень быстро завоевали симпатии специалистов и потребителей, поскольку двухканальный звук давал явные и ощутимые преимущества: с ним стало возможно воспроизводить не просто плоский «отпечаток», а отображать картину звукового пространства, что особенно важно, например, для симфонической музыки. Слушатель стал как бы ощущать перед собой настоящий оркестр и слышать каждый музыкальный инструмент с того места, где он реально находился в оркестре при записи. Кроме того, стереозапись позволила сглаживать недостатки самой фонограммы и техники, поскольку качественный звук в одном канале словно замазывал огрехи в другом.

Воодушевленные успехами стереофонии, инженеры немедленно взялись за создание звуковоспроизводящей аппаратуры с большим числом каналов, так как надеялись на еще более значительное повышение естественности и качества звука.

Не тут-то было. Многочисленные эксперименты с четырехканальной (квадрафонической) аудиоаппаратурой, проводимые в 70-е годы прошлого века, закончились впечатляющим провалом. Попытки использовать в бытовой аудиотехнике решения, найденные для многоканального звука в кино, оказались неудачными. И дело здесь даже не в технической реализации квадрофонии, будь то полная, псевдо- или квазиквадрофония, отличающиеся друг от друга числом каналов записи и воспроизведения, и не в высокой стоимости аппаратуры, хотя и это сыграло свою роль.

Ошибочной оказалась философия звукорежиссеров, в соответствии с которой аудиопрограммы записывались так, что слушатель оказывался сидящим как бы в центре оркестра. В результате музыка окружала человека со всех сто-



рон, и он, как летчик-истребитель, вынужден был постоянно вертеть головой, непроизвольно поворачиваясь на очередной громкий звук.

То, что хорошо подходило для кинозала, какого-нибудь аттракциона в Диснейленде или для дискотеки, не годилось для прослушивания хорошей музыки или для просмотра видео.

И идея тихо, без мучений, скончалась, а квадрофонические аудиомонстры покрывались пылью в дальних углах магазинов радиотоваров.

По-настоящему успешные многоканальные аудиосистемы появились на рынке только тогда, когда звукорежиссеры поняли, в чем проблема. Микрофоны для записи музыки стали размещать на сцене, а тыловые микрофоны, предназначенные для воссоздания реальной звуковой картины, – позади слушателей, причем эти микрофоны должны были записывать не «прямой» звук со сцены, а его отражения от тыльной и боковой стен зала.

В 1976 году в лаборатории Долби был разработан принцип пространственного звучания для кинематографа, который впоследствии стал известен как Dolby Stereo. Это была четырехканальная система, состоявшая из трех фронтальных звуковых каналов и одного тылового, получившего название канала «окружения». Он был монофоническим, но воспроизводился двумя акустическими системами, расположенными в углах задней стены комнаты.

Система была матричной, то есть при записи сигналы четырех каналов с помощью особых матриц преобразовывались в два, а при воспроизведении происходило их восстановление. Процесс внедрения Dolby Stereo шел ни шатко ни валко, но помощь пришла, как говорится, откуда не ждали – Джордж Лукас снял свои первые «Звездные войны», и вот здесь-то система пространственного звучания себя показала! Хозяева кинотеатров чуть ли не дрались за комплекты нового оборудования. Идея оказалась настолько удачной, что благополучно дожила до наших дней и все еще используется в кино.

Подлинный расцвет систем пространственного звучания приходится на 80-е годы прошлого века, когда начала стремительно развиваться цифровая микроэлектроника и в воздухе замаячила идея домашнего кинотеатра. В самом деле, кто откажется наслаждаться качественным изображением и звуком не в кинотеатре, где соседи хрустят попкорном, булькают пивом и хихикают, а дома? Правильно, никто. Рынок сказал свое веское слово, и инженеры взялись за работу.

Первую цифровую многоканальную аудиосистему создали опять-таки в лаборатории Рэя Долби и опять-таки для кино. Она получила не особенно оригинальное название Dolby Digital и включала в себя пять независимых широкополосных цифровых аудиоканалов: три фронтальных (левый, центральный и правый) и два тыловых (левый и правый). Шестой, низкочастотный, был предназначен для воспроизведения спецэффектов. Сигналы всех каналов оцифровывались и по специально разработанному алгоритму AC-3 (Audio Coding-3) кодировались в единый цифровой поток. Премьера системы состоялась одновременно с премьерой кинофильма «Возвращение Бэтмена».

В 1993 году фирма DTS (Digital Theatre Systems) на премьере фильма «Парк Юрского периода» продемонстрировала собственный цифровой формат пространственного звучания. В настоящее время обе эти системы стандартизованы и используются в телевидении высокой четкости, спутниковом вещании и в домашних кинотеатрах.

Рассмотрим эти системы более подробно.

## 19.2. Системы Dolby

### 19.2.1. Система Dolby Stereo

Настоящую революцию в области многоканального звучания совершил английский инженер Рей Долби (Ray Dolby) – основатель одноименной компании. Он занимался шумоподавлением для аудиосистем. Без его разработок, к слову, развитие многоканальных систем не представлялось бы возможным: шумы из-за смешения сигналов соседних звуковых дорожек были бы невыносимыми.

В 1975 году компания Dolby представила формат **Dolby Stereo**. Применялась так называемая матричная система кодирования – в пространстве, выделенном для обычной оптической звуковой монодорожки, размещались две дорожки, которые несли информацию не только о левом и правом каналах, но и о центральном канале, и четвертом тыловом канале для объемного звука и спецэффектов (surround канал), создающем эффект «погруженности».

Этот формат не только позволил воспроизводить стереозвук с оптической дорожки кинофильма, но и значительно улучшил качество звучания звуковых дорожек кинофильма. Различные методы обработки, применяемые к оптической фонограмме во время записи и воспроизведения звука, позволили значительно улучшить «достоверность» звучания. Основными методами обработки среди них было шумопонижение Dolby, предназначенное снизить шипения и искажения, связанные с оптическими преобразованиями звука, а также эквализация громкоговорителей, для приведения звуковой системы кинотеатра к стандартной кривой звуковоспроизведения.

В результате, в кинотеатре, где установлен Dolby-кинопроцессор, кинокопии с оптическим Dolby Stereo звуком воспроизводились с более широким диапазоном частоты и намного меньшими искажениями, чем кинокопии с обычной звуковой дорожкой. Фактически, Dolby ввела новый формат воспроизведения оптических фонограмм как всемирный стандарт воспроизведения кинокопий со стереозвуком.

Важное преимущество оптического формата Dolby состояло в том, что фонограмма кинофильма печаталась одновременно с изображением, точно так же как монокопии. Таким образом, стоимость печати кинокопии с четырьмя каналами была не больше, чем стоимость печати кинокопии с монозвучием, и гораздо меньше, чем печать копий с магнитным звуком. Кроме того, модернизация кинотеатра для воспроизведения стереозвука была относительно недоро-

гой и не требовала каких-либо затрат на эксплуатацию в дальнейшем. В результате, кинотеатр получил тот же результат с Dolby Stereo фонограммой, что и с четырехканальным магнитным звуком на 35-мм киноплёнке (который очень скоро стал устаревшим), только с более высокой надёжностью и с гораздо меньшими затратами.

Теперь зритель мог не только наблюдать динамику происходящего на экране, но и отлично воспринимать на слух движения персонажей и объектов. Например, звук шагов героя, бредущего по дороге, послушно следовал за хозяином из одного конца экрана в другой. Популярность пришла к новому формату в 1977 г., когда на экраны вышли два популярных фильма: «Звездные войны» и «Близкие контакты третьего рода». Маркетинговые исследования показали, что кинопрокатчики выбирали для показов кинотеатры, оборудованные системой Dolby Stereo, обходя, при этом, стороной кинотеатры с монозвуком. Системой Dolby Stereo было оборудовано около 40 тысяч кинотеатров.

### 19.2.2. Системы Dolby Surround и Dolby Surround Pro Logic

В компании Dolby верно оценили перспективы многоканального звука для домашних пользователей, в 1982 был представлен формат **Dolby Surround**. Он позволил в домашних системах при просмотре фильмов со звуком в формате Dolby Stereo декодировать тыловой канал, получая, тем самым, трехканальный звук. Этого, в принципе, было достаточно – отсутствие реального центрального канала компенсировалось «фантомным» центральным каналом который создавался левым и правым громкоговорителями. Ситуация изменилась после того, как стали распространяться телевизоры с большой диагональю экрана (27-32 дюйма). «Фантомный» канал уже не мог полноценно заменить реальный центральный канал, поэтому в 1987 г. был представлен формат **Dolby Surround Pro Logic**, который позволил декодировать в домашних системах все четыре канала. Теперь зритель, сидя дома в уютном кресле, мог в полной мере насладиться возможностями технологии Dolby Stereo.

### 19.2.3. Стандарт THX

При обсуждении многоканального объемного звука встречается иногда упоминание о **Lucas Film THX**, однако необходимо понимать, что это не формат кодирования, а принцип стандартизации и сертификации аппаратуры (декодеров, усилителей, акустических систем) для воспроизведения многоканального объемного звука. Это означает, что если фильм произведен в соответствии со стандартом THX, то, когда фильм будет показан в кинотеатрах, сертифицированных THX, музыка из фильма будет звучать так, как это было задумано режиссером.

Интересна и история его появления. Когда Джордж Лукас снял фильм «Возвращение Джедая» из первой трилогии «Звездных войн», был проведен тестовый показ фильма в кинотеатре. Результат не удовлетворил режиссёра, так

как все задумки по использованию звуковых эффектов оборудование того времени не могло воспроизвести физически. Тогда и была создана компания THX, названная в честь первого фильма Лукаса «THX 1138». Перед разработчиками была поставлена задача – выработать строгие правила для кинотеатров, чтобы звуковая дорожка при воспроизведении не отличалась от той, которую слышит звукорежиссер, при этом качество должно быть максимальным.

Таким образом, THX – это дополнение к уже существующим форматам многоканального звука Dolby. По всему миру была развернута программа сертификации кинотеатров. Логотип «THX» присваивался только тем кинотеатрам, которые имели самую высококачественную аппаратуру для воспроизведения звука, позволявшую выполнять требования THX.

Система не зависит от источника звукового сигнала. Источником сигнала может быть любая многоканальная запись. Дальнейшая обработка в тракте воспроизведения выполняется таким образом, чтобы обеспечить максимальное качество звучания. Сигнал дополнительно обрабатывается процессором THX, при этом в первую очередь корректируются частотные характеристики. В кинотеатре сигнал нуждается в дополнительных коррективах, связанных со специфическими условиями эксплуатации, таких как, например, частичное приглушение сигнала полотном экрана, закрывающим акустические системы.

Окраска звучания в тыловых каналах также определенным образом корректируется – в схему матричного декодирования тылового сигнала введен адаптивный декоррелятор. Декорреляция превращает моносигнал Dolby Surround в псевдостереофонический, что позволяет лучше распределить сигналы в пространстве. Помимо этого, выделили дополнительную басовую составляющую – сигнал для сабвуфера. Для более комфортного звучания введена система реэквализации сигнала, смягчающая высокие частоты, и выполнена более точная обработка сигнала в голосовом диапазоне.

Система позволяет обеспечить воспроизведение расширенного частотного и динамического диапазонов. Для того чтобы зрители получали полноценную информацию о перемещении объектов, акустические системы фронтального и центрального каналов должны работать синхронно и иметь специальную диаграмму направленности – максимально широкую в горизонтальной плоскости и более узкую в вертикальной.

#### 19.2.4. Система Dolby Digital

В конце 1980-х, на волне возобновившегося интереса к кино, Dolby Laboratories разработала цифровую технологию записи и воспроизведения многоканального звука для 35мм пленки.

**Dolby Digital.** В системе Dolby Digital несколько аналоговых сигналов звука преобразовываются в цифровой поток, который затем подвергается информационному сжатию по алгоритму Dolby AC-3. Так как к этому времени большинство существующих проекторов использовали двухканальный стереозвук или аналоговую систему Dolby Pro Logic, то две аналоговых оптических

дорожки на ленте необходимо было сохранить. Цифровая информация была размещена на «нерабочей» части пленки – между окошками перфорации. Система использовала шесть каналов звука и получила наименование **Dolby Digital 5.1**.

Эта система предполагает пять полноценных (с точки зрения частотного диапазона) каналов звука: левый, правый, центральный, пространственный правый (Right Surround, RS), пространственный левый (Left Surround, LS), плюс шестой канал с ограниченной полосой частот. Этот канал получил название канала низкочастотных звуковых эффектов (Low Frequency Effects, LFE). Для канала LFE требовалась полоса частот примерно в 10 раз меньшая, чем для пяти основных каналов. Отсюда обозначение, соответствующее шестому каналу «.1» (одна десятая). Первое коммерческое использование систем Dolby Digital состоялось в кинотеатрах в 1992 году, и на сегодняшний день этот формат звука используется не только в кино, но и в цифровом вещательном телевидении (спутниковом и кабельном), в DVD и множестве мультимедийных приложений.

Появление Dolby Digital практически уравнило возможности кинозала и «домашнего кинотеатра». Как и в настоящем кинотеатре, в домашнем кинотеатре с Dolby Digital реализуются шесть каналов – L, C, R, LS, RS и LFE. Если в аналоговой системе Dolby Surround использовался только один канал Surround с ограниченной полосой частот (как правило, для его воспроизведения используются две акустических системы, синфазно излучающие один и тот же сигнал), то Dolby Digital предоставляет пользователю два отдельных канала Surround с такой же полосой частот, как у трех фронтальных каналов. Благодаря такому набору, системы с Dolby Digital создают наиболее реалистичные ощущения и позволяют использовать сложные пространственные эффекты.

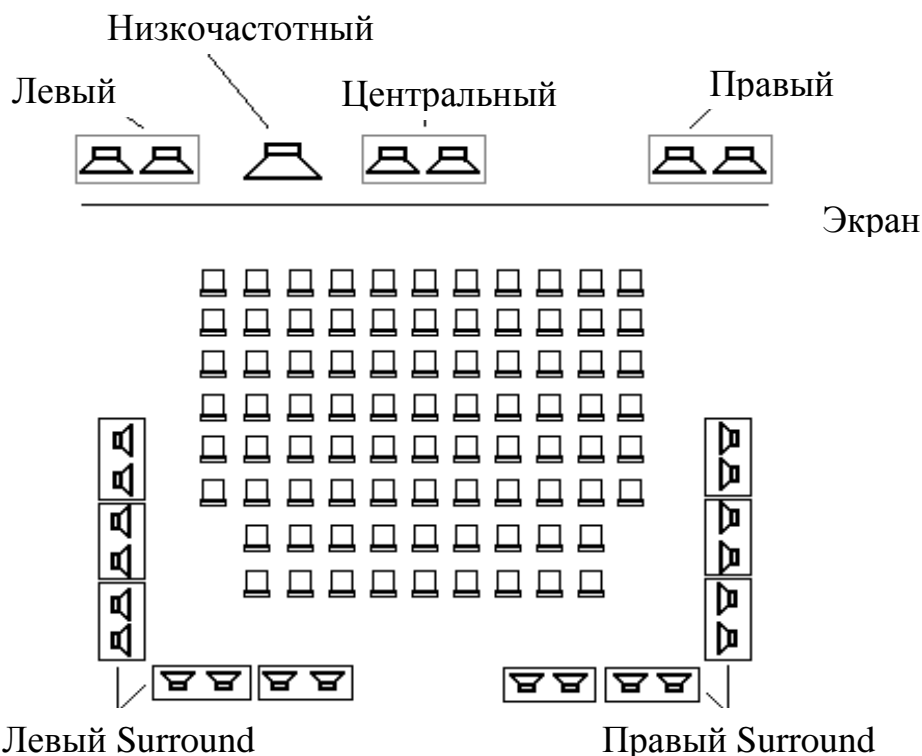


Рис. 19.1. Схема расположения громкоговорителей при использовании технологии Dolby Digital

В декодерах высшего уровня (рис. 19.2) возможности Dolby Digital реализованы полностью – на выходе декодера шесть звуковых каналов по схеме «5» или «5.1» – L, C, R, LS, RS (LFE – если имеется Subwoofer). Декодеры уровнем ниже формируют из цифрового потока Dolby AC-3 два аналоговых канала в Dolby Pro Logic – Lt и Rt, из которых декодер Pro Logic затем выделяет четыре канала Dolby Surround – L, C, R, S. Более простые декодеры имеют на выходе традиционный двухканальный стерео – R и L. Наконец, самый простой декодер предназначен для монофонической аппаратуры – на выходе единственный канал звука. Разумеется, декодеры высших уровней могут работать в режимах, соответствующих более простым декодерам. С одной стороны, это позволяет потребителю выбрать оптимальную по стоимости аппаратуру, соответствующую его возможностям и потребностям. С другой стороны, пользователь, купив аппаратуру со сложным декодером, может постепенно наращивать возможности своего аудио- видеоконплекса – от монофонического звука до «домашнего кинотеатра», то есть до 5.1.

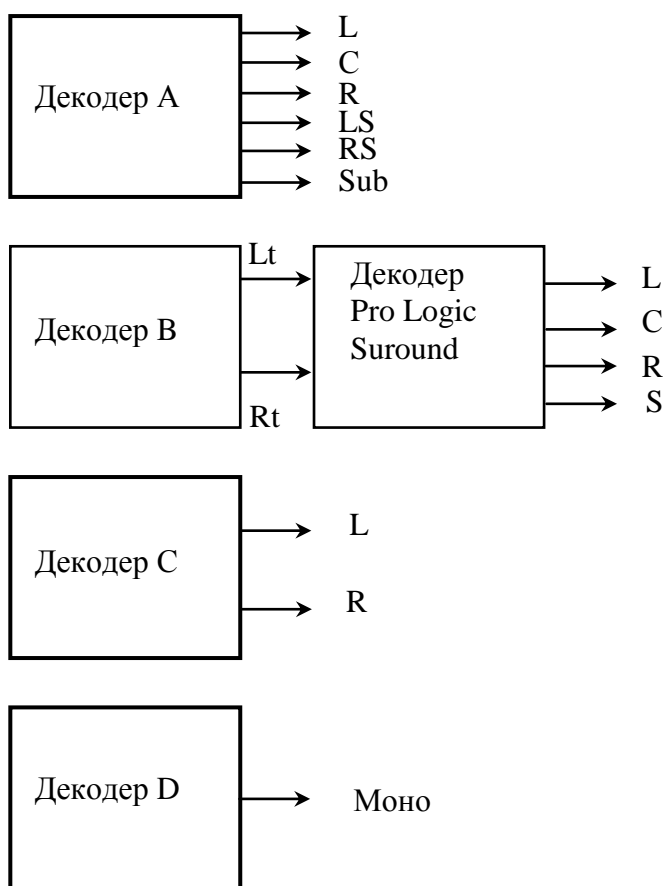


Рис. 19.2. Варианты использования системы Dolby Digital

**Dolby Digital EX. Dolby Surround EX.** Этот формат кинозвука был разработан Dolby в сотрудничестве с THX и Skywalker Sound Studios. Он был представлен публике в 1999 году с фильмом «Star Wars. Episode I: The Phantom Menace» Джорджа Лукаса. В Dolby Surround EX звук записан по схеме 6.1, дополнительная шестая дорожка используется как центральный канал эффектов

(он располагается сзади, между левым и правым surround-громкоговори-телями). Однако закодирован шестой канал не дискретно, а старым добрым матричным способом – он записывается в противофазе в левый и правый surround-каналы. С одной стороны, дополнительная звуковая дорожка добавляет в палитру звукоинженера новый инструмент, но возврат к матричному кодированию (и присущим ему ограничениям) понравился не всем. Для Dolby такой способ добавки звукового канала, несомненно, выгоден – не требуется полного переоборудования кинотеатра, а только покупка небольшого «довеска» к декодеру, поэтому новый формат распространился довольно быстро. К тому же полностью сохранилась совместимость с кинотеатрами, оборудованными Dolby Digital 5.1. В настоящее время уже доступны и бытовые декодеры Dolby Surround EX, поэтому новый формат все чаще находит себе место и на DVD.

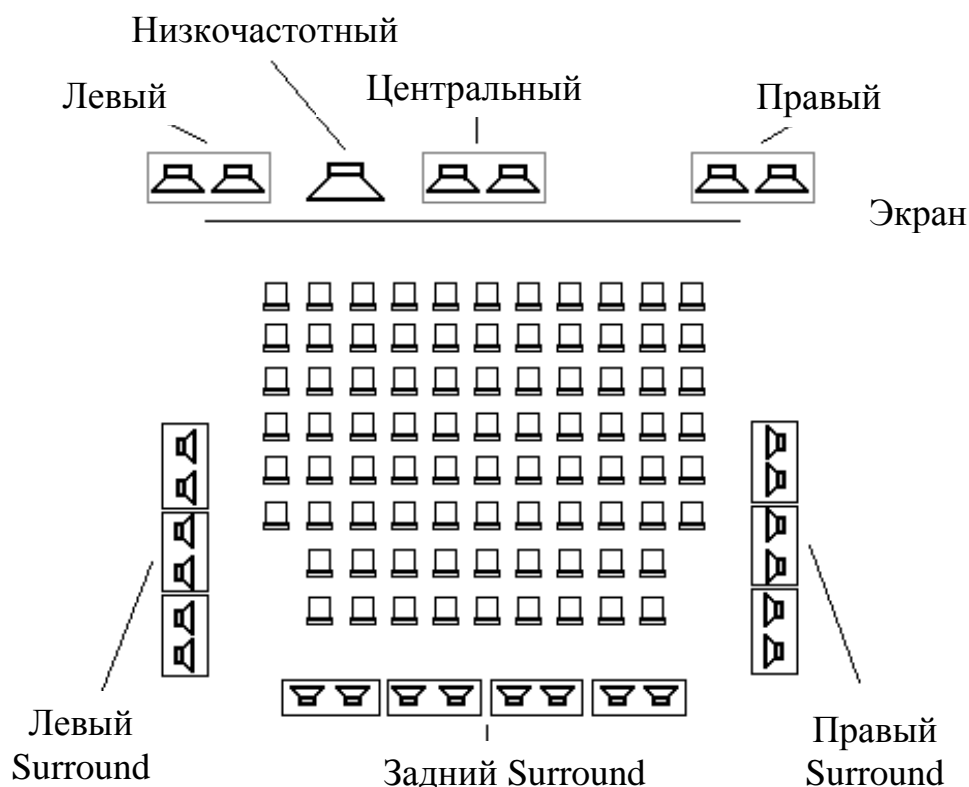


Рис. 19.3. Схема расположения громкоговорителей при использовании технологий Dolby Surround EX

**Dolby-E.** Цифровой поток Dolby-E может содержать до восьми каналов звука с полной полосой частот. Кроме собственно сжатых данных звука, в поток вводятся метаданные – инструкции для декодера Dolby-E, которые носят необязательный рекомендательный характер. Например, специальная инструкция может автоматически установить в декодере то или иное ограничение динамического диапазона выходных сигналов. В зависимости от оборудования, используемого для приема и обработки сигнала Dolby-E, метаданные могут использоваться полностью, частично или не использоваться вообще. Поток Dolby-E делится на два потока, которые могут быть переданы по двум физиче-

ским линиям или записаны на цифровой магнитофон вместо двух каналов несжатого звука. Структура потока соответствует кадровой структуре видеосигнала, поэтому материал со звуком Dolby-E можно легко монтировать и редактировать, не нарушая синхронность аудио и видео.

**Dolby Surround и Dolby Digital в спутниковом телевидении.** В аналоговом спутниковом телевидении с самого начала были предусмотрены два канала звука, поэтому звук Dolby Surround – привычный атрибут спутниковых программ.

Несколько сложнее с цифровым спутниковым телевидением. Разумеется, любой цифровой спутниковый ресивер предполагает стереофонический звук с качеством CD, следовательно, может быть использован для приема программ со звуком, кодированным в аналоговой системе Dolby Surround. Один из первых стандартов информационного сжатия звука, используемый и по сей день в DVB, ISO/IEC 11172-3 предполагает передачу в цифровом потоке звука двух каналов, кодированных в Dolby Surround. Спецификация DVB ETSI TR-101-154 предусматривает в служебных таблицах DVB специальный признак Dolby Surround. Согласно рекомендации, цифровой ресивер DVB должен анализировать этот признак и, если звук кодирован, выводить на экран соответствующую информацию. Для воспроизведения всех четырех каналов требуется внешний аналоговый декодер. Таким образом, пользователь может прослушивать звук в Surround и на цифровых спутниковых программах, используя дополнительно к ресиверу MPEG-2/DVB, например, ресивер с процессором Dolby Pro Logic. Однако это не совсем удобно для пользователя. Кроме того, в этом нет принципиальной необходимости: пропускная способность цифровых спутниковых каналов DVB не ограничивает количество каналов звука, их может быть сколько угодно. Действительно, не логично аналоговыми методами уплотнять четыре звуковых канала в два, чтобы затем передавать их в цифровом потоке, если можно сразу мультиплексировать по времени все четыре или более каналов. Единого стандарта для звука Surround в цифровом телевидении на сегодня не существует.

Системы спутникового телевидения DigiCipher-II и эфирного цифрового телевидения ATSC изначально предполагают декодирование Dolby Digital (цифровой поток Dolby AC-3), то есть позволяют передавать звук Surround «5.1», если приемник оборудован декодером соответствующего уровня. Однако Dolby Digital является официальным стандартом звука в цифровом телевидении только в странах Северной Америки (США и Канада), Южной Кореи и Австралии. В Европе и Азии повсеместно принят универсальный стандарт DVB, использующий другую технологию цифрового информационного сжатия звука – MPEG. Только совсем недавно в дополнение к старому документу ISO/IEC 11172-3 был принят документ ISO/IEC 13818-3, описывающий алгоритм сжатия для звука Surround в системах цифрового телевидения DVB-MPEG-2-5.1. Эта технология по своим возможностям аналогична Dolby Digital – пять полноцен-



ных каналов звука плюс один канал с ограниченной полосой частот. К сожалению, ресиверов с декодером Surround MPEG-2-5.1 на российском рынке пока нет. А вот носителей видео, аудио и мультимедийных приложений в Dolby Digital, несовместимом с MPEG, уже достаточно как в нашей стране, так и в Европе вообще. Соответственно, есть парк декодеров Dolby Digital, и желательно обеспечить их совместимость с цифровыми ресиверами.

Решение такой задачи нашлось в рамках DVB. Это мультимедийный стандарт, который позволяет одновременно с видео и аудио в одном цифровом потоке передавать с гарантированной скоростью любые данные. Поэтому оказалось возможным передавать звуковое сопровождение цифровых программ DVB параллельно – как собственно звук в MPEG и как дополнительные данные в виде потока Dolby Digital AC-4.

**Dolby Digital Plus** – кодек, используемый в различных средах доставки аудио- видеоконтента для передачи звука высочайшего качества. Примерами таких сред являются и традиционное цифровое телевидение, будь то спутниковое (DVB-S/S2), кабельное (DVB-C) или наземное (DVB-T/T2).

Звуковая часть формата (Dolby Digital Plus (DD+)) сжатого звука поддерживает более высокий поток и более эффективное сжатие для обеспечения лучшего качества звучания. Помимо 5.1-канального звука, DD+ может поддерживать также схему 7.1, но она встречается редко, большинство студий используют 5.1 каналов для коммерческих записей, которые затем попадают в руки потребителей.

Dolby Digital Plus – это не просто один из многих существующих кодеков, а законченное решение для всей вещательной цепочки. Можно даже говорить об экосистеме Dolby Digital Plus (понятие пришло к нам из биологии, где оно означает систему, состоящую из живых организмов, среды их обитания и разнообразных связей между ними). Применительно к вопросам передачи цифрового звука через, скажем, сети наземного цифрового телевидения это означает, что кодек Dolby Digital Plus поддерживается всеми компонентами вещательной цепочки (включая звуковой тракт вещателя в виде технологии Dolby E).

Со стороны оборудования головной станции – это профессиональные аудио- и видеокодеры (производства Cisco, Ericsson, Harmonic, Motorola, Thomson и др.), решения для мониторинга телевидения (производства Axon, Bel, Evertz, Wohler и др.), тестовое и измерительное оборудование (Interra Systems, Rohde&Schwarz, Tektronix и др.) и профессиональные приемники и декодеры (Blankom, Cisco и др.). Наличие всех этих компонентов, равно как и образовательные программы Dolby, и поддержка специалистов компании означает, что вещатели могут с уверенностью внедрять этот кодек в своих трактах.

Однако для того чтобы вся экосистема работала, недостаточно только подготовить сигнал к передаче и послать его в эфир. Необходимо также, чтобы на приемной стороне этот сигнал могли правильно расшифровать. И здесь вступают в игру следующие участники экосистемы – производители чипсетов. И именно от характеристик и возможностей того или иного чипсета зависит то,

какими функциями будет обладать конечное устройство. Любой производимый сейчас чипсет с поддержкой HDMI поддерживает Dolby Digital Plus.

Неудивительно потому, что кодек Dolby Digital Plus поддерживается в самом широком спектре устройств и программных продуктов. Это программное обеспечение таких фирм, как Microsoft, Nero, Cyberlink, Corel, телевизионные приставки Philips, Samsung, Pace, Motorola, Cisco, Rapasonic и т. п. Это смартфоны Nokia и Pantech, все основные системы домашних кинотеатров – Sony, Philips, Onkyo, Denon, Pioneer, LG, Samsung, и даже игровые приставки (Sony Playstation 3, Xbox 360).

Dolby Digital Plus описан в международных и национальных стандартах: ETSI TS 102 366 (где для кодека используется техническое обозначение – EAC-3), международном стандарте цифрового телевидения и стандартах таких стран, как, например, Великобритания, Франция, Италия, Испания, Польша и др.

Что сделало этот кодек таким популярным и широко распространенным?

Во-первых, поддержка моно, стерео и многоканального режима работы – как 5.1, так и 7.1. При этом, в отличие от передачи многоканальной звуковой дорожки через аналоговую стереопару методом матричного кодирования, в цифровом кодеке каждый канал передается отдельно от остальных – при этом качество звучания, естественно, повышается.

Во-вторых, кодек является достаточно эффективным с точки зрения сжатия сигнала – в стандартном варианте использования цифровой поток, кодирующий звук, сжимается более чем в двадцать раз по сравнению с оригинальным потоком, при этом почти без различимой на слух потери качества.

В-третьих, кодек способен передать очень широкий звуковой динамический диапазон – уровня Blu-ray. Заметим, кстати, что при этом пользователи старого аналогового телевизора или портативного мобильного телефона с ограниченной звуковой системой не будут обделены – декодер Dolby Digital Plus сократит динамический диапазон сигнала под характеристики их акустической системы.

Следующим важным преимуществом кодека Dolby Digital Plus именно для телевидения (где вещание составляется из комбинации фильмов разных жанров, новостных программ, рекламных вставок и т. п.) является возможность нормализации уровня громкости. У каждой из перечисленных программ есть свои характерные значения среднего уровня громкости и пикового уровня сигнала. Скажем, для боевика этот разброс может составлять 27 дБ, а для рекламы – около 7 дБ. Традиционно в аналоговом телевидении контролировались пиковые значения громкости. Так как динамический диапазон для аналоговых программ был довольно узким, особых проблем это не вызывало. В современных же системах такое выравнивание по пиковым значениям приводит к тому, что средний уровень громкости рекламы будет существенно превышать средний уровень громкости кинофильма. Для решения этой проблемы в кодек Dolby Digital Plus заложена возможность передачи среднего уровня громкости программы параллельно с ее вещанием. Это позволяет декодеру выравнивать про-

граммы именно по среднему уровню на стороне пользователя и добиться комфортного уровня звука в телевизоре или другом воспроизводящем устройстве.

Очень важным техническим преимуществом является полная совместимость декодера с существующими ресиверами в домашних кинотеатрах. Эта совместимость достигается следующим образом – любой декодер Dolby Digital Plus является к тому же и декодером кодека Dolby Digital и кодером Dolby Digital. Если у устройства, декодирующего Dolby Digital Plus (к примеру, телевизионной приставки), есть аналоговый аудиовыход, то на него подается стереосигнал (смикшированный по заданным вещателем правилам из многоканальной звуковой программы). Если у этой приставки есть выход SPDIF, то в него идет сигнал в формате Dolby Digital. То есть исходная программа в Dolby Digital Plus перекодируется в Dolby Digital, при этом без потери качества сигнала. Если же телевизор (или домашний кинотеатр) подключен через HDMI-интерфейс, то приставка определяет, поддерживает ли это подключенное устройство Dolby Digital Plus или только Dolby Digital, и выдает соответствующий сигнал. Таким образом, достигается 100% совместимость с существующими системами домашних кинотеатров – так как любой домашний кинотеатр с HDMI или SPDIF поддерживает Dolby Digital.

Наконец, последнее, о чем хотелось бы упомянуть, говоря о кодеке Dolby Digital Plus, – это не техническое, а скорее технологическое преимущество. Компания Dolby осуществляет строгий контроль всех устройств с Dolby Digital Plus на соответствие стандартам работы. Любое устройство с поддержкой Dolby Digital Plus прошло специальную обязательную сертификацию, которая гарантирует, что устройство будет правильно определять этот кодек. Это снимает часть головной боли с телевещателя – так как ему не надо заботиться о том, что звук будет правильно декодирован на приемной стороне, – достаточно, если приемник (будь то телефон, телевизионная приставка или сам телевизор) содержит логотип Dolby Digital Plus.

Из последних примеров внедрения кодека Dolby Digital Plus хочется отметить польский эфирный канал TVP (Telewizja Polska). TVP демонстрирует этапность внедрения Dolby Digital Plus – сначала этот формат был включен в спецификацию приемника наземного вещания (DVB-T). Это гарантировало сертификацию всех продаваемых в Польше телевизоров и телевизионных приставок, что означает устойчивую работу всех устройств в вещательной сети. Затем специалисты TVP и Dolby совместно разработали и реализовали план перехода на вещание многоканального звука – внутри вещательного комплекса WP используются кодеки PCM и Dolby E, и формирование выходных метаданных при помощи специальных пресетов. Все это обеспечило беспроблемный переход на многоканальный звук в наземном вещании и крайне положительные отзывы экспертов и телевизионной индустрии о качестве звука на канале TVP.

**Dolby TrueHD.** Dolby TrueHD является одним из форматов несжатого звука (правильнее сказать, сжатого без потерь), доступных только для оптических HD-плееров. Данный формат широко поддерживается плеерами и дисками

Blu-ray. Dolby TrueHD использует алгоритм сжатия без потерь Meridian Lossless Packing (MLP).

Цифровой поток Dolby TrueHD может вмещать до 14 отдельных звуковых каналов, но на практике работает с 6 (5.1) или 8 (7.1) каналами. Стандарт Dolby TrueHD поддерживает разрядность до 24 бит и частоту дискретизации до 192 кГц (для максимального несжатого потока 63 Мбит/с!), но для Blu-ray на текущий момент доступно максимум 8 каналов с 24 бит и 96 кГц (или, в качестве альтернативы, 6 каналов с 24 бит и 192 кГц) для максимального сжатого потока 18 Мбит/с.

Характеристика дорожки Dolby TrueHD для фильмов Blu-ray выглядит следующим образом:

- Аудиокодек – Dolby TrueHD.
- Каналы (звуковая схема) почти всегда 5.1, очень редко встречаются 6.1 и 7.1.
- Данные о качестве звука часто отсутствуют, но обычно значения следующие: 16 бит при частоте 48 кГц или 24 бит при частоте 48 кГц; для некоторых концертных дисков эти значения составляют 24 бит при частоте 96 кГц.
- Значение потока, как правило, отсутствует, но обычно составляет 4,5 Мбит/с, что соответствует шести каналам при частоте 48 кГц и 16 бит. Самое высокое значение, которое мы видели на коммерческих концертных дисках Blu-ray, составило 9,0 Мбит/с, что соответствует шести каналам при частоте 96 кГц и 24 бит.

**Система Dolby Mobile.** Как вы уже могли догадаться по названию, эта технология специально оптимизирована для мобильных устройств (смартфонов). Технология Dolby Mobile разработана для простого гибкого внедрения и позволяет изготовителям устройств поддерживать различные варианты звукового контента, включая звук высокой точности в формате 5.1. Dolby Mobile добавит богатый и насыщенный звук и при просмотре фильма или видеоклипа на мобильном устройстве.

Новой технологией уже заинтересовались многие производители смартфонов. Например, компания LG уже выпустила телефон с поддержкой технологии **Dolby Mobile**. Чтобы погрузиться в потрясающе качественный звук не нужны никакие дополнительные аксессуары, достаточно подключить к смартфону обычные наушники и в настройках активировать поддержку Dolby Mobile. Любители качественного звука по достоинству оценят услышанное.

Устройства, оснащенные технологией Dolby Mobile, может включать в себя следующие возможности:

- Декодер Dolby Digital Plus – расширяет возможности устройства, обеспечивает воспроизведение звука высокой четкости в формате 5.1 для воспроизведения через наушники или HDMI порт.
- Mobile Surround – обеспечивает реалистичный объемный звук 5.1 с использованием любых стереонаушников.
- Sound Space Expander – расширяет звуковое пространство при прослушивании через громкоговорители.

- Sound Space for Headphones – добавляет ощущение пространства при прослушивании через стереонаушники.
- Natural Bass – обеспечивает мощное усиление низкочастотного звука.
- High Frequency Enhancer – улучшает качество музыки и другого контента путем восстановления высокочастотных эффектов
- Mono-to-Stereo Creator – добавляет глубину при воспроизведении моно-звуков.
- Sound Level Control – поддерживает одинаковый уровень громкости воспроизведения, чтобы пользователям не приходилось регулировать громкость вручную.

### 19.3. Система DTS

Системы пространственного звучания DTS в настоящее время являются серьезными конкурентами продуктов лаборатории Dolby. Считается, что DTS обеспечивают более высокое качество звучания за счет фирменных алгоритмов компрессии и меньшей ее степени. Например, если в Dolby Digital 5.1 сжатие звука составляет 12:1, то в DTS 5.1 оно куда более гуманное: при 16-разрядном квантовании примерно 3:1, а при 24-разрядном – 4,3:1.

**DTS в кино.** Разработчики формата посчитали, что выкраивать на киноплёнке (где уже разместились аналоговая дорожка и Dolby Digital) дополнительное место для записи многоканального цифрового звука не имеет смысла, поэтому было принято решение записать звук на CD-ROM, и с него воспроизводить фонограмму в кинотеатрах. Для точной синхронизации с изображением на киноплёнку печатается временной код (он расположен рядом с аналоговой звуковой дорожкой). Таймкод содержит не только стандартную синхронизационную информацию (часы, минуты, секунды, кадры), но и кодовый номер фильма и рулона киноплёнки. Кинопроцессор сверяет эту информацию из кода на киноплёнке с информацией, которая содержится на диске, и допускает воспроизведение только в том случае, если диск соответствует демонстрируемому фильму. Для считывания временного кода с киноплёнки требуется относительно простая (и недорогая) насадка на проектор, которая подключается к DTS-кинопроцессору со встроенными дисководом CD-ROM. Сам таймкод из-за больших размеров сигнальных точек очень устойчив к износу и может быть считан даже при повреждениях плёнки. Если же временной код в силу каких-то причин перестает поступать на процессор, он воспроизводит звук с CD-ROM еще четыре секунды, после чего (если не восстановился временной код) переключается на резервную аналоговую дорожку с Dolby Stereo. Интересно, что своим успехом формат DTS во многом обязан разработанному контейнеру для дисков. Этот контейнер содержит два диска и удобно помещается в коробку для киноплёнки. Такое решение успокоило прокатные компании, опасавшиеся, что диски могут быть утеряны при перевозке или доставлены в кинотеатр не вовремя.

Как и во всех современных системах многоканального цифрового звука, в DTS используется сжатие данных с потерями. В DTS для кинопоказа применяется схема компрессии apt-X100, разработанная компанией Advanced Processing Technology. Эта компания занимается передачей высококачественного звука по телефонным сетям ISDN. Собственно, apt-X100 изначально был разработан именно для этой цели, DTS лишь адаптировала кодек для передачи многоканального звука. В стандартном варианте DTS кодируются пять независимых каналов цифрового звука с разрядностью 16 бит и частотой дискретизации 44,1 кГц. Шестой (сабвуферный) канал просто подмешивается в левый и правый surround-каналы, частота раздела – 80 Гц. Таким образом, в «киношном» DTS сабвуферный канал не является полностью независимым, однако это обстоятельство не сильно сказывается на результате – в большинстве кинотеатров surround-громкоговорители и не рассчитаны на передачу частот выше 80 Гц.

Apt-X100 является довольно простой схемой сжатия звука. В ее основе лежит адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ). Этот способ не предусматривает использования каких-либо психоакустических моделей, основанных на особенностях человеческого слуха, и является довольно простым как при кодировании, так и декодировании. Это позволяет использовать недорогие кодеры-декодеры, а также снижает задержку между поступлением сигнала и его кодированием/декодированием (это обстоятельство и обусловило успех алгоритмов АДИКМ при передаче звука по ISDN-сетям).

Принцип кодирования вкратце таков. Входящий сигнал кроссовером разбивается на четыре равные частотные полосы, затем для каждого поступающего в полосу сэмпла (отсчета) кодер предсказывает его значение, основываясь на предыдущих 122 семплах. Затем из предсказанного значения семпла вычитается его реальное (поступившее) значение, после чего эта разница передается по ISDN или, как в случае с DTS, записывается на диск. Естественно, для записи разницы между предсказанным и реальным значением семпла тратится намного меньше бит, чем на запись исходного значения семпла, что и позволяет уменьшать поток передаваемых данных. Единственная «психоакустичность» в кодеке apt-X100 – это то, что для высоких и низких частот применяются несколько отличающиеся механизмы предсказания, и этим частотным полосам выделяется меньшее количество бит по сравнению со средними частотами (в соответствии с известным фактом, что человеческий слух менее чувствителен к высоким и низким частотам).

Основным недостатком apt-X100 является то, что алгоритм кодирования невозможно улучшить без смены всего парка декодеров – если применить более совершенный метод предсказания, то его необходимо использовать одновременно и в кодере, и в декодере. Не предусмотрено использование метаданных, что усложняет использование этого кодека в вещании и бытовой технике. Эффективность и качество звучания используемого алгоритма сильно зависят от исходного сигнала – почти идеальный результат достигается при кодировании чистых синусоидальных сигналов (где легко с приемлемой точностью предсказать, какое значение будет иметь следующий семпл), а при кодировании слу-

чайного шума эффективность падает почти до нуля. В реальных фонограммах соотношение этих двух типов сигналов может существенно отличаться в зависимости от ситуации на экране (например, если кодируется шум дождя, возрастает случайная компонента), соответственно и меняется качество звука. Однако в ситуациях, когда случайного шума в сигнале много, точность передачи (как в том же шуме дождя) не играет большой роли.

**DTS в бытовой технике.** Система кодирования DTS нашла довольно широкое применение и на бытовых носителях. Изначально DTS дебютировала на видеодисках формата LD (LaserDisc). Впоследствии довольно широко распространились чисто музыкальные программы с многоканальным (5.1) звуком, записанным с применением DTS на обычные аудио-CD. С приходом DVD система DTS заняла свое место и на этом носителе, хотя так и не стала для него обязательным звуковым форматом.

Однако для размещения многоканального звука на бытовых носителях DTS применила другой способ кодирования звука – Coherent Acoustics (разработан фирмой AlgoRhythmic Technology).

Ее главная особенность в том, что кодирование осуществляется без устранения психоакустической избыточности, звук кодируется в исходном, «неповрежденном» виде.

Все шесть каналов системы DTS полностью независимы друг от друга, каждый из пяти основных каналов перекрывает диапазон звуковых частот, а шестой, низкочастотный, имеет полосу пропускания 20...80 Гц. Скорость потока данных на выходе кодера Coherent Acoustics составляет 1,235 Мбит/с.

Кодер Coherent Acoustics в самом общем виде устроен следующим образом.

На первом этапе обработки спектр сигнала каждого канала делится на 32 поддиапазона с помощью банка так называемых квадратурных зеркальных фильтров. Их использование позволяет избежать искажений, возникающих из-за частичного перекрытия полос пропускания соседних фильтров.

Кодер Coherent Acoustics работает с переменной разрядностью квантования. Выбор необходимого количества разрядов в зависимости от уровня энергии в каждом поддиапазоне выполняет анализатор уровня сигнала. Кодирование звука по такому принципу до некоторой степени напоминает MPEG-кодирование в том смысле, что использует алгоритм предсказания. Предсказание будущего значения сигнала выполняется на основе его предыдущего значения и характера изменения. Чем точнее предсказание, тем компактнее получается код сигнала. Эту задачу решает блок предсказательного кодирования и адаптивного квантования (рис. 19.4).

Адаптивным квантование называется потому, что его шаг автоматически меняется, чтобы поддерживать постоянным отношение сигнал/шум квантования.

Мультиплексор объединяет каналные потоки аудиосигналов в единый поток.

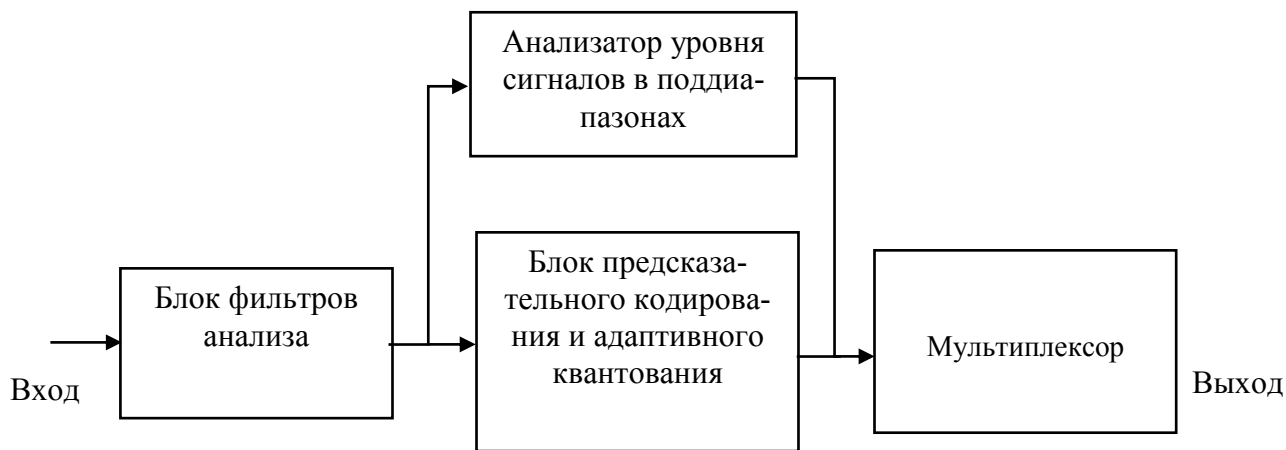


Рис. 19.4. Блок предсказательного кодирования и адаптивного квантования

При воспроизведении кодированного аудиопотока декодер восстанавливает поток данных, сформированных кодером, и подает его на декодер Coherent Acoustics (рис. 19.5).

В демультимплексоре из общего аудиопотока извлекаются потоки данных каналов, которые подаются на блок декодирования и деквантования субполосных сигналов (поддиапазонов). В блоке синтезирующих фильтров 32 сигнала поддиапазонов объединяются и подаются на ЦАП и аналоговые усилители воспроизведения каналов.

От канала декодера  
или блока разделения  
аудио- и видеоданных

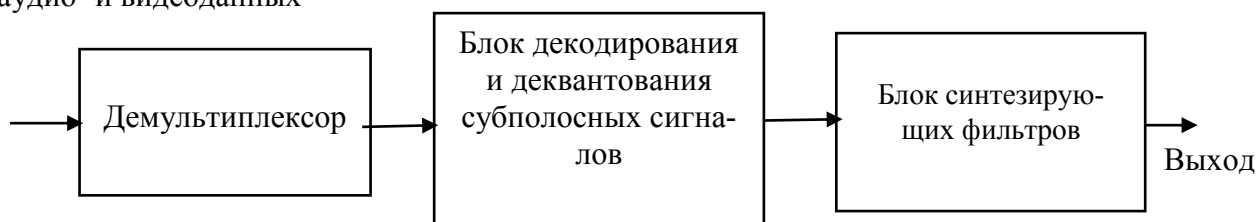


Рис. 19.5. Схема декодера Coherent Acoustics

DTS-звук записывается на CD и LD со скоростью 1235 кбит/с, степень сжатия при этом варьируется от 2,9:1 (если использовался 16-битный исходный материал) до 4,3:1 (при 24-битных исходных). На DVD, из-за использования рабочей частоты дискретизации 48 кГц, скорость возрастает до 1509 кбит/с. В DTS предусмотрена также уменьшенная скорость для DVD (он может использоваться, например, для дополнительной звуковой дорожки) – 754 кбит/с. Естественно, что качество звука при такой скорости ухудшается.

**DTS-ES.** Естественно, компания DTS не смогла не ответить на выход системы Dolby Surround EX и создала систему DTS-ES. В исполнении для кинотеатров (а это лишь небольшая насадка на существующие кинопроцессоры), способ получения дополнительного шестого канала такой же, как и в Surround EX



– матричное кодирование в левый и правый surround-каналы. Однако для декодеров, применяющихся в домашних кинотеатрах, DTS предусмотрела еще один режим – с независимым шестым каналом. Эти два режима называются, соответственно, DTS ES 6.1 Matrix и DTS ES 6.1 Discrete.

Одновременно DTS представила систему NEO 6 (в пику Pro Logic II), которая предназначена для «разворачивания» полноценного (насколько это возможно) 5-6-канального окружающего звука из старых стереофонограмм (в том числе чисто музыкальных) и фонограмм Dolby Stereo. Естественно, NEO 6 применяется только в домашних кинотеатрах.

**DTS 96/24.** Весной 2001 года компания DTS представила новое поколение своей системы сжатия звука, названной DTS 96/24. Она также основана на Coherent Acoustics и, соответственно, предназначена для бытовых носителей, в основном для DVD. Как следует из названия, эта система позволяет кодировать многоканальный звук с частотой дискретизации 96 кГц и разрядностью 24 бита (последнее, впрочем, было возможно и в более ранних версиях DTS). Предполагается, что новая система найдет свое место на дисках DVD-Audio в качестве дополнительной фонограммы. Звук, закодированный в DTS 96/24, предполагается размещать в видеозону DVD и, таким образом, он может быть прослушан практически на любом DVD-проигрывателе (при наличии DTS-декодера). А несжатый ИКМ-звук располагается в аудиозоне диска, она «видна» только специальным проигрывателям для DVD-Audio. Особенностью системы DTS 96/24 является то, что она полностью обратно совместима со старыми версиями DTS. То есть фонограмма, закодированная в DTS 96/24, может быть раскодирована и предыдущими поколениями DTS-декодеров (правда, только с частотой дискретизации 48 кГц, при этом вся «ультразвуковая» составляющая сигнала теряется). Это стало возможным благодаря самой природе алгоритма Coherent Acoustics – первые 32 частотные полосы передаются в DTS-потоке как обычно, а дополнительная информация о частотах от 24 до 48 кГц кодируется в дополнительные частотные полосы, которые не «видят» декодеры предыдущих поколений, но зато могут использовать новые модели. Формат DTS 96/24 в силу своей совместимости с имеющимся парком оборудования (а это и проигрыватели DVD-Video, и декодеры) является довольно популярным.

**DTS-HD Master Audio.** Формат DTS-HD Master Audio, ранее известный как DTS++, обеспечивает побитную идентичность звука оригиналу, может использоваться для кодирования аудио с битрейтом, значительно превышающим битрейт звука стандартных DVD.

Технические характеристики формата DTS-HD Master Audio:

- максимальный битрейт аудио со сжатием без потерь ограничен 24,5 Мбит/с для дисков Blu-ray и 18,0 Мбит/с для HD DVD;
- поддержка до 7.1 каналов звука с частотой дискретизации 96 кГц и глубиной 24 бита;
- для пяти каналов частота дискретизации может достигать 192 кГц при глубине 24 бита;

- возможность перераспределения каналов при настройке громкоговорителей 7.1-канальной системы;
- совместимость со старым оборудованием, поддерживающим DTS, за счёт включения в формат «ядра» формата DTS 5.1; возможность доставки 6 каналов звука с максимальным для обычных DVD разрешением.

На сегодняшний день DTS-HD Master Audio и Dolby TrueHD – это единственные существующие форматы, подразумевающие сжатие звука без потерь качества как для Blu-ray, так и для HD DVD. Но среди экспертов, в профессиональных кругах не так давно появилась информация о том, что корпорация DTS разработала суперновую концепцию высокого разрешения для звука, передаваемого в цифровом виде. Инновация называется DTS-HD Layered Audio.

В отличие от своих старших собратьев, конфигурация DTS – HD Layered Audio не предназначена для систем Blu-ray. «Новоиспеченный» формат может применяться только для доставки цифровых аудиосигналов в виде потоков.

Вот как прокомментировал воплощение гениальной идеи вице-президент корпорации DTS, Марк Джонсон: «Мы создали эту усовершенствованную концепцию, полагаясь на самую актуальную и сложную, на наш взгляд, проблему на сегодняшний день, а точнее – как увеличить эффективность звукопередачи в рамках ограниченной пропускной способности. И, по-моему, у нас все получилось!».

#### 19.4. Технология Sony Dynamic Digital Sound (SDDS)

Технология SDDS предназначена исключительно для кино и в виде аудиопродукции пока не встречается. Физически SDDS размещается на киноплёнке между ее краем и перфорацией. Информация записывается в цифровом виде, причем пиксели имеют меньший размер по сравнению с Dolby Digital. По этой причине, а также из-за того, что SDDS записывается по всей длине пленки (а не только между перфорациями), достигается довольно большой поток данных – до 1235 кбит/с (степень сжатия около 5:1).

В SDDS можно закодировать до восьми независимых звуковых каналов (семь полнодиапазонных и один низкочастотный), два дополнительных громкоговорителя при этом располагаются за киноэкраном между центральным и левым-правым. По этой причине SDDS нашла широкое применение в больших широкоэкранных кинотеатрах, которые в последнее время опять начали набирать популярность. Естественно, в этой системе возможно закодировать матричным способом дополнительный (девятый по счету) центральный канал эффектов (так же, как в Dolby Surround EX или DTS ES). Как утверждает Sony, работы в этом плане ведутся, однако готовый стандарт пока еще не вышел в свет (соответственно, нет и необходимого оборудования).

В SDDS используется система сжатия ATRAC (Adaptive Transform Acoustic Coding), хорошо известная нам по мини-дискам той же Sony. Основная рабочая частота дискретизации ATRAC (как для кино, так и для мини-диска) – 44,1 кГц. Кодирование в ATRAC построено примерно по тем же принципам,

что и в AC-3 или Coherent Acoustics, то есть звуковой поток разбивается на блоки по времени, а затем по частоте, после чего с применением психоакустической модели «отсекаются» лишние (по мнению кодера) для нашего слуха данные. Временные блоки в ATRAC не имеют фиксированного значения, а варьируются кодером в пределах от 1,45 до 11,6 мс.

Для обеспечения надежности воспроизведения в SDDS предусмотрены три уровня «защиты»: все-таки самый край пленки за перфорациями не лучшее место для записи звука. Во-первых, это мощная система коррекции ошибок, способная исправить небольшие выпадения в считываемом цифровом потоке. Во-вторых, дублирование звуковой дорожки (SDDS записывается по обоим краям пленки, так что если возникают проблемы со считыванием звука с одной стороны, декодер начинает считывать информацию с другой). Ну и, в-третьих, если ничто не помогает, и цифровой звук не может быть считан с кинопленки, декодер переходит на аналоговую звуковую дорожку. Таким образом, SDDS в настоящее время является одним из самых «продвинутых» форматов, сочетающим в себе высокое качество звука, большое количество доступных каналов, «пуленепробиваемую» надежность воспроизведения и простоту производства прокатных копий. Однако все это доступно только в кинотеатрах, да и то за пределами нашей страны.

### **19.5. Dolby Atmos против Auro-3D**

Раз в несколько лет в индустрии аудио-видео происходят серьезные изменения, связанные с появлением новых форматов. Что касается видео, то за последнее время индустрия пережила один состоявшийся апгрейд – в мир коммерческих и домашних кинотеатров пришло 3D Video. В настоящее же время происходит смена поколения FullHD на 4K. Телевизоры и проекторы 4K становятся все более и более доступными, наконец-то официально принят стандарт HDMI версии 2.0, анонсировано новое поколение Blu-ray дисков. Аудиоиндустрия не отстает, и 2014 год стал годом появления форматов 3D Audio на домашнем рынке. Напомним, что форматы 3D Audio подразумевают полное звуковое окружение зрителя в кинотеатре – не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной. В английском языке для определения новых ощущений от прослушивания саундтреков в 3D применяется слово *immersive*, которое может быть переведено как «вовлекающий».

Достигаются эти ощущения благодаря применению дополнительных «слоев» акустических систем, которые располагаются над головой зрителя. Стоит заметить, что в коммерческой киноиндустрии два 3D-Audio формата существуют уже несколько лет и их названия наверняка хоть раз да слышал любой из посетителей недавно открывшихся кинотеатров. Это формат Dolby Atmos от компании Dolby Labs, которая является пионером и имеет лидирующие позиции в индустрии кинотеатрального звука, и формат Auro-3D, продвигаемый в профессиональной киноиндустрии совместными усилиями компаний Auro-3D (а точнее, бельгийской Galaxy Studios и лично изобретателем формата

– Вилфридом Ван Бэленом) и Varco (которой принадлежат права на марку Auro-3D на коммерческом кинорынке). Довольно прогнозируемо, вслед за появлением в студиях пост-продакшн и коммерческих кинозалах, оба формата начали проникновение и на домашний рынок. Здесь формат Auro-3D немного вырвался вперед. Компания Dolby не заставила себя долго ждать, и на осенней выставке CEDIA 2014 выстрелила залпом из всех орудий, организовав помимо своего собственного стенда еще ряд стендов с компаниями-партнерами, такими как Integra/Onkyo, Denon/Marantz, Trinnov и т. д. Стоит отметить, что стенд, демонстрирующий Auro-3D, был только один – на оборудовании Datasat Digital.

Теперь давайте попробуем разобраться, чем отличаются эти форматы, и как же дальше жить любителю домашнего кино, который хочет иметь систему, отвечающую требованиям этих форматов, а также – можно ли построить систему, совместимую с обоими?

Начнем с небольшого экскурса в мир коммерческих кинозалов и студий, поскольку корни «домашних» версий Atmos и Auro-3D лежат именно там. Формат Auro-3D официально был представлен в мае 2006 года в Париже на AES Convention. Первым фильмом, записанным в данном формате, стала лента Red Tails, снятая в 2012 году Джорджем Лукасом.

Принципиальное отличие Auro-3D от описанных нами ранее форматов Dolby Surround EX и DTS заключалось в том, что кроме традиционных каналов 7.1, расположенных, по большому счету, в одной плоскости, Вилфрид Ван Бэлен предложил использовать третье измерение – то есть разместить акустические системы не просто вокруг слушателя, но и сверху, вторым «слоем», под углом в 30 градусов к фронтальным акустическим системам и каналам окружающего звучания. Дальнейшее усовершенствование формата привело к появлению еще одного «слоя» – самого верхнего, который назвали символично – voice of god (глас божий) и разместили над головами слушателей, закончив превращение плоскости в полусферу. Максимальное количество каналов (не стоит путать с количеством акустических систем) при этом достигло 13.1, то есть фактически стало в два раза больше, чем оригинальные 7.1 и 6.1, используемые, к примеру, в большинстве кинотеатров на территории РФ в данный момент. Внедрение верхних каналов позволило более точно передать ряд событий в звуковой дорожке фильма, таких как пролеты объектов над зрителями (шум вертолета или реактивного истребителя), впечатляющие атмосферные эффекты (завывание ветра, раскаты грома, звук дождя) и т. д.

Dolby Labs также использует в своем новом 3D Audio формате Atmos два «слоя» колонок. Первый «слой» располагается вокруг слушателя примерно на высоте его ушей, а второй «слой» акустических систем размещается на потолке – слева и справа. В желании произвести очередную революцию в кинематографии Dolby Labs пошла еще дальше, чем Galaxy Studios с Auro-3D, и в своем новом формате реализовала кроме трехмерного расположения акустических систем еще и принципиально новый подход к микшированию саундтреков. Компания предложила в принципе отказаться от привычного поканального сведения

саундтрека в студии и перейти к объектному рендерингу звуковой дорожки «на месте».

То есть, фактически, Dolby сняла с плеч звукорежиссера задачу по сведению разнообразного набора звуков и раскладыванию их на дорожки в студии и переложила эту задачу на кинотеатральный процессор. Иными словами, звукорежиссер просто выбирает файлы с записанными звуками – например, звуком проезжающей машины, шуршащей листвы, играющей музыки, смеющегося ребенка, капель дождя и т. д., и указывает место в пространстве, откуда эти звуки должны воспроизводиться, когда и с какой громкостью. К примеру, если необходимо воспроизвести шум движущейся машины, то режиссер указывает, откуда, куда и с какой скоростью перемещается виртуальный звуковой источник в трехмерном пространстве.

Естественно, все записанные звуки синхронизируются с происходящим на экране. Но в кинозал контент попадает не в виде предварительно записанных дорожек, а в виде большого количества звуковых файлов и соответствующей информации о пространственно-временных координатах. Эта информация попадает в звуковой процессор, который точно знает, где расположены акустические системы (установленные и откалиброванные в процессе монтажа кинозала), и он уже сам просчитывает, куда и какую звуковую информацию нужно отправить. То есть, фактически, процессор в реальном времени еще раз просчитывает саундтрек фильма. Благодаря точной калибровке нет привязки к конкретному количеству каналов и можно использовать разное количество акустических систем – процессор сам «посчитает», как и куда нужно отправить звук для получения оптимальной звуковой панорамы.

Максимальное количество одновременно обрабатываемых «объектов» составляет 128, а количество одновременно поддерживаемых независимых акустических систем – до 64. Единственный процессор для коммерческого применения производится непосредственно компанией Dolby и называется Dolby SR850.

Имеет смысл сказать несколько слов и о разнице в доставке контента между коммерческими кинозалами и домашним кино. В коммерческом кинопрокате в настоящее время практически повсеместно используются цифровые копии фильмов – бобины с киноплёнкой ушли в далекое прошлое. В цифровом кинопрокате дорожка (или, более корректно говоря, поток аудиоданных) к фильму «выходит» из сервера в формате PCM с высоким битрейтом и практически без сжатия. Сервер может передавать до 16 цифровых каналов таких данных параллельно. Нелишним будет отметить, что такие серверы производят всего несколько компаний в мире, например, Do-Re-Mi и Dolby.

В домашнем варианте, как известно всем любителям кино, в данный момент самым популярным и самым качественным легальным носителем является Blu-ray диск. Как правило, Blu-ray содержит картинку в формате Full HD и звук, записанный в одном из двух форматов высокого качества – DTS HD Master Audio либо Dolby True HD. Встречаются также диски со звуком, записанным с использованием старых кодеков DTS и Dolby Digital. Упомянутые форматы от-

личаются алгоритмами компрессии аудиоданных, максимальными уровнями скорости потока данных и количеством каналов, например, на недорогом диске за 4–5 долларов вы можете получить аудиодорожку в формате Dolby Digital со звуком 2.1, а на полноценном лицензионном диске за 30–40 долларов дорожка будет, скорее всего, в формате Dolby True HD или DTS HD MA с количеством каналов 5.1 или даже 7.1.

Ну а теперь, наконец, давайте посмотрим, как же будут адаптироваться новые форматы Ауго-3D и Dolby Atmos при переносе их из мира профессионального кино в мир кино домашнего.

В случае с Ауго-3D, перенос, что называется, бесшовный – если фильм изначально записан в студии в формате 13.1 или 11.1 – то ровно с таким же количеством каналов он и будет переноситься на Blu-ray диски. Как именно будет осуществляться запись пока непонятно. Дата выхода первых дисков с фильмами на Blu-ray с дорожкой в Ауго-3D пока неизвестна, официальных данных на этот счет нет, хотя какое-то количество музыкальных дисков уже доступно. Но совершенно точно можно сказать, что если процессор или ресивер поддерживает формат Ауго-3D, то он «вынет» информацию о дополнительных каналах и корректно ее обработает, если не поддерживает – она просто пройдет мимо и не будет обработана, обеспечив при этом «обратную совместимость» со старыми ресиверами и процессорами.

То есть, диск с фильмом в формате Ауго-3D в любом случае будет корректно прочитан любым из существующих Blu-ray-плееров и распознан любым из существующих процессоров или ресиверов, как минимум, в формате 5.1 или 7.1, а если процессор или ресивер обладает встроенным декодером формата Ауго, то вы сможете получить на выходе саундтрек 9.1, 11.1 или даже 13.1.

В случае с Dolby Atmos в домашнем кинотеатре ситуация видится несколько более сложной, даже, наверное, намного более сложной. Несмотря на то, что Dolby не делает никаких различий при брендировании формата Atmos для домашнего и для коммерческого кино, разница есть, и она весьма значительна. Не вникая в такие технические детали, как требования к акустическим системам окружающего канала, полагаем, что основная проблема кроется в процессинге звукового поля. Как написано выше, основная работа по формированию корректного окружающего звучания в формате Atmos ложится на процессор обработки звука, который должен в реальном времени, получая лишь файлы со звуками и пространственно-временными координатами, в реальном времени обчислить довольно большой поток данных и выдать его на те акустические каналы, которые находятся в его распоряжении – естественно, с учетом того, сколько их в конкретной инсталляции. На текущий момент спецификациями Atmos для домашнего применения предлагается использовать конфигурации от 5.1.2 до 9.1.4, где первая цифра – это количество «обычных» каналов – левый-центр-правый-боковые-тылы-и т. п., вторая – это канал LFE, а третья – это overhead – так называемые «верхние» каналы.

И тут стоит заметить, что единственный процессор для коммерческого применения – Dolby CP850 – стоит более миллиона рублей, а стоимость до-

машин AV-ресиверов с поддержкой Atmos начинается «всего» от 20–30 тысяч. Возникает резонный вопрос – может ли сравниться по вычислительной мощности недорогой ресивер и очень дорогой процессор? Думаем, что нет...

Первая и самая главная проблема совместимости форматов 3D Audio, как уже отмечено выше, – принципиальная разница в подходах к записи саундрека. Auro-3D использует традиционный метод поканального сведения и записи, Dolby – новое поколение «объектно-ориентированного» монтажа звука. Поэтому «переконвертировать» один формат в другой «просто так» – не получится.

Что касается построения домашних кинозалов, умеющих правильно работать и в Auro-3D, и в Dolby Atmos, то это, вероятно, наиболее сложный вопрос. И дело здесь даже не в процессорной части, ведь, к примеру, компании Datasat и Trinnox уже анонсировали будущие апгрейды своих домашних процессоров, которые обеспечат поддержку и Auro-3D, и Dolby Atmos. Проблема совместимости заключается, прежде всего, в различных требованиях к установке акустических систем. В Dolby Atmos, как мы уже говорили, используется два «слоя» акустики, а в Auro-3D – три. Исходя из общих соображений, можно было бы предположить, что саундтрек, записанный в Dolby Atmos, в принципе, может быть воспроизведен через часть акустических систем, составляющих массив АС для воспроизведения Auro-3D, но вряд ли это будет корректно. Требования для расположения АС весьма жесткие у обоих форматов, а учитывая чувствительность к точному позиционированию для получения плавных переходов, это может стать головной болью для проектировщиков и инсталляторов домашних кинозалов.

Тем не менее, несмотря на все те противоречия и нестыковки, на которые мы обратили внимание при описании Dolby Atmos, нужно признать, что этот формат, как мне кажется, имеет больший потенциал, чем Auro-3D. Во-первых, «объектно-ориентированный» подход к записи однозначно более перспективен, чем традиционный «поканальный». Не стоит также забывать и о том, что Dolby – это безоговорочный лидер. Количество фильмов со звуком в Dolby Atmos в разы больше, чем фильмов с Auro-3D. Более того, ознакомившись со списком релизов со звуком Auro-3D, можно прийти к выводу, что компания по какой-то причине очень большое внимание уделяет азиатскому рынку – слишком уж много в этом списке индийских и гонконгских фильмов, которые вряд ли будут смотреть европейцы и американцы – дорожки к этим фильмам чаще всего доступны только на языке оригинала.

Конечно, на данный момент, Dolby Atmos выглядит немного сыровато, но ситуация меняется. Поддержка Dolby Atmos анонсирована в массовых моделях AV-ресиверов таких фирм, как Yamaha, Pioneer, Onkyo, Integra, Denon – то есть это фактически 100% охват рынка в начальном, самом массовом сегменте, что крайне благотворно сказывается на его популяризации. В более дорогом сегменте о поддержке Atmos заявили Trinnox, Datasat Digital, и Storm Audio – все эти компании имеют продукты и подразделения, работающие на коммерческом кинорынке, и их опыт может весьма благотворно сказаться на реализации Atmos для домашнего применения путем внедрения дополнительных алгорит-

мов обработки звука – например, Trinnov в своих процессорах использует уникальный трехмерный микрофон, который может помочь процессору точно определить место каждой АС в пространстве и использовать эти данные для дополнительной коррекции звукового поля.

Несмотря на то, что Auro-3D на сегодняшний день выглядит более предпочтительным в плане качества звучания, очень похоже, что Dolby Atmos все же выигрывает соревнование на домашнем рынке 3D-аудио. За Dolby – армия бюджетных ресиверов, доступных на рынке уже сейчас. Auro такими же успехами похвастаться не может, и в чем проблема – неясно, то ли это слишком дорогая стоимость лицензии, то ли сложность в реализации. По крайней мере, самая доступная модель ресивера, производящегося компанией Storm Audio, имеет стоимость выше 10000 долларов. Но и в более дорогом сегменте процессоров компания Dolby не отстает – фактически все компании, которые объявили о поддержке Auro-3D, сейчас объявили и о поддержке Atmos (и наоборот).

## 19.6. Dolby Atmos против DTS:X

Сравнивая в предыдущем разделе Dolby Atmos и Auro 3D, мы забыли о компании DTS, которая не сидела сложа руки, и уже в 2015 году анонсировала новый формат многоканального звука DTS:X. Уже тогда многие эксперты с уверенностью заявили, что новая разработка DTS станет серьезным конкурентом формату Dolby Atmos. Формат DTS:X, как и Atmos, основан не на каналах, а на аудиообъектах, и ресивер сам на ходу определяет позицию того или иного аудиообъекта. Для DTS:X неважно, сколько акустических систем задействовано в вашем домашнем кинотеатре, процессор или AV-ресивер все рассчитает и оптимально распределит звуки. Выходит, Dolby Atmos и DTS:X не просто схожи, а практически идентичны? В целом – да, существенных отличий немного, но они все же есть.

Для создания звука в формате DTS:X режиссеры используют специальное приложение MDA Creator (работает как плагин к монтажной программе), позволяющее указать место, откуда должен исходить звук, и проложить траекторию движения аудиообъекта в трехмерном пространстве. По сути, звукорежиссерам не нужно задумываться, из какой именно колонки пойдет звук, за них это сделает оборудование в режиме реального времени у пользователя дома или в коммерческом кинотеатре. Саундтреки в формате DTS:X способны адаптироваться под разные конфигурации акустики, в общей сложности система может работать с 32 колонками одновременно. Как и в случае с Atmos, для достижения максимального эффекта DTS:X требуется потолочная акустика. Хотя это необязательное условие, создатели рекомендуют не пренебрегать такой возможностью.

Многим может не понравиться идея размещения дополнительных колонок на потолке, и поэтому производители предлагают специальную Atmos-акустику, дополненную динамиками, направленными вверх, чтобы получить отраженный от потолка звук. Но у DTS пока нет планов выпускать подобные



акустические системы, а подойдут ли колонки, предназначенные для Dolby Atmos, однозначно сказать пока нельзя. Хотя сама DTS утверждает, что никаких преград нет, и все должно работать.

Что касается оборудования для просмотра контента в формате DTS:X, то тут есть два пути: можно купить новый AV-ресивер с поддержкой формата или же программно обновить тот, что уже имеется. Большинство производителей (Anthem, Denon, Integra, Krell, Marantz, McIntosh, Onkyo, Outlaw Audio, Pioneer, Steinway Lyngdorf, Theta Digital, Trinnov и Yamaha) уже заявили о поддержке нового кодека, а Onkyo, Pioneer и Yamaha начали продажи DTS:X-ресиверов.

Пока DTS не опубликовала никаких списков контента в новом формате, однако при создании вышедшего в апреле 2015 года фильма «Мстители: Эра Альтрона» использовали программное обеспечение MDA Creator, и студия Lionsgate анонсировала выход Blu-ray-диска фильма «Из машины» («Ex Machina») с дорожкой в новом формате. Кстати, еще неизвестно, будут ли студии размещать звуковые дорожки Atmos и DTS:X на одном и том же диске. Есть большая вероятность того, что придется отдельно покупать версии фильмов со звуком в Dolby Atmos и DTS:X.

Что касается кинотеатров, то известно, что американская сеть Carmike объявила о переходе на DTS:X. В семи кинозалах (все они находятся в разных городах США) переоборудование уже началось.

Понятно, что больше всего нас волнует, чем отличаются форматы друг от друга и в пользу какого сделать выбор. В чем же разница? Итак, в первую очередь стоит сказать, что у DTS вообще нет никакого списка рекомендуемых конфигураций акустики, если Dolby советует определенные комплекты с дополнительными потолочными динамиками (5.1.4, 7.1.2 и т.д.), то инженеры из DTS сочли это бессмысленным. По их мнению, объектные кодеки тем и хороши, что не имеют привязок к определенным конфигурациям колонок. Все зависит от производителей акустики – они сами смогут решать, какими должны быть системы для работы с форматом DTS:X.

Второе отличие заключается в том, что у DTS:X есть опция, позволяющая управлять громкостью диалогов. DTS решила, что сделать диалоги полностью изолированными от других аудиообъектов саундтрека – хорошая идея. Многие жалуются, что не слышат речь из-за других звуков, так вот теперь у них будет возможность сделать речь погромче. Но нет уверенности, что самим режиссерам понравится такая функция, ведь зачастую персонажи говорят тихо тогда, когда это нужно, и вряд ли именитый режиссер позволит нарушить его задумку.

Еще одним моментом, где разница между Dolby Atmos и DTS:X может быть существенной, стало умение производить повышающее микширование (апмиксинг) – преобразование стандартных 5.1- или 7.1-треков в 11.1, 9.1.2, 5.1.4 и т.д. У DTS эта технология называется Neural:X – например, стандартный саундтрек в формате DTS-HD MA 7.1 может быть преобразован ресивером для воспроизведения на комплекте акустики с дополнительными потолочными колонками. Технология сама подстроится под имеющуюся конфигурацию. У

Dolby Atmos функция апмиксинга тоже имеется, но какой из двух форматов справится с задачей лучше, пока сказать сложно.

Главная задача DTS:X на ближайшие пару лет заключается в том, чтобы догнать Dolby Atmos. И это будет не так уж просто – думаем, немногие захотят что-то менять в своих недавно купленных Atmos-системах только для того, чтобы попробовать «что-то примерно похожее, но немного другое». А если учесть, что Dolby уже заявила, что собирается открыть не менее 100 кинотеатров Dolby Cinema по всему миру до 2025 года, то у DTS есть причины поторопиться. Небольшие «условные» преимущества могут сыграть свою роль, но по большому счету, DTS не предложила чего-то кардинально нового. Для нас (потребителей) борьба между двумя компаниями встает на второй план. Намного важнее то, что DTS и Dolby положили начало новой эре в мире объемного звука. И в ближайшие годы остается лишь запастись терпением и ждать всевозможных дополнений, обновлений и улучшений, которые обязательно появятся в условиях конкурентной борьбы.

## ЧАСТЬ 3. РАБОТА С ВИДЕО

### ГЛАВА 20. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕЛЕВИДЕНИИ

Наверное, никому не нужно объяснять, какое место в нашей жизни занимает телевидение. Новости, развлекательные и учебные программы, репортажи из горячих мест, фильмы, сериалы, детские передачи, реклама, наконец... Но, как известно, к хорошему привыкаешь быстро, а представить мир без телепрограмм (эфирных, кабельных, спутниковых или видеозаписей) уже просто невозможно. Производитель (вещатель) заботится о содержании программ, зритель потребляет – казалось бы, что еще надо... Но если вещатель думает о том, кому передавать, а зритель – что передают, то есть еще и третий «участник» ТВ-общения – телевизор, которому важно, как передают.

Долгое время рядовой телезритель не подозревал о существовании великого многообразия систем телевидения, а терминами (аббревиатурами) NTSC, PAL или SECAM пользовались исключительно профессионалы-телевизионщики.

Но с массовым появлением на нашем рынке импортных видеомагнитофонов, а позже и видеокамер, ребром встал вопрос о совместимости импортного оборудования (работающего, как правило, в стандарте PAL, реже в NTSC) с отечественными SECAM-телеприемниками. В те годы спрос на видеомагнитофоны породил целую подпольную индустрию по производству и распространению PAL-декодеров. А к середине 90-х даже школьник знал «кто такой SECAM», и многие, наверное, помнят КВН-овскую фразу «Как низко PAL SECAM...».

Попытаемся приоткрыть занавес и познакомить читателя со всем многообразием систем и стандартов телевизионного вещания. Но вначале рассмотрим основные принципы, лежащие в основе формирования телевизионного изображения вообще и цветного в частности. Здесь есть смысл уточнить, что подразумевается под стандартом, а что – под системой. Под стандартом подразумевается набор технических характеристик видеосигнала: частота кадров, частота строк, частотный диапазон вещания (МВ, ДМВ), частота поднесущей звука, частота поднесущей цвета. Система же цветности определяет только способ кодирования цветовой информации – это и есть PAL, SECAM и NTSC.

#### 20.1. Принцип телевизионной развертки

Оконечным устройством, принимающим ТВ изображение, является зрительная система человека. Поэтому для рационального построения ТВ систем необходимо учитывать свойства и характеристики зрения.

Для изучения принципа передачи изображения рассмотрим устройство, работу и основные особенности человеческого глаза.

Глаз является внешним органом зрения. Он представляет собой тело примерно шарообразной формы (глазное яблоко) (рис. 20.1), покрытое обо-

лочкой – склерой 1. Передняя часть склеры 2, называемая роговицей, прозрачна и имеет несколько более выпуклую форму. За роговицей расположена передняя камера 3, заполненная жидкостью. Передняя камера отделена от остальной части глаза радужной оболочкой 4, имеющей в центре отверстие – зрачок 5. Размер зрачка изменяется в зависимости от освещенности глаза. За зрачком находится хрусталик 6, представляющий собой прозрачное тело, форма которого напоминает двояковыпуклую линзу. С помощью мышцы, охватывающей хрусталик, кривизна последнего может меняться, фокусируя на задней стенке глаза изображения предметов, находящихся на расстоянии примерно от 10 см до бесконечности. С внутренней стороны в глазное яблоко входит зрительный нерв 7, состоящий из большого количества нервных волокон. Окончания нервных волокон покрывают изнутри глазное яблоко оболочкой 8, которая называется сетчаткой.

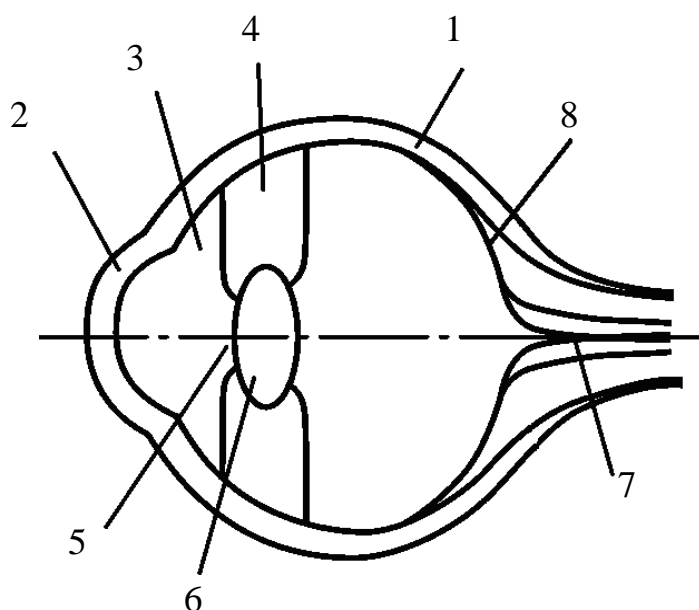


Рис. 20.1. Строение человеческого глаза

Сетчатка несколько напоминает по своему строению пчелиные соты, в каждой ячейке которых расположены светочувствительные элементы одного из двух типов: палочки (около 130 миллионов) и колбочки (около 7 миллионов).

Колбочки расположены главным образом в центральной части сетчатки против зрачка. Каждая колбочка обычно присоединена к отдельному нервному волокну, передающему воспринимаемые ощущения в головной мозг. Поэтому с помощью колбочек различаются мелкие детали рассматриваемого объекта.

Колбочки требуют для своего возбуждения сравнительно большой освещенности. Но зато они при этом, кроме ощущения света, различают цвет.

Палочки расположены в основном на периферии сетчатки. Максимум плотности палочек располагается в зоне  $10...12^\circ$  от ее центра. Палочки присоединяются к нервным волокнами, как правило, группами, в некоторых случаях до ста палочек на одно волокно. Это обеспечивает их большую светочувствительность, но не дает возможности различать мелкие детали. Зрительный нерв,

передающий от колбочек и палочек сетчатки сигналы о яркости и цветности падающего на них света, содержит около миллиона отдельных нервных волокон. Вследствие этого зрительные центры коры головного мозга одновременно получают информацию о яркости и цветовых характеристиках примерно миллиона отдельных участков наблюдаемой сцены.

**Разрешающая способность зрения.** При рассматривании двух равноудаленных от глаза светящихся точек они воспринимаются отдельно лишь при условии, что их изображения на сетчатке попадают на две колбочки, разделенные хотя бы одной колбочкой, не получающей светового раздражения (рис. 20.2а). Если изображения двух светящихся точек попадают на одну или две соседние колбочки (рис. 20.2б), то глаз воспримет их как одну точку. Следовательно, любое изображение, сфокусированное хрусталиком на сетчатку, разбивается на ряд точек.

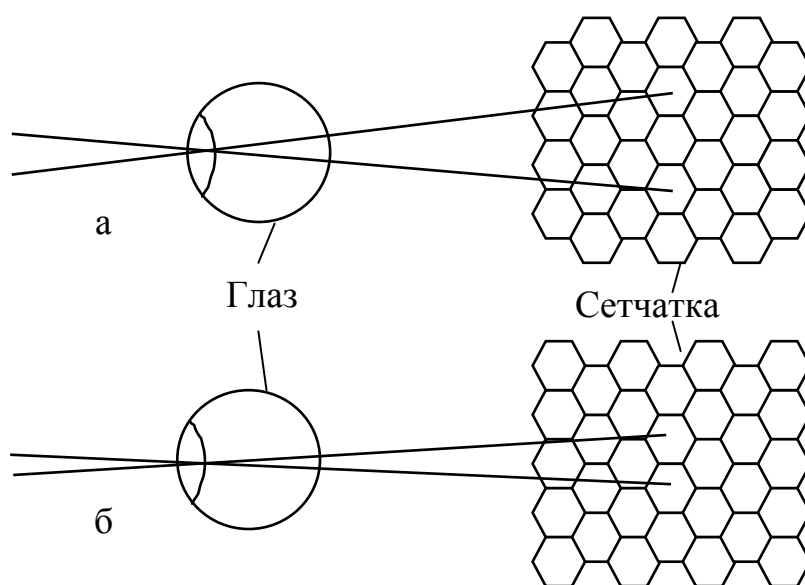


Рис. 20.2. Восприятие глазом двух точек, находящихся под различными углами зрения

Наименьший угол, под которым глаз еще может различить в отдельности две черные точки на белом фоне, называется разрешаемым углом и обычно выражается в угловых минутах. Разрешающая способность глаза сильно зависит от условий наблюдения: яркости или освещенности объектов, их яркостной или цветовой контрастности с фоном и некоторых других факторов, например адаптации (приспособляемости) глаза. При оптимальных условиях наблюдения острота зрения достигает весьма высоких значений. Однако обычно для ориентировочных расчетов остроту зрения глаза принимают равной одной угловой минуте.

**Инерционность зрения.** Фотохимические процессы в колбочках и палочках глаза не могут происходить мгновенно. Они требуют некоторого времени. Поэтому зрительные ощущения обладают известной инерционностью, то есть способностью «видеть» исчезнувшее световое изображение еще примерно 0,1 с. Если смена изображений происходит чаще 10 раз в секунду, то человек не

наблюдает разрывов между изображениями.

На инерционности зрения основан кинематограф. Лента кинофильма содержит большое число кадров. Каждый кадр – это моментальный снимок, на котором запечатлена одна из фаз движения объекта съемки. При воспроизведении на экране достаточно большого числа кадров в секунду кинозритель уже не замечает смены отдельных кадров и у него возникает ощущение непрерывного движения. Создатели телевизионных систем также использовали покадровый принцип передачи для создания иллюзии движения объектов.

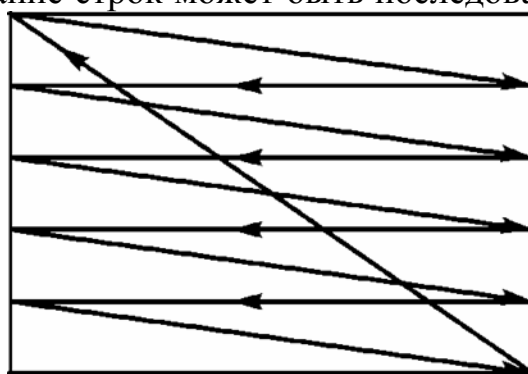
**Принцип телевизионной развертки.** Действие передающей трубки аналогично действию глаза. В зрительной системе информация об освещенности участков сетчатки передается по нервным волокнам одновременно. При одновременной передаче сигналов яркости в телевидении потребовалось бы число каналов, равное числу элементов изображения (около миллиона), что практически невозможно. Поэтому в телевидении используется последовательная передача сигналов яркости элементов изображения. Последовательная передача элементов изображения с определенной скоростью и в строго определенном порядке называется **разверткой** изображения.

Развертка может быть различной, например, при записи на компакт-диски применяется спиральная развертка; при обычной магнитной звукозаписи – линейная. В телевидении нашла применение развертка, при которой прочерчиваются параллельные строки, то есть **строчная развертка**.

Число строк разложения определяется разрешающей способностью глаза. Исследования показывают, что поле зрения глаза ограничивается углом  $120...130^\circ$ , но только в центральной части с углом около  $15^\circ$  зрение имеет большую разрешающую способность. Как было отмечено ранее, глаз различает две точки как отдельные, если угловое расстояние между ними составляет примерно одну минуту. Поэтому, чтобы строчная структура телевизионного изображения не была заметной, число строк должно быть не менее  $15^\circ/1' = 900$  строк. Как будет показано далее, от числа строк зависит ширина спектра телевизионного сигнала, поэтому выбор числа строк обусловлен также технико-экономическими показателями. Отечественным стандартом аналогового ТВ принято число строк, равное 625.

После того как закончится развертка всего изображения (625 строк), цикл повторяется с исходного положения (с первой строки). Полный цикл развертки изображения называется **кадром**. Прочерчивание строк может быть последовательным – от первой строки ко второй, от второй к третьей и т.д. После прочерчивания последней строки снова наступает очередь первой, и весь процесс повторяется снова. Такая развертка называется **прогрессивной** (рис. 20.3).

Рис. 20.3. Телевизионный растр при прогрессивной развертке

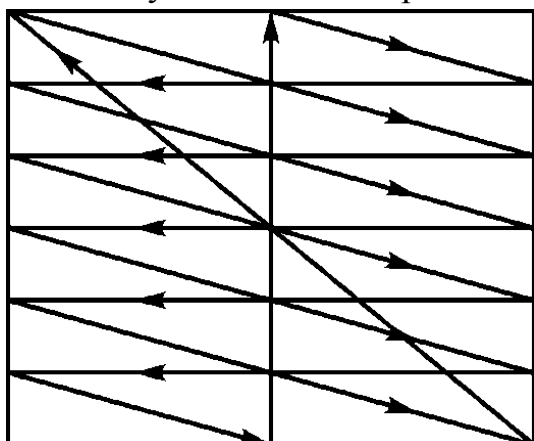


Прогрессивная развертка используется в системах прикладного телевидения и в компьютерных мониторах.

Мы отмечали, что для передачи движущихся изображений необходима частая смена кадров. Тогда за счет инерционности зрения у наблюдателя создается иллюзия непрерывного движения объекта.

Слитность движения наступает при частоте смены кадров 16...18 Гц. Однако при этом заметно мелькание яркости на экране. Частоту, при которой глаз перестает воспринимать изменение яркости, называют **критической частотой** мелькания. При демонстрации кинофильма скорость смены кадров составляет 24 кадра в секунду. Для того чтобы исключить мелькание, в кино каждый кадр показывается дважды с помощью так называемого обтюратора – механической заслонки, вращающейся перед фильмовым каналом. При этом частота проекции составляет 48 кадров в секунду, что устраняет мелькание.

В телевидении эта же задача решается с помощью **чересстрочной развертки**. Сначала передаются все нечетные строки, то есть первая, третья и т. д. После передачи половины последней нечетной строки луч перемещается в среднюю точку между первой и третьей строками и прочерчивает в промежутках между нечетными строками все четные строки. Когда заканчивается пере-



дача последней четной строки, луч возвращается к началу первой и процесс повторяется вновь (рис. 20.4). При этом передачу только нечетных или только четных строк принято называть передачей **полукадров** или **полуполей**.

Рис. 20.4. Структура ТВ кадра при чересстрочной развертке

Частота полукадров у нас в стране принята равной 50 Гц, что обеспечивает отсутствие мельканий, поскольку эта частота больше критической. В то же время частота кадров будет равна 25 Гц.

## 20.2. Спектр частот телевизионного сигнала

Сигнал изображения, полученный в процессе развертки с помощью передающей телевизионной трубки, называется **видеосигналом**. Для определения спектра видеосигнала необходимо определить низшую и высшую частоты спектра.

На рис. 20.5а приведен простейший пример неподвижного изображения в виде двух горизонтальных полос – белой и черной. Как видно из рисунка, сигнал, соответствующий этому изображению, представляется в виде импульсов с периодом следования  $T_k$ , равным времени передачи кадра.

Частота этих импульсов (первая гармоника в соответствующем этим импульсам ряду Фурье) будет равна частоте смены кадров. При заданной частоте кадров невозможно придумать неподвижное изображение для сигнала, частота первой гармоники которого была бы ниже частоты кадров. Таким образом, нижняя частота спектра телевизионного сигнала  $f_n = 1/T_k$ . При чересстрочной развертке изображение рис. 20.5а практически будет одинаковым как в четном, так и в нечетном полукадре. В связи с этим при чересстрочной развертке за нижнюю границу спектра следует принять частоту, равную числу полукадров, то есть 50 Гц.

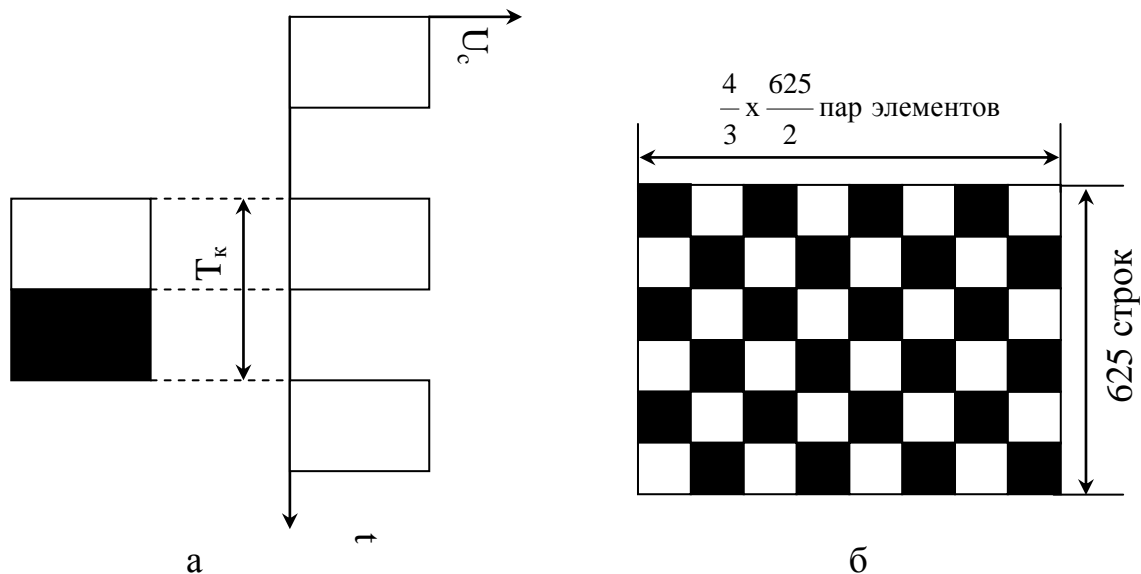


Рис. 20.5. К определению нижней (а) и верхней (б) границ спектра частот телевизионного сигнала

Верхняя граница спектра телевизионного сигнала определяется мельчайшими деталями изображения, которые еще могут быть воспроизведены на экране кинескопа. В кинескопе должна быть возможность сфокусировать электронный луч так, чтобы его диаметр был равен толщине одной строки. Для определения верхней частоты подсчитаем число пар черных и белых элементов на изображении «шахматной доски», состоящей из клеточек, вертикальный и горизонтальный размеры которых равны диаметру развертывающего луча (рис. 20.4б). Число пар таких клеточек, передаваемых в секунду, и определит верхнюю границу спектра телевизионного сигнала.

Число пар элементов по горизонтали определяется длиной строки, зависящей от формата изображения. Стандартное соотношение ширины экрана к его высоте в телевидении, как и в кино, выбрано равным 4:3. При этом число пар элементов составит  $\frac{4}{3} \times \frac{625}{2} \approx 416$ ; число пар во всем кадре



$\frac{4}{3} \times \frac{625}{2} \times 625 \approx 260000$ . Так как частота кадров при чересстрочной развертке равна 25 Гц, общее число пар элементов, передаваемых в секунду, составит 6500000. Таким образом, верхняя частота телевизионного сигнала равна 6,5 МГц.

Расчет верхней частоты производят по формуле  $f_{\text{в}} = \frac{4}{3} \frac{Z^2 f_{\text{к}}}{2}$ ,

где  $Z$  – число строк;  $f_{\text{к}}$  – частота кадров.

Из формулы видно, что чересстрочная развертка дает возможность в 2 раза уменьшить полосу частот, занимаемую видеосигналом. Кроме того, квадратичная зависимость полосы частот от числа строк накладывает жесткие ограничения на их выбор. Практика показывает, что верхняя частота телевизионного сигнала может быть уменьшена на 15...20% без заметного ущерба для качества передачи. При этом  $f_{\text{в}} = 5... 6$  МГц.

Экспериментальные исследования, проведенные в последнее время, показали, что телезрители предпочитают формат ТВ кадра с отношением сторон 16:9. Широкоформатное ТВ изображение существенно более комфортно при его рассматривании, чем традиционные форматы 4:3. Главная причина этого заключается в особенностях зрительного восприятия человека. В этом случае увеличивается угол зрения в горизонтальном направлении, что ведет к росту объема воспринимаемой информации. При этом в восприятии участвуют периферические области сетчатки, которые уменьшают заметность границ изображений, повышают различимость отображаемых объектов, а также усиливают впечатление объемности и относительного пространственного расположения рассматриваемых объектов. Поэтому в современных ТВ системах используется формат кадра 16:9. В свою очередь это приведет к некоторому увеличению верхней граничной частоты спектра ТВ сигнала (примерно в 1,33 раза).

Строчная структура телевизионного сигнала приводит к тому, что спектральные составляющие не распределены в указанном диапазоне частот равномерно. Они группируются в сравнительно узкие полосы вокруг гармоник строчной частоты (рис. 20.6). «Пустые» зоны в спектре видеосигнала используются для передачи информации о цвете.

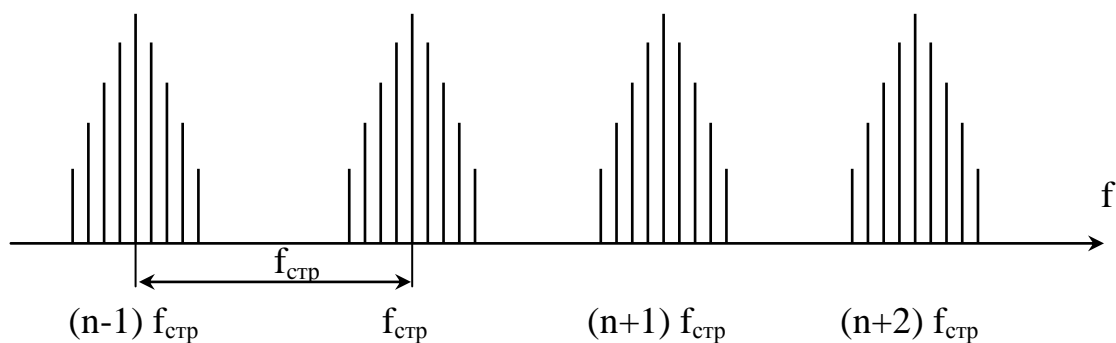


Рис. 20.6. Спектр видеосигнала

### 20.3. Полный телевизионный сигнал

Передача изображения возможна только в том случае, когда движение электронного луча на экране приемной трубки синхронно и синфазно с движением луча передающей трубки.

Синхронизация осуществляется путем передачи по каналу связи особых синхронизирующих импульсов (строчных и кадровых). Эти импульсы вырабатываются в передающей части тракта (рис. 20.7) синхрогенератором (СГ). Последний управляет работой блока развертки (БР) передающей трубки (ПТ) и одновременно подает синхроимпульсы в видеоусилитель (ВУ), где они смешиваются с видеосигналом. Затем полным сигналом модулируют несущую частоту передатчика (Пер).

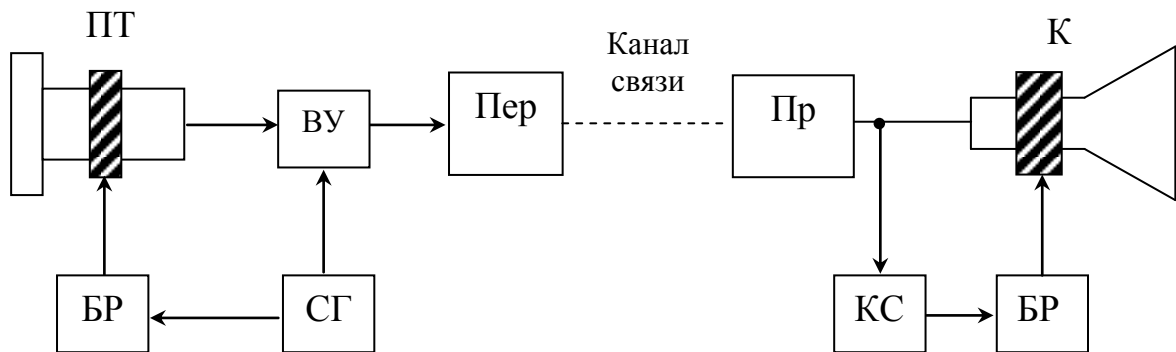


Рис. 20.7. Структурная схема телевизионной системы

В приемнике (Пр) из модулированных колебаний выделяется сигнал яркости, который с помощью приемной трубки – кинескопа (К) преобразуется в оптическое изображение. В канале синхронизации (КС) происходит отделение синхроимпульсов от сигнала яркости. Выделенные синхроимпульсы используются для синхронизации блока развертки (БР) приемного устройства.

Кроме синхроимпульсов в состав телевизионного сигнала должны также входить гасящие импульсы, которые запирают передающую и приемную трубки во время обратного хода строчной и кадровой разверток.

Таким образом, полный телевизионный сигнал состоит из сигналов яркости (видеосигнала), сигналов строчной и кадровой синхронизации и гасящих импульсов (ГИ).

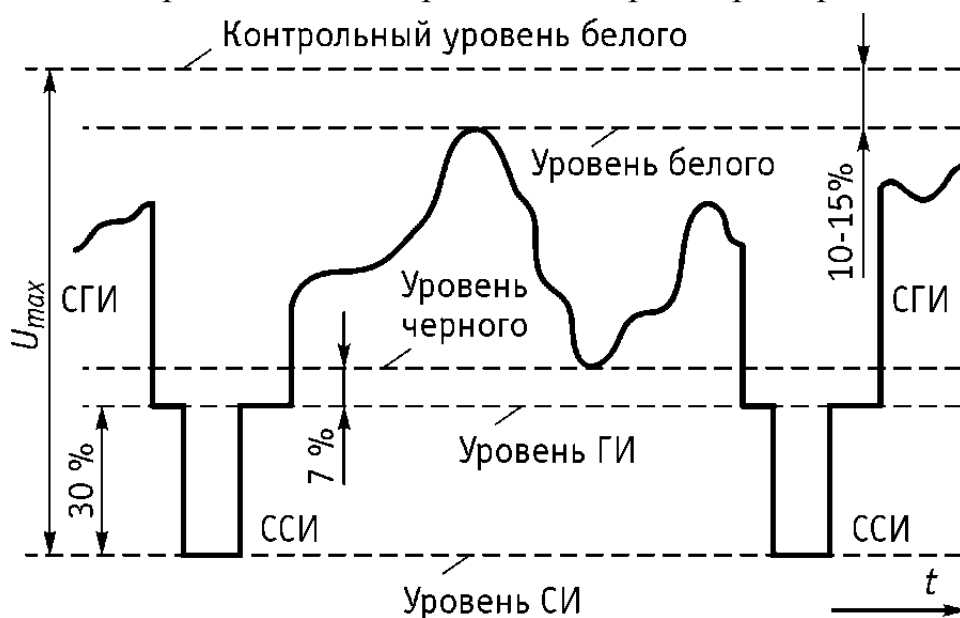
Для упрощения процесса ознакомления целесообразно рассмотреть сначала структуру ТВ сигнала во временном интервале, где отсутствуют кадровые гасящие импульсы (КГИ). Форма полного ТВ сигнала, соответствующего одному периоду строчной развертки, показана на рис. 20.8.

В интервале времени, соответствующем прямому ходу строчной развертки, передается видеосигнал, величина которого пропорциональна яркости передаваемых элементов изображения. Уровень видеосигнала, соответствующий минимальному значению яркости, называется уровнем черного, а уровень, соответствующий максимальному значению яркости, – уровнем белого. Между

этими уровнями располагаются все остальные значения видеосигнала, соответствующие промежуточным значениям яркости.

Чтобы обратные ходы разверток не были заметны зрителю, необходимо яркость в это время сделать минимальной. Для этой цели в видеосигнал во время обратного хода строчной и кадровой разверток вводятся специальные строчные и кадровые гасящие импульсы (СГИ и КГИ), длительность которых соответствует длительности обратных ходов строчной и кадровой разверток.

Рис. 20.8. Форма ТВ сигнала положительной полярности\* на строчном интервале



Строчные и кадровые синхронизирующие импульсы (ССИ, КСИ) не должны мешать передаче видеосигнала, поэтому их располагают на вершинах гасящих импульсов (ГИ) в так называемой области «чернее черного». Различие между ними состоит в частоте повторения и длительности: частота повторения ССИ соответствует частоте строк, а длительность равна 4,7 мкс, частота следования КСИ равна 50 Гц при длительности 160 мкс.

Структура ТВ сигнала во время передачи кадровых импульсов показана на рис. 20.9. При чересстрочной развертке первое поле включает строки с 1 по 312 и половину 313 строки, а второе поле включает вторую половину строки 313 и строки с 314 по 625. Для исключения нарушений строчной синхронизации ССИ следует передавать и во время КГИ, и во время КСИ. ССИ во время передачи КСИ помещаются внутри него в виде врезок, из которых в телевизорах формируются обычные ССИ.

\* Заметим, что форма телевизионного сигнала может быть любой, как положительной, так и отрицательной.

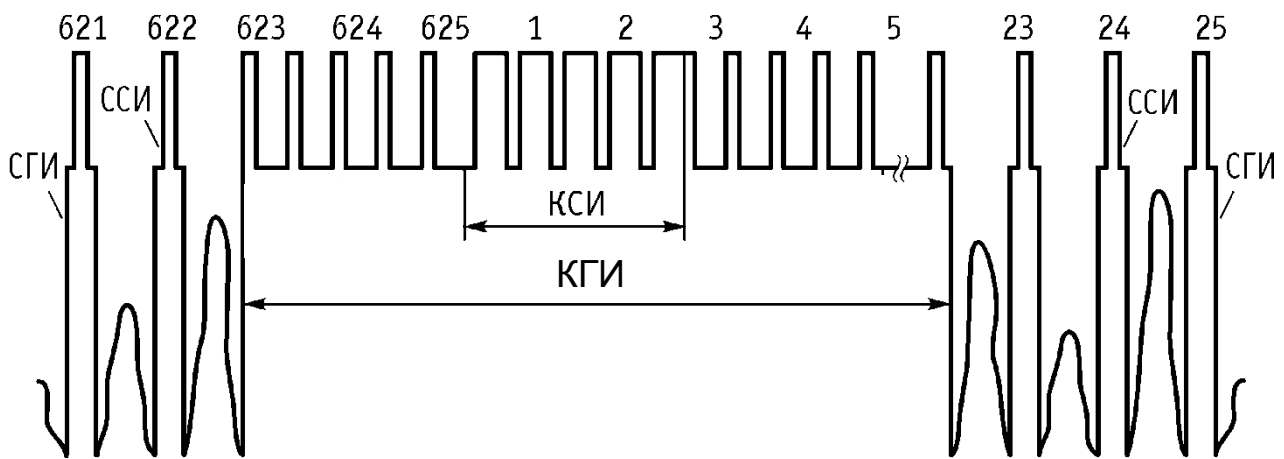


Рис. 20.9. Форма ТВ сигнала отрицательной полярности на кадровом интервале

#### 20.4. Принципы передачи и воспроизведения информации в цвете

**Цветовое зрение.** Техника цветного телевидения значительно сложнее, чем черно-белого. Однако существенные преимущества цветного изображения – его несравненно большие выразительность, естественность, определенность и отчетливость – оправдывают это усложнение. Для многих передач цвет является совершенно необходимым компонентом.

Установлено, что человеческий глаз различает до 180 цветовых тонов. Может сложиться мнение, что для передачи всей гаммы цветовых тонов нужно иметь канал связи, обладающий в 180 раз большей пропускной способностью, чем обычный черно-белый канал. Однако это не так. Замечательное свойство глаза – трехцветное зрение – позволяет обходиться только трехкратным увеличением пропускной способности цветного канала по сравнению с черно-белым. Применение специальных технических мер, которые рассматриваются дальше, дает возможность еще больше сократить необходимую пропускную способность.

Идея теории трехкомпонентного цветового зрения, на которой основана система современного цветного телевидения, впервые была высказана М. В. Ломоносовым. Затем эту теорию обстоятельно развил Г. Гельмгольц.

Согласно данной теории в сетчатой оболочке человеческого глаза имеются три типа колбочек, обладающих различной спектральной чувствительностью. Возбуждение колбочек одного типа дает ощущение красного цвета, другого – зеленого и третьего – синего цвета. Световые лучи, падающие от наблюдаемого объекта на сетчатку, воздействуют одновременно на колбочки всех типов. Лучи белого цвета возбуждают в одинаковой степени все колбочки. При неодинаковой степени возбуждения различных колбочек возникает ощущение цветного изображения. Красный, зеленый и синий цвета называются основными. Они взаимонезависимы, так как ни один из них нельзя получить путем сложения двух других. Все остальные цвета получаются в результате одновре-

менного воздействия на сетчатку световых колебаний трех основных цветов, взятых в определенном количественном соотношении.

**Принципы передачи цветного изображения.** Из теории трехкомпонентного цветного зрения можно сделать вывод, что для передачи цветного изображения необходимо:

- разложить изображение на три основных цвета: красный, зеленый и синий;
- преобразовать три цветных изображения в электрические сигналы;
- передать электрические сигналы в приемник и преобразовать их в оптические изображения красного, зеленого и синего цветов;
- смешать все три цветных сигнала в один.

Различают поочередные и одновременные системы разложения и сложения цветов для передачи цветного изображения. При поочередной системе все три сигнала основного цвета передаются последовательно по одному и тому же каналу связи. При одновременной системе все три сигнала основного цвета передаются одновременно по разным каналам связи.

При выборе принципа передачи цветного изображения основным является требование совместимости. Под термином «совместимость» понимаются возможность приема цветных программ в черно-белом виде на черно-белые телевизоры и возможность использования многочисленного и дорогостоящего оборудования действующих сейчас телевизионных станций и особенно линий междугородной связи для передачи цветных программ. Кроме того, цветные телевизоры должны обеспечивать прием черно-белых программ.

Для удовлетворения принципа совместимости необходимо, чтобы параметры цветного телевидения были такими же, как и черно-белого: частота кадров 25 Гц, ширина полосы частот сигнала изображения не превышает 6,5 МГц, число строк 625. В составе сигнала цветного телевидения должен быть такой сигнал, который на экране черно-белого телевизора давал бы нормальное черно-белое изображение. Следовательно, одним из сигналов изображения цветного телевидения должен быть яркостный сигнал  $Y$ .

При поочередной системе для устранения мельканий вместо 25 кадров пришлось бы передавать 75 кадров в секунду. При одинаковом числе строк в кадре данная система цветного телевидения будет иметь в 3 раза более широкую полосу частот сигнала изображения по сравнению с черно-белым телевидением. Передавать и принимать такую широкую полосу частот при использовании радиоканала технически трудно. В телевизионном вещании поочередная система цветного телевидения не применяется, в отличие от прикладных телевизионных систем.

Одновременная система цветного телевидения на первый взгляд требует расширения спектра частот в 4 раза, так как необходимо передать яркостный сигнал  $Y$  и сигналы цветности – красный  $R$ , зеленый  $G$ , синий  $B$ . Рассмотрим, каким образом удалось сократить полосу частот в системе цветного телевидения.

Известно, что яркостный сигнал является суммой сигналов цветности:  $Y=0,59G + 0,3R + 0,11B$ . Поскольку в яркостном сигнале содержится 59% зеленого, специальный сигнал зеленого можно не передавать. При этом будет обеспечиваться совместимость (за счет передачи яркостного сигнала) и число сигналов сокращается до трех: яркостного, красного и синего.

Дальнейшее сужение полосы частот может быть достигнуто за счет свойства цветного зрения. Известно, что при малых углах зрения мелкие окрашенные детали воспринимаются глазом как черно-белые. Ранее отмечалось, что мелким деталям изображения соответствуют высокие частоты, крупным – сравнительно низкие. Опытным путем было установлено, что для передачи цветных деталей изображения достаточна полоса частот шириной всего около 1,5 МГц.

Кроме того, сигналы красного и синего цветов помимо информации о цветовом тоне и насыщенности несут информацию о яркости данного участка изображения, которая является совершенно излишней, поскольку уже имеется специальный яркостный сигнал. Поэтому вместо сигналов красного и синего цветов целесообразно передавать так называемые цветоразностные сигналы  $Cr=R-Y$  и  $Cb=B-Y$ , не несущие информации о яркости. Эти сигналы называются сигналами цветности, а сама система носит название  $YCbCr$ .

Рассматривая спектр телевизионного сигнала, мы отмечали, что при построении передачи изображения спектр яркостного сигнала оказывается дискретным (см. рис. 20.6) и в нем имеются свободные от сигнала участки. Так как полоса частот сигналов цветности существенно сокращена, появляется возможность уплотнить канал связи этими сигналами, разместив их в свободных участках спектра. Это достигается соответствующим выбором поднесущей сигналов цветности.

Теперь самое время заговорить о системах и стандартах цветного телевидения. Каким образом кодировать сигналы цветности, было решено в различных странах различными способами. Настолько различными, что это привело к появлению трех основных несовместимых друг с другом стандартов.

## 20.5. Аналоговые телевизионные системы

Для работы ТВ-приемника необходим источник сигналов кадровой синхронизации, которые указывают ему момент начала кадра в ТВ-сигнале. В качестве такого источника было решено использовать частоту питающей сети.

В мире используются две частоты электропитания – 50 и 60 Гц. Это сразу же разделило мир на два лагеря: 25 кадров в секунду (50 Гц) и 30 кадров в секунду (60 Гц). Позднее, с приходом цвета, «60-герцовые» страны сделали небольшую поправку и перешли к частоте 59,94 Гц. Однако, различная частота кадров – не единственная причина несовместимости ТВ-систем.

В Российской Федерации и во Франции в качестве стандартной аналоговой системы была принята система **SECAM** (SEquential Couleur Avec Memoire – последовательная передача цветов с запоминающим устройством). Данная сис-

тема является последовательно-одновременной системой цветного телевидения, так как преобразование цветного изображения в три первичных сигнала R, G и B происходит одновременно, а передача цветоразностных сигналов – поочередно (через строку): в течение одной строки передается сигнал B-Y, а в течение другой строки – R-Y.

Полученный в результате коммутации цветоразностный сигнал после некоторой обработки используется для модуляции цветовой поднесущей. Промодулированная поднесущая смешивается с сигналом яркости Y, в результате чего получается цветовой телевизионный сигнал.

В США была разработана цветная система с квадратурной модуляцией поднесущей частоты **NTSC** (National Television System Committee, то есть система, предложенная Национальным комитетом ТВ систем).

В качестве сигналов для передачи цветовой информации в системе NTSC (525 строк, 30 кадров в секунду) приняты также цветоразностные сигналы. Различие заключается в том, что оба цветоразностных сигнала передаются одновременно, в каждой строке развертки, причем без расширения полосы частот, занимаемой сигналом цветности в спектре сигнала яркости. Это достигнуто применением квадратурной модуляции, при которой две поднесущие, модулируемые цветоразностными сигналами по амплитуде, имеют одну и ту же частоту, но сдвинуты друг относительно друга по фазе на  $90^\circ$ .

В ФРГ разработана система с квадратурной модуляцией и строчно-переменной фазой **PAL** (Phase Alternation Line). Система PAL (625 строк, 25 кадров в секунду) в своей основе содержит все идеи американской NTSC. Особенность PAL заключается в оригинальном способе устранения фазовых искажений, присущих системе NTSC. В системе PAL фаза поднесущей одного цветоразностного сигнала от строки к строке меняется на  $180^\circ$  градусов. Кроме того, в приемнике используется линия задержки на время одной строки (64 мкс). То есть имеются два сигнала цветности с относительной задержкой на одну строку. Изменение фазы от строки к строке на  $180^\circ$  приводит к тому, что фазовые ошибки, одинаковые по величине, имеют разные знаки. Сложение напряжения на входе линии задержки с перевернутым напряжением на ее выходе устраняет ошибку фазы.

## **20.6. Основы цифрового телевидения**

### **20.6.1. Основные принципы**

Возрастающие требования к качеству телевизионного вещания, дальнейшее совершенствование его технологии приводят к необходимости изыскания новых эффективных методов создания, записи и передачи сигналов телевизионных программ. Основное требование к передаче телевизионных сигналов сводится к обеспечению минимальных искажений. Однако в процессе формирования и записи сигналов телевизионных программ, а также при передаче по линиям связи методами и средствами, используемыми в аналоговом телевиде-

нии, телевизионный сигнал подвергается искажениям, которые накапливаются с увеличением числа обработок и переприемов. Особенно сильно эти искажения проявляются при компоновке программ, осуществляемой путем электронного монтажа видеозаписей на магнитной ленте. При многократной перезаписи фрагментов программ, неизбежной во время монтажа, происходит существенное ухудшение качества аналоговых сигналов. Аналоговый тип телевизионных сигналов ограничивает дальнейшее повышение качества изображения и возможности различных спецэффектов. Отмеченные ограничения могут быть преодолены путем перехода на цифровую форму телевизионного сигнала. Поэтому в последние годы практически повсеместно и активно внедряется цифровое телевидение.

Отметим преимущества перехода к цифровой форме представления и передачи телевизионных сигналов:

- Появляется возможность создания унифицированного видеоборудования, которое, используя единый стандарт цифрового кодирования, вытеснит несовместимые между собой системы цветного телевидения – SECAM, PAL, NTSC.

- Все цифровые сигналы обрабатываются по единой технологии. Повышается стабильность параметров оборудования, которое работает в бесподстроечном режиме. Тем самым обеспечивается значительное повышение качества телевизионного изображения, особенно при цифровой видеозаписи с применением электронного монтажа.

- Качество цифровой видеозаписи чрезвычайно важно для создания фоновых и архивных материалов, а также для длительного их хранения.

- Внедрение единого стандарта цифровой видеозаписи значительно облегчает международный обмен телевизионными программами.

- Применение цифровых сигналов значительно расширяет номенклатуру спецэффектов. Это и выборочная обработка участков кадра, и электронный монтаж из фрагментов нескольких кадров, замена объектов в кадре, геометрические преобразования изображений и т. п.

- Цифровая техника открывает совершенно новые возможности в художественном оформлении телевизионных программ, что существенно обогащает технологию телевизионного вещания, делая ее исключительно гибкой и высокопроизводительной.

- Повышается качество передачи сигналов телевизионных программ по линиям связи благодаря значительному ослаблению эффекта накопления искажений и применению кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки передачи.

Основной сложностью при записи цифрового видео и при его передаче по каналам связи является большой объем телевизионного сигнала. Проведем расчет, который покажет, какой же объем будет иметь обычный двухчасовой фильм в разрешении всего лишь 640x480 с частотой смены кадров 25 Гц. Пусть каждая точка принадлежит стандартной компьютерной палитре RGB:  $640 \times 480 \times 3 = 900$  кбайт – размер одного кадра, 22500 кбайт – размер одной се-



кунды видео, 154 Гбайт! – размер всего фильма. Ясно, что такие огромные объемы информации хранить и передавать очень сложно. Так, если мы хотим поместить фильм из примера на CD-диск, то нам понадобятся 243 диска, а на DVD-диск – 33 диска!

Проблему большого объема ТВ сигнала следует также рассмотреть с точки зрения скорости цифрового потока. Напомним, что скоростью цифрового потока  $c$  называется число передаваемых двоичных знаков  $k$  в единицу времени. Скорость передачи ТВ-сигнала в цифровой форме равна произведению частоты дискретизации  $f_d$  и числа двоичных символов  $k$  в одном дискретном отсчете.

$$c = f_d k.$$

Число двоичных символов  $k$  в кодовой комбинации одного отсчета связано с числом уровней квантования  $m$  исходного сигнала соотношением

$$k = \log_2 m \approx 3,3m.$$

Для количественной оценки скорости передачи цифрового сигнала необходимо обосновать выбор  $k$  и  $f_d$ .

Выбор числа уровней квантования определяется требованием к минимизации ошибок, возникающих из-за замены истинных значений отсчетов сигнала их квантованными значениями.

Недостаточное число уровней квантования особенно неприятно сказывается на цветных изображениях. Шумы квантования проявляются в виде цветных узоров, особенно заметных на таких сюжетах, как лицо крупным планом, на плавных перепадах яркости и пр. В настоящее время рекомендуется использование линейной десятиразрядной шкалы квантования, предусматривающей квантование на 1024 уровня. Хотя еще несколько лет назад считалось вполне удовлетворительным квантование на 256 уровней (восьмиразрядной шкалой).

На рис. 20.10 приведены диаграммы, дающие представление о соответствии между аналоговым сигналом яркости  $E_y$  и уровнями квантования для восьми- и десятиразрядной шкал. В восьмиразрядной шкале сигналу отводится 220 уровней квантования (с 16-го, соответствующего уровню черного, по 235-й, соответствующий белому). В десятиразрядной шкале яркостный сигнал квантуется на 877 уровней (64-й соответствует уровню черного, а 940-й – уровню белого). Из неиспользуемых уровней одна часть резервируется для цифровых синхронизирующих сигналов, другая – представляет собой рабочий запас на возможные в процессе преобразования аналогового сигнала превышения им допустимого диапазона значений. Подобные случаи для аналоговой техники весьма вероятны, а связанные с этим перегрузки аналогово-цифровых преобразователей приводили бы к заметным неустраняемым искажениям в изображении.

Рассмотрим теперь факторы, определяющие выбор частоты дискретизации.

При полосе частот яркостного сигнала, равной 6 МГц, частота дискретизации должна быть выбрана не менее 12 МГц. Учитывая невозможность созда-

ния фильтра нижних частот с прямоугольной АЧХ, эта цифра должна быть несколько увеличена.

Кроме этого условия в цифровом телевидении частоту дискретизации сигнала стремятся выбрать кратной частоте строк.

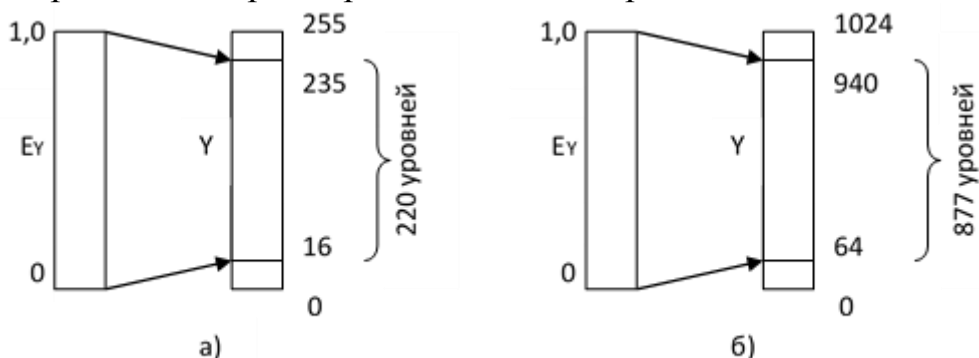


Рис. 20.10. Соответствие размаха яркостного аналогового сигнала шкале квантования: а – восьмиразрядная шкала; б – десятиразрядная шкала

При таком выборе частоты дискретизации оказывается, что отсчеты сигнала занимают фиксированное положение относительно начала строки. Этим отсчетам соответствуют точки на экранах ТВ мониторов, координаты которых располагаются в углах прямоугольной решетки (рис. 20.11). Таким образом, дискретная структура сигнала по времени оказывается жестко связанной с пространственной дискретизацией изображения. Описанная структура дискретизации называется ортогональной.

Из проведенных рассуждений следует, что частоту дискретизации цифровой ТВ-системы определяют параметры развертки и видеосигнала.

Напомним, что доживающие свой век аналоговые стандарты отличаются друг от друга совокупностью параметров. Американский стандарт разверток 525/60 определяет частоту полуполей 60 Гц, число строк в кадре 525, частоту строк 15734,26 Гц. Все прочие стандарты ТВ-вещания по параметрам развертки относят к европейскому стандарту 625/50, с частотой строк 15 625 Гц.

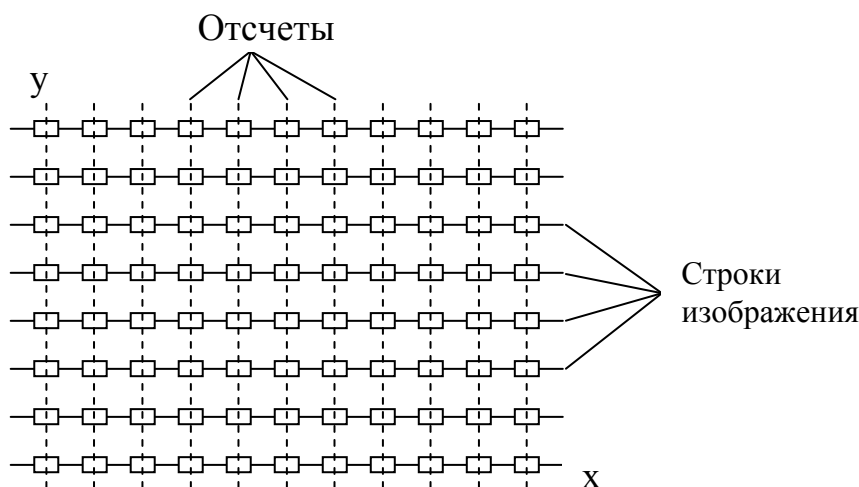


Рис. 20.11. Ортогональная структура дискретизации

Верхняя частота спектра видеосигнала в американском стандарте соответствует 4,2 МГц, а максимальная верхняя частота спектров европейских стандартов составляет 6 МГц.

Разработчики цифрового телевидения стремились создать такую аппаратуру, чтобы она могла сопрягаться с различными стандартами ТВ-вещания. Это позволяет создать общую систему ТВ-программ в международном масштабе.

Учитывая приведенные выше замечания и руководствуясь требованиями, предъявленными к частоте дискретизации, можно сделать следующие выводы.

1. Искажения сигнала будут отсутствовать во всех стандартах ТВ-вещания, если частота дискретизации будет больше 12 МГц.

2. Условие ортогональности структуры дискретизации будет выполнено независимо от стандарта ТВ, если частота дискретизации составит 13,5 МГц (эта частота соответствует 864-й гармонике частоты строчной развертки стандарта 625/50 и 858-й гармонике строчной частоты стандарта 525/60).

### 20.6.2. Субдискретизация сигнала цветности

Мы уже выяснили, что человеческий глаз в большей степени чувствителен к яркости, чем к разнице цветов. Таким образом, в цветовой системе YCbCr можно уделять большее внимание составляющей Y, чем составляющим Cb и Cr. В результате субдискретизации цветных составляющих можно добиться значительного сокращения полосы видеосигнала в видеостандартах и алгоритмах сжатия.

Предположим, что перед субдискретизацией мы имеем поток YCbCr с полной полосой. Такой поток имеет название 4 : 4 : 4 YCbCr. Эта запись выглядит необычно, однако расшифровывается она довольно просто. Первое число всегда равно «4» и соответствует исторически сложившемуся соотношению между частотой дискретизации сигнала яркости и частотой поднесущей сигнала цветности стандарта NTSC. Второе число соответствует соотношению числа элементов яркости и цветности в отдельно взятой строке (по горизонтали). В отсутствие субдискретизации составляющих цветности это значение равно «4». Третье число совпадает со вторым и показывает, что субдискретизация по вертикали также отсутствует. Таким образом, запись «4 : 4 : 4» подразумевает, что каждому пикселу в каждой строке соответствует собственное уникальное значение компонентов Y, Cb и Cr.

Выполнив субдискретизацию сигнала цветности с коэффициентом 2 по горизонтали, мы получим из потока 4 : 4 : 4 поток 4 : 2 : 2. Запись «4 : 2 : 2» означает, что в отдельно взятой строке на 2 значения цветности приходится 4 значения яркости (см. рис. 20.12б). Сигнал 4 : 2 : 2 очень немного проигрывает по качеству изображения сигналу 4 : 4 : 4, зато требуемая ширина полосы сокращается на 33% от исходной.

Схема «4 : 2 : 2» – не единственный вариант субдискретизации. Например, при субдискретизации сигнала цветности потока 4 : 4 : 4 по горизонтали с коэффициентом 4 получается поток 4 : 1 : 1, который широко применяется для

представления входной (выходной) информации в алгоритмах сжатия (декомпрессии) видеосигналов.

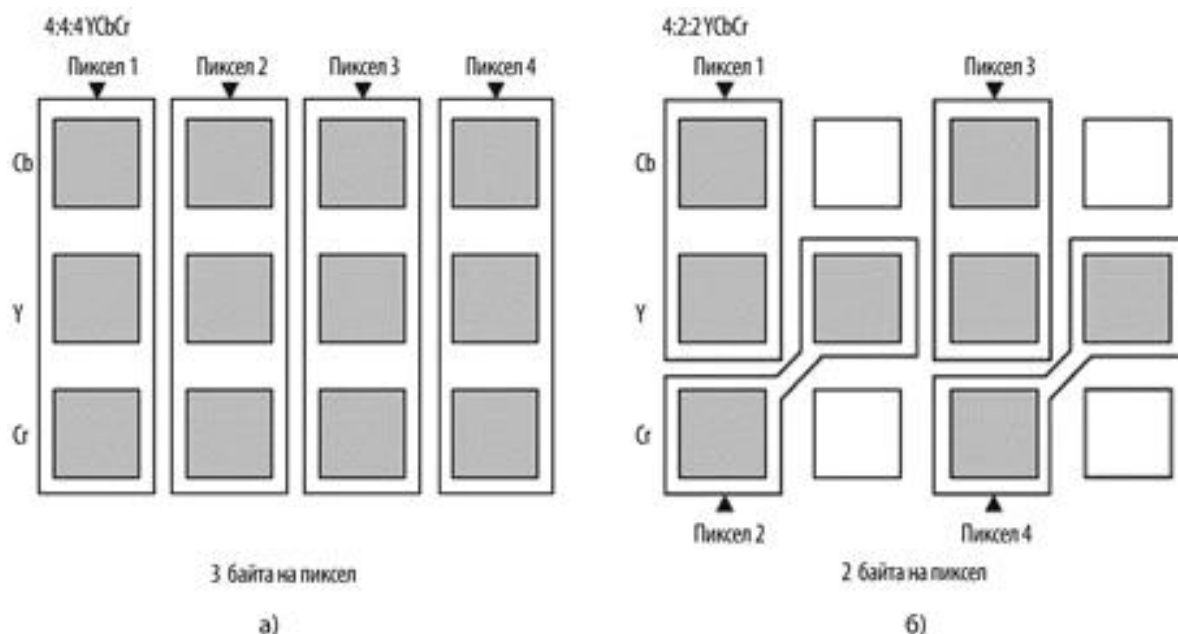


Рис. 20.12. Варианты дискретизации пикселей 4 : 4 : 4 и 4 : 2 : 2

Еще одним популярным форматом, используемым в алгоритмах сжатия и декомпрессии, является формат 4 : 2 : 0. Он несколько сложнее описанных выше форматов, поскольку каждый из компонентов Cb и Cr подвергается в нем субдискретизации с коэффициентом 2 и по горизонтали, и по вертикали. Ниже в таблице показаны основные варианты субдискретизации.

Вид формата	Отношения разрешений по горизонтали (Cb/Y):	Отношение разрешений по вертикали (Cb/Y):
4:4:4	1:1	1:1
4:2:2	1:2	1:1
4:2:0	1:2	1:2
4:1:1	1:4	1:1
4:1:0	1:4	1:4

### 20.6.3. Стандарты цифрового телевизионного вещания

Международные стандарты цифрового телевидения принимаются в первую очередь Международной организацией по стандартизации ISO (International Organization for Standardization), объединяющей национальные комитеты по стандартизации более 100 стран мира. В составе этой организации формируются группы занимающиеся проблемами и стандартизацией отдель-

ных отраслей техники. Одной из групп, занимающейся стандартами цифрового вещания, является группа MPEG (Motion Picture Expert Group).

Другой организацией, играющей значительную роль в стандартизации, является Международный союз электросвязи ITU (International Communication Union). Организация выпускает Рекомендации, которые в дальнейшем могут быть преобразованы в международные или в национальные стандарты решениями национальных органов стандартизации.

Мы отметили, что в эпоху аналогового телевидения использовались три стандарта: PAL, SECAM, NTSC. Цифровое ТВ в настоящее время использует также три базовых стандарта.

Наиболее распространенный – это, конечно, DVB и его модификации. Так называемый DVB Project был инициирован конгломератом европейских институций, так или иначе причастных к радиовещанию и телекоммуникациям. Это EBU (European Broadcasting Union), ETSI (European Telecommunications Standards Institute) и CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). Неожиданно, или, наоборот, вполне ожидаемо, стандарт приобрел невиданную популярность. Сейчас он используется или тестируется в десятках стран.

Однако всегда найдутся страны, считающие себя достаточно развитыми в техническом отношении для того, чтобы пойти своим, особенным путем.

В первую очередь это Япония. Стандарт ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) почти нигде, кроме самой Японии, не применяется. Впрочем, появились и довольно экзотические, сугубо локальные его модификации вроде SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisão Digital). Такой стандарт используется исключительно в Бразилии и, скорее всего, больше никогда и нигде еще использоваться не будет.

Было бы странно, если бы в ногу со всем миром пошли и Соединенные Штаты. Там тоже отвергли DVB в пользу собственной разработки – стандарта ATSC. Как это обычно бывает, этот стандарт принят и странами, традиционно входящими в сферу культурного, экономического и политического влияния США. Это ближайшие соседи – Канада и Мексика, а также Южная Корея.

И все-таки большинство государств отдали предпочтение DVB. Сейчас более 300 компаний в мире, причем не самых мелких, работает над применением и разработкой стандарта. Реализованные проекты показали неоспоримые преимущества DVB-T. Австралия провела скрупулезный сравнительный анализ стандартов DVB-T и ATSC, результатом которого явился выбор DVB-T. Сингапур провел сравнительные испытания DVB-T, ATSC и японского стандарта ISDB-T, который является модификацией DVB-T, и также выбрал DVB-T.

Что такое DVB? Согласно задумке, DVB Project был инициирован для того, чтобы облегчить разработчикам и производителям техники работу и снизить издержки. В идеале планировалось унифицировать технику и вещание таким образом, чтобы какой-либо переделки оборудования, передающих станций не требовалось бы вообще.

В зависимости от среды распространения сигнала стандарт DVB имеет несколько модификаций:

- **DVB-C** – (Cable – кабель) распространение цифрового ТВ сигнала по кабелю;
- **DVB-H** – (Handheld – наладонник) наземное вещание ТВ на мобильные терминалы (телефоны);
- **DVB-T** – (Terrestrial – наземная антенна) распространение цифрового ТВ сигнала в эфире;
- **DVB-S** – (Sputnik – спутник) распространение цифрового ТВ сигнала через спутник;
- **DVB-SH** – гибридный формат, совмещающий в себе спутниковое/наземное вещание, с возможностью мобильного приёма;
- **DVB-IPDC** – способ представления информации для мобильного телевидения DVB-H (в общем случае – для передачи по сетям IP).

Работы по внедрению цифрового телевидения в Российской Федерации были начаты в 2009 году. Изначально была признана целесообразность внедрения в Российской Федерации европейской системы цифрового телевизионного вещания DVB (Digital Video Broadcasting). Начались работы по внедрению стандарта цифрового телевидения DVB-T ETSI EN 300 744. Некоторые телерадиокомпании начали разворачивать свои сети цифрового телевидения и реализовывать телевизионные приставки конечным потребителям.

Однако в том же году в Великобритании были развернуты опытные зоны нового стандарта вещания DVB-T2 для передачи пакетов программ высокой четкости (HDTV) в стандарте компрессии MPEG-4. 2 декабря 2009 года в странах Британского Содружества началось регулярное вещание четырех HD-каналов.

Дабы не отставать от своих западных соседей, в сентябре 2011 года Правительственная комиссия РФ по развитию телерадиовещания приняла решение о переводе сети цифровой эфирной трансляции на вещание в стандарте DVB-T2. А 29–30 июня 2011 года уже ФГУП «Российская телевизионная и радиовещательная сеть» (РТРС) провела тестовое телевещание в режиме передачи сигнала DVB-T2. В одних и тех же точках замерили несколько параметров при работе в DVB-T и DVB-T2: сигнал/шум, напряженность поля, полезная скорость, качество картинки и др. По результатам работ было выявлено, что эффективность нового стандарта примерно в полтора раза лучше старого. Одновременно с этим в лаборатории новосибирской компании НПП «Триада ТВ» проводились тесты с целью изучения оборудования стандарта DVB-T2. В итоге лабораторные и полевые испытания подтвердили все теоретические предположения по поводу положительных характеристик нового стандарта.

Достоинства стандарта DVB-T2 очевидны. Во-первых, это более высокое качество изображения. Плюс новый стандарт делает передающий сигнал более помехоустойчивым, что дает возможность увеличить зону уверенного приема ТВ-сигнала.

Кроме того, стандарт DVB-T2 позволяет предоставлять абонентам различные цифровые сервисы и услуги:

- Многоканальное мультиплексирование, то есть одновременная передача большого числа цифровых сигналов методом временного уплотнения.
- Телевидение стандартной четкости SDTV в форматах соотношения сторон экрана 4:3 и 16:9.
- Телевидение высокой четкости HDTV.
- 3D-телевидение в стандарте DVB 3D-TV.
- Интерактивное гибридное телевидение в стандарте Hbb TV (Hybrid Broadcast Broadband TV-гибридное вещательное и широкополосное телевидение). Hbb TV – новая европейская технология, направленная на унификацию доступа пользователя к сервисам, передаваемым через вещательные и широкополосные сети.

Интерактивное телевидение было специально разработано телевещателями для того, чтобы иметь возможность предоставлять дополнительные услуги абонентам независимо от операторов платного телевидения.

- Видео по запросу.
- Телегид.
- Телетекст.
- Субтитры.
- Стереозвук.
- Звук Dolby Digital.
- Мультизвук (выбор языка вещания).
- Цифровое радио.
- Точное время и дата.
- Передача данных в стандарте DVB-DATA, при котором данные передаются в потоке DVB. Примерами передачи данных могут служить скачивание программ или программных обновлений через спутниковый, кабельный или наземный каналы, предоставление интернет-сервисов через вещательный канал, интерактивное телевидение.
- Прямой и обратный каналы связи для интерактивных сервисов в стандартах DVB-RCS (Return Channel via Satellite – обратный канал через спутник) и DVB-RCT (Return Channel Terrestrial – наземный обратный канал).
- Широкополосный доступ в Интернет.
- Система оповещения о чрезвычайных ситуациях (Адресное обращение к населению служб МЧС России и гражданской обороны). Данная услуга функционирует только в России.
- Доступ граждан к госуслугам.

В вышеприведенном списке представлены основные цифровые сервисы и услуги системы DVB-T2, многие из которых являются интерактивными.

## 20.7. Перспективные системы телевидения

### 20.7.1. Мобильное телевидение

Мобильные телефоны давно уже превратились из средства связи в многофункциональные мультимедийные устройства, которые позволяют заменить сразу несколько различных устройств, таких как плееры, навигаторы и т. д. Естественно было бы предположить, что в такой ситуации, помимо собственно пользователей мобильных телефонов и их производителей, заинтересованы также сотовые операторы. И действительно, с удешевлением стоимости голосовой связи для последних все большую важность начинают приобретать дополнительные неголосовые услуги. Одной из наиболее перспективных дополнительных услуг является мобильное телевидение.

Долгое время развитию данного направления мешало отсутствие мобильных терминалов с соответствующей функциональностью. Понятное дело, что мобильное телевидение невозможно представить без цветных экранов, а также достаточно производительных процессоров сотовых телефонов, способных демонстрировать динамичное потоковое видео. К тому же, если говорить о трансляции мобильного телевидения по сотовым сетям, то необходимо было достичь приемлемых скоростей передачи данных посредством мобильного Интернета. Долгое время на GSM-рынках, таких как Западная Европа или Россия, единственным способом передачи являлось GPRS-соединение. С развитием технологий появились более скоростные способы, такие как EDGE, ну а с появлением сетей третьего поколения мобильное телевидение и вовсе стало одной из главных маркетинговых зацепок операторов сотовой связи. Для CDMA-рынков была характерна схожая картина, на сегодняшний день даже в России есть механизмы трансляции мобильного телевидения посредством EV-DO. Однако помимо инициатив операторов сотовой связи, связанных с реализацией все более скоростных способов соединения, происходило также развитие различных стандартов мобильного телевидения.

Какие же стандарты цифрового телевидения, в том числе и для мобильных устройств, существуют на данный момент? Здесь мы ведем речь о стандартах вещательного ТВ, как наиболее близкого аналога обычному телевидению. Давайте перечислим по-настоящему массовые стандарты, использующиеся в различных странах мира.

- **T-DMB** (Terrestrial – Digital Multimedia Broadcasting) – этот стандарт создан в Корее и опирается на европейский стандарт цифровой вещательной передачи звука (DAB). Последнее обстоятельство влечет за собой ряд негативных последствий, поскольку изначально стандарт DAB проектировался для доставки радиосигнала в автомагнитолы, в то время как для мобильного телевидения критично качество приема не только в транспорте, но и внутри помещений.

- **S-DMB** (Satellite – Digital Multimedia Broadcasting) – схожий по названию, однако отличающийся механизмом действия стандарт, позволяющий мобильному устройству принимать сигнал непосредственно со спутника. Стандарт



стал довольно популярным в развитых странах Азии, таких как Япония и Южная Корея. Впрочем, в Японии используется и другой стандарт.

- **ISDB-T** (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial) разработан в Японии и весьма там популярен. Данный стандарт относится к наземным стандартам вещания, его основной отличительной чертой является интерактивность. Стандарт ISDB имеет функцию защиты цифрового контента – RMP (Rights management & protection). Суть состоит в том, что любой цифровой контент можно без особых трудностей записать с помощью DVD- или HD-рекордера, а затем использовать, например, для тиражирования пиратских дисков. Исходя из этого, Голливуд настоял на внесении изменений в формат вещания, что повлекло за собой появление системы RMP.

Для передачи видео, звука и дополнительных данных в ISDB используется транспортный поток MPEG-2. Для интерактивных приложений, о которых было упомянуто выше, применяется BML (Broadcast Mark-up Language) – язык разметки вещания. Имеется ряд стандартных разрешений телетрансляции. Помимо MPEG-2 возможно кодирование видео по MPEG-4 для различных разрешений. В качестве основного метода сжатия звука используется MPEG-2 AAC-LC с поддержкой каналов 5.1.

- **ATSC** – стандарт цифрового телевидения, который наиболее распространен в Северной Америке. Однако данный стандарт не поддерживает вещание на сотовые телефоны, в связи с чем для данного региона характерно развитие иных технологий, позволяющих транслировать телепередачи на мобильные устройства. Так, американской компанией Qualcomm специально для сотовых телефонов был разработан и постепенно внедряется стандарт **MediaFLO** (Forward Link Only), который помимо всего прочего характеризуется также экономией энергопотребления мобильных терминалов в процессе вещания.

- Наконец, один из наиболее известных стандартов – **DVB-H** (Digital Video Broadcast – Handheld), который был принят в качестве основного при развертывании мобильного телевидения на территории Западной Европы. Данная технология разработана на основе европейского стандарта цифрового телевидения DVB-T. Отличительной особенностью данной технологии является ее адаптация специально под мобильные устройства, что также привело к некоторой экономии энергопотребления сотовых телефонов: в ходе трансляции мобильного телевидения передача сигнала осуществляется не непрерывно, а дискретно, в виде отдельных пакетов данных с дальнейшим их воспроизведением из буфера обмена.

Безусловно, различия стандартов мобильного телевидения на этом не заканчиваются. Прежде всего, необходимо отметить наличие разных бизнес-моделей, а именно вещательного и интерактивного телевидения. Практически все вышеперечисленные технологии и стандарты мобильного телевидения относятся к категории вещательного ТВ, которое всего лишь транслирует сигнал, без какой-либо обратной связи с пользователем. Впрочем, у такой модели есть плюс – качество трансляции не зависит от количества абонентов, одновременно пользующихся данной услугой. Преимуществом другой бизнес-модели, а

именно интерактивного ТВ, является возможность пользователю самому формировать список интересных ему телепрограмм или фильмов, то есть телевидение «по запросу». При этом у оператора сотовой связи, по сетям которого осуществляется передача, появляется возможность получать дополнительную прибыль, в частности, от отправки SMS при интерактивном голосовании за ту или иную передачу или еще чего-нибудь в этом духе, включая само собой плату за трафик и т. д.

В свое время, именно последнее обстоятельство и явилось одним из главных сдерживающих факторов на пути к массовому статусу мобильного телевидения. Большинству пользователей неинтересно совершать какие-либо дополнительные траты в угоду меркантильным интересам операторов сотовой связи. Пусть даже передача на экране сотового телефона благодаря 3G-скоростям мобильного Интернета не будет напоминать слайд-шоу прошлых лет, запредельная стоимость потраченного трафика отобьет желание еще раз приобщиться к перспективной технологии.

Это наглядно продемонстрировал провал трансляций футбольных матчей посредством мобильного телевидения в ходе чемпионата мира по футболу 2006, который проходил в Германии. Стоит напомнить, что тогда ожидания операторов от технологии были максимальными, в развитие мобильного телевидения вкладывались огромные средства. Однако пользователи быстро охладели к новомодной технологии – высокая стоимость web-трафика и большие объемы данных при трансляции футбольных матчей на экраны мобильных телефонов отбили всякую охоту к использованию мобильного телевидения, в конечном итоге, лишь единицы воспользовались новой услугой.

Конечно, можно привести контрпримеры, как в случае с Пекинской Олимпиадой, после которой в Китае резко возросла популярность мобильного телевидения (было подсчитано, что за период Олимпиады в Поднебесной при помощи мобильного ТВ было отсмотрено свыше 300 тыс. часов спортивных соревнований). Однако это не показатель, поскольку местные сотовые операторы в целях популяризации услуги резко снизили цены, сделав просмотр телевидения на экранах мобильных телефонов буквально копеечным. Кстати, именно такие методы и средства имеют наибольшие шансы на успех у публики: снижение или вовсе отмена оплаты стоимости трафика при просмотре мобильного ТВ (отсутствие тарификации трафика, оплата только по факту предоставления услуги), а также, как вариант, и вовсе бесплатное мобильное ТВ – при этом доход оператору сотовой связи будет поступать за счет мобильной рекламы, размещаемой в ходе трансляции передач. Правда, сейчас, в связи с уже набившим оскомину экономическим кризисом, выглядит сомнительным, что операторы сотовой связи, инвесторы и дальше будут вкладывать средства в развитие, безусловно, перспективной, но пока не окупающей себя технологии. А уже развернутые сети вещания мобильного телевидения в различных странах (в частности, в Южной Корее) так и вовсе могут оказаться под угрозой замораживания. В любом случае, ближайшее будущее покажет, в каком направлении дальше продолжится развитие мобильного телевидения.

Конечно, высокая стоимость трафика, слабые пропускные возможности существующих сотовых сетей (во всяком случае, в России, где 3G с ее высокими скоростями передачи данных представлена далеко не везде) приводят к тому, что пользователи порой стремятся найти более дешевые, доступные способы. Как ни странно, такие альтернативы есть, и связаны они с аналоговым телевидением, о неминуемой кончине которого вот уже несколько лет заявляют поборники цифрового ТВ. Еще в 2006 году компания Gigabyte представила, в том числе и на отечественном сотовом рынке, свой Windows Mobile – коммуникатор Gigabyte g Smart i, вслед за которым последовал еще ряд коммуникаторов (например, Gigabyte i128) с аналоговым ТВ-тюнером. В то же время, качество картинки сильно зависело от различных внешних факторов (плотность застройки, удаленность от антенны и т. д.), так что просмотр каналов на экране мобильного устройства можно было назвать только удовлетворительным. Правда, уже через пару лет бесчисленные китайские производители сотовых телефонов в массовом порядке начали встраивать аналоговые телеприемники в свои мобильные устройства, многие из которых являлись подделками оригинальных моделей ведущих производителей, естественно, обделенных подобной функциональностью. Однако так или иначе, наблюдающаяся в мире тенденция к «цифровизации» телевидения постепенно делает аналоговое телевидение уходящей технологией. Переход на цифровое телевидение, как нам заявляют, дело решенное, а значит, мобильные устройства с аналоговыми ТВ-тюнерами через некоторое время могут остаться невостребованными. Правда, неизвестно, насколько затянется этот процесс в России, поэтому выглядит правдоподобным, что сотовые телефоны с такой функциональностью еще несколько лет будут доступной, а самое главное, бесплатной альтернативой мобильному телевидению.

Таким образом, мобильное телевидение в настоящий момент – достаточно перспективное, но в чем-то, пожалуй, переоцененное направление в развитии мобильной связи и дополнительных услуг сотовых операторов. Сложная ситуация в мобильной индустрии на сегодняшний день должна несколько отрезвить компании, тратившие в последние годы значительные средства на продвижение технологии без какой-либо отдачи в краткосрочной перспективе. Возможно, рынки, на которые мобильное телевидение уже успело выйти и закрепиться (даже такие развитые, как, например, Южная Корея), ожидает временный откат к ситуации двух-трехлетней давности. В России развитие мобильного телевидения еще не достигло уровня западных стран, попытки отечественных операторов сотовой связи в этом отношении трудно признать успешными. В то же время, перспективы у данного направления в нашей стране, безусловно, существуют – особенно если участникам рынка, заинтересованным компаниям удастся достичь более приемлемой стоимости услуги для конечных пользователей, а также решить вопрос с более эффективными и скоростными путями доставки телепередач на мобильные устройства. В первую очередь это связано с развитием в стране сетей третьего поколения.

Ну а в долгосрочной перспективе, возможно, нас все-таки ожидает приход стандартов вещательного мобильного телевидения, таких как утвержденный в Европе DVB-H. Правда, при этом неизбежно возникнет целый ворох вопросов, в частности, по поводу лицензирования, а также насыщения рынка аппаратами с поддержкой данного стандарта. Если же вести речь о дальнейшем развитии другой бизнес-модели – интерактивного мобильного телевидения, то здесь вопросов возникает еще больше. Начиная от реализации механизма доставки потокового видео телепередач по запросу и заканчивая необходимостью создавать интересный пользователям контент (пока мы видим всего лишь трансляцию основных федеральных каналов на мобильные устройства). Так или иначе, мобильное телевидение на настоящий момент стало реальностью – это уже не голые технологии без соответствующей привязки к сервисам. Но данному направлению еще нужно доказывать состоятельность, возможность приносить результат, поскольку вряд ли инвесторам сегодня есть смысл тратиться, не видя реальной финансовой отдачи в обозримом будущем. Возможно, уже в скором времени мобильное телевидение займет почетное место среди прочих VAS-услуг операторов сотовой связи. (VAS – Value Added Services, что переводится как «дополнительные услуги» или же «прибыледобавляющие услуги».)

Однако сегодня оно по большому счету еще не выросло из коротких штанов перспективных технологий. Хотя мобильная индустрия накопила уже немало примеров превращения таких вот интересных идей в действительно массовые явления. Например, один из последних таких случаев связан с навигацией в сотовых телефонах и прочих мобильных устройствах. Так что мобильному телевидению есть куда развиваться, а нам пока остается мечтать о светлом будущем, когда посмотреть передачу на экране мобильного телефона будет проще и доступней, чем по телевизору.

### **20.7.2. IPTV и Интернет-телевидение**

Технологии IPTV (Internet Protocol Television) и Интернет-телевидение (Internet Television) сегодня довольно часто путают. В чем же заключается их суть и каковы основные отличия этих двух концепций?

Технология IPTV не означает «телевидение, вещающее через сеть Интернет». Начало этой аббревиатуры, IP, значит лишь то, что используется «интернетовский» протокол передачи данных (в данном случае, для передачи видеоконтента), но система связана не с мировой паутиной, а лишь только с провайдером (организацией, предоставляющей услуги доступа к сети Интернет и иные связанные с Интернетом услуги). Эту технологию еще называют потоковым телевидением, или потоковым мультимедиа, имея в виду, что пользователь непрерывно получает его от провайдера потокового вещания. С точки зрения удобства и простоты подключения, IPTV – это лучший способ доставки цифрового телевидения в наши дома. Каналы транслируются по тому же кабелю, по которому осуществляется подключение к Интернету. Достаточно заключить

договор с провайдером, подключить приобретенный или взятый у него в аренду ресивер и можно наслаждаться четкой картинкой на экране своего телевизора. К сожалению, в России таких провайдеров пока еще не очень много. К тому же, в отличие от спутникового телевидения, где один спутник может покрывать огромные территории, провайдеры IPTV чаще всего охватывают только один или несколько районов одного города.

Как и в случае со спутниковым телевидением, здесь можно выбирать пакеты каналов из предлагаемого провайдером списка. При этом ежемесячная абонентская плата складывается из базовой ставки за предоставление услуги, стоимости выбранного пакета и, возможно, за аренду оборудования.

IPTV развивается большей частью за счёт средств, предоставляемых телекоммуникационными компаниями и операторами, которые сегодня предлагают цифровые кабельные и спутниковые услуги. Их главная задача – вывести на рынок конкурентоспособные и более дешевые, чем существующие, телевизионные технологии, способные частично или полностью заменить кабельное и спутниковое телевидение. В качестве идеального варианта предоставления услуг технологию IPTV рассматривают в основном крупные участники телевизионного рынка, поскольку это позволяет им существенно уменьшить потери от нелегальных подключений к сети и «пиратства», которые у нынешних кабельных операторов исчисляются миллионами долларов.

Помимо обычных ТВ-каналов, IPTV предоставляет пользователю следующие интерактивные услуги:

- **VoD** (Video on Demand) – видео по запросу. Это система индивидуальной доставки абоненту видеофильмов. Сервис позволяет абоненту заказать для просмотра любой фильм из библиотеки VoD-сервера за одноразовую плату. При просмотре фильма абонент может пользоваться функциями паузы и перемотки.

- **nVoD** (near Video on Demand) – «почти» видео по запросу. Этот сервис называют «виртуальный кинозал» или «карусельное видео». Он похож на VoD, но ориентирован сразу на множество пользователей, подключенных к этой услуге. Предварительно составляется программа вещания видеоконтента по расписанию. Пользователь может просмотреть эту программу и спланировать просмотр интересного для него контента.

- **Time Shifted TV** – телевидение со сдвигом во времени. Этот сервис добавляет интерактивные возможности в просмотр телепередач. Пользователь в любой момент может поставить передачу на паузу и вернуться к просмотру позже. Существует также возможность перемотки ТВ-передач. Для этого используются видеопотоки, записанные на Catch Up TV-сервере.

- **TV on Demand (Catch Up TV)** – телевидение по запросу. Это система отложенного просмотра телепередач. Пользователь может заранее выбрать нужные телеканалы для записи и позже их посмотреть.

Интернет-телевидение – новый альтернативный способ распространения телевизионных сигналов, который получает сегодня все более широкое распространение. Ряд экономически развитых стран переживают сегодня бум Web-вещания. Не обошел он и нашу страну.

Главный принцип Интернет-телевидения заключается в том, что любой правообладатель – как отдельный человек, так и крупная телеведущая компания – имеет возможность поместить свое видео в сети и даже создать собственный телевизионный Интернет-канал. То есть концепция Интернет-телевидения мало отличается от концепции паутины в целом.

Интернет-телевидение отличается от кабельного, спутникового и IPTV несколькими существенными пунктами:

- Свободное распространение. В отличие от закрытых, принадлежащих различным компаниям сетей распространения видео, контент, передающийся в рамках Интернет-телевидения, доходит до конечного пользователя с помощью стандартных открытых Интернет-технологий.

- Различные возможности получения и просмотра видеоконтента. Пользователь может просматривать потоковое видео через свой браузер, скачивать его для проигрывания на компьютере, получать по запросу на переносные устройства, а при желании – просматривать это видео на своем телевизоре.

- Концепция Интернет-технологий позволяет предоставить пользователю неограниченные возможности выбора.

- Контроль правообладателя за контентом. Это означает, что имеется контакт основателей канала с потребителем и возможности для отслеживания предпочтений, интересов и реакций аудитории.

Сегодня компании, предлагающие услуги IPTV, как правило, дублируют кабельные и спутниковые телевизионные каналы. При этом изменился только способ передачи данных, но не список телевизионных каналов, которые можно таким образом смотреть. Другое дело Интернет-телевидение. В сети уже существует ряд телевизионных проектов, которые могут заинтересовать небольшие аудитории «по интересам». Число подобных проектов и каналов постепенно увеличивается, растет как аудитория Интернет-телевидения, так и интерес к этой концепции.

Безусловным плюсом Интернет-телевидения является то, что для распространения контента не нужно менять техническую инфраструктуру, покупать специфическое оборудование или прокладывать дополнительные сети (как в случае с IPTV). Услуги телевидения подобного рода доступны везде, где существует выход в глобальную Сеть. Даже скорость соединения не столь критична для работы Интернет-телевидения, так как если не хватает пропускной способности канала для потокового видео, можно воспользоваться функцией его сохранения на локальный диск и посмотреть его позже.

Передача происходит по каналу связи с глобальной Сетью с использованием известных информационных технологий. На практике это может выглядеть следующим образом: пользователь попадает на сайт, предлагающий услуги онлайн-телевидения, и совершает несложные действия по выбору желаемого канала. Здесь речь не идет о телевизионном приеме с использованием компьютеров с установленными в них специальными телевизионными тюнерами (это тема для отдельного разговора), а именно о просмотре онлайн-телевидения, вещающего через Интернет.

Какие же перспективы открывает Интернет-телевидение? Благодаря нему пользователи всемирной паутины с легкостью могут просматривать невероятно много телевизионных каналов, а их широкий выбор особенно привлекает пользователей. Даже всем известное спутниковое телевидение порой уступает возможностям Интернет-телевидения. Помимо этого, в последнее время начали появляться каналы, которые можно смотреть только через Интернет.

Интернет-телевидение позволяет просматривать интересные каналы, будучи в любом месте планеты, где есть доступ к Сети. К примеру, любители спорта могут смотреть важный для них матч, домохозяйки не пропустят свой любимый телесериал, а деловые люди смогут быть в курсе свежих новостей и событий, даже если все они располагаются далеко от дома.

С помощью Интернет-телевидения есть возможность заниматься обучением. Ведь на просторах всемирной паутины существует широкое многообразие обучающих фильмов и передач.

А еще Интернет-телевидение очень полюбилось пользователям Сети, у которых есть Web-камера. Начали появляться различные сервисы, позволяющие участникам наладить собственное Интернет-вещание, а также каналы, для которых доступна только онлайн-трансляция. Новости об интересных вещаниях здесь разносятся очень быстро. Можно, например, вечером поместить запись своего клипа или рассказа, а утром проснуться знаменитым на весь мир. Это еще одна возможность молодым талантливым людям заявить о себе без больших капиталовложений.

Приобретение спутниковых антенн, кабелей, специального оборудования требует существенных затрат, в то время как для просмотра телевизионного программ через Интернет дополнительных приспособлений не требуется. Достаточно только соответствующего приемного устройства (телевизор, приставка) и высокоскоростного канала связи с глобальной Сетью. Необходимым условием также является наличие безлимитного Интернета, скорость которого должна быть как минимум 1 Мбит/с. Важна также стабильность соединения, а это уже целиком и полностью зависит от провайдера.

Надо отметить, что и звуковое вещание тоже переместилось в Сеть и завоевало популярность у слушателей. Дешевизна, простота и доступность такого способа вещания способствовала созданию огромного количества радиостанций, доступных лишь в Сети.

В будущем две рассмотренные концепции вполне могут конкурировать друг с другом. Очевидно, что победит более гибкая и мощная технология, предоставляющая как можно больше возможностей для взаимодействия всех её участников.

### **20.7.3. Smart-телевидение (Smart TV)**

Технический прогресс в настоящее время дошел до такого уровня, что, приобретая какую-либо технику, человек попросту не знает и о 50% опций и функций, которые в нее встроены.

Как правило, с каждым годом появляются новые технологии, внедряемые в современную аппаратуру. Одно из таких новшеств – это технология Smart TV, о которой постоянно идут разговоры в Интернете, на телевидении, в различных передачах.

**Smart TV** (рус. «умное телевидение»), или **Connected TV**, – технология интеграции Интернета и цифровых интерактивных сервисов в современные телевизоры и ресиверы цифрового телевидения, а также в техническом симбиозе между компьютерами и телевизорами. Новые устройства, поддерживающие Smart TV (фактически являющиеся компьютерами в форм-факторе телевизора и с поддержкой его возможностей), преимущественно нацелены на поддержку развлекательных медиа в Интернете: дают возможность просматривать фильмы, мультфильмы и сериалы, исключая, наконец, потребность в обычном телевидении. Появление этой технологии спровоцировало всплеск в среде разработчиков интерактивных приложений.

Начнем, пожалуй, с предыстории появления данной технологии. В 1999 году появились сервисы TiVo и ReplayTV, представлявших собой цифровой видеомаягнитофон с встроенным жестким диском, который записывал выбранные передачи и позволял просматривать их в удобное пользователю время. Эти сервисы существуют и в настоящее время. В 2000 году появляются специальные устройства, называемые Set Top Box различных производителей, расширяющие функциональность стандартного (кабельного, спутникового) ТВ. В 2009 году DLNA (Digital Living Network Alliance) начала сертификацию телевизоров, в которые были встроены функции Smart TV. В дальнейшем процент новых телевизоров с поддержкой Smart TV расширился, и на данный момент он составляет примерно 50%.

Концепция Smart TV стремительно дополняется программным обеспечением, таким как Google TV и XBMC. Технология активно освещается в СМИ, а также стимулирует производителей техники, таких как Samsung, Sony, LG и других к разработке продуктов с функциями поиска, установки приложений, поддержкой интерактивных СМИ, персонализированного общения, а также социальных медиа.

Smart TV – это набор специализированных программ, встроенных сервисов и виджетов, которые позволяют выходить в Интернет со своего телевизора, соединять несколько устройств в одну локальную сеть для создания общей библиотеки и просмотра видеороликов или прослушивания музыкальных файлов через Интернет.

Если раньше нам нужно было вставлять компакт-диск или подключать USB-накопитель для прослушивания музыки и просмотра видеофайлов, то теперь достаточно только подключиться к интернету через Wi-Fi или LAN-кабель, подключиться к любому компьютеру и синхронизировать библиотеку.

Также важно понимать, что сама по себе технология Smart TV никак не влияет на качество видеороликов, их полноту. По сути, это комплекс программных средств и виджетов с разных сервисов, с которых просто берется информация и транслируется на вашем устройстве. А вот разрешение, цветопере-



дача, звук и другие параметры будут зависеть от конфигурации самого телевизора.

Обладатель умного телевизора имеет возможность на свое усмотрение выбирать для просмотра из бесконечных просторов Интернета разные развлекательные передачи или фильмы.

Каждый производитель пытается внедрить в эту технологию как можно больше полезных развлекательных сервисов, чтобы конечный пользователь мог получить доступ ко всем важным сервисам и сетям из одного места. Как правило, у каждого производителя используется собственное программное обеспечение для навигации и поиска, регулярность обновлений ПО, внедрение дополнительных виджетов, поддержка языков и многое другое.

Богатство функционала телевизора, поддерживающего данную технологию, непосредственно зависит от марки и модели, а также в некоторых случаях и от цены изделия. Но, как правило, большинство таких телевизоров выделяет стандартный набор:

- Доступ к социальным сетям. На многих моделях предустановлены приложения популярных социальных сетей (Facebook, ВК, Twitter и другие). Вы можете пользоваться своим профилем в любимой соцсети прямо на экране своего «умного телевизора», но для полноценной и комфортной работы нужно будет подсоединить клавиатуру.

- Доступ к сервисам голосовых и видеосообщений. Это возможность общаться со своими родственниками и друзьями на расстоянии, например, с помощью всем известного сервиса Skype. Некоторые модели оснащены качественной камерой и микрофоном для этих целей. В ином случае можно отдельно приобрести эти аксессуары для осуществления видеозвонков.

- Веб-серфинг – возможность открывать сайты в браузере, как на ПК. Интерфейс браузера такой же, как и в компьютерной версии.

- Доступ к онлайн видео, музыке и прослушивание радиостанций. Все фильмы, клипы и мультфильмы с YouTube и других сервисов видеоконтента доступны на экране вашего телевизора.

- Широкие возможности управления. Чтобы управлять телевизором Smart TV, можно использовать не только пульт, но и голос или жесты (эта опция доступна не на всех моделях). А при желании пользователь может подключить беспроводную клавиатуру и мышь, установить соединение со своим смартфоном или планшетным компьютером, работающим под управлением системы Android и iOS.

И этот список конечно не полный. Многие эксперты уверяют, что в недалеком будущем производители придумают и добавят сюда еще больше полезных функций.

Конечно, у этой технологии есть и свои недостатки:

- Стоимость телевизоров с опцией Smart TV выше примерно на 5...15%.
- В социальных сетях пользователю неудобно набирать текст с телевизора, используя для этого пульт дистанционного управления.

- Для использования Smart TV постоянно требуется подключение к Интернету.

- Любой телевизор, подключенный по сети, может быть взломан с такой же легкостью, как и персональный компьютер. Но, в настоящее время наблюдается не особо сильный интерес к подобным устройствам со стороны злоумышленников.

Основной задачей, которую решают производители, это удобство работы с сетевыми ресурсами с помощью пультов ДУ. Для решения этой задачи разрабатываются специализированные пульты ДУ, совмещающие в себе функции собственно ТВ-пульта и джойстика/компьютерной мыши, например, Magic Remote от LG.

Вторая непростая задача – это работа с контентом. Обеспечить платформам качественный контент оказалось непросто, ведь они оказываются прямыми конкурентами телеканалов. Так, один из самых известных сейчас сервисов, GoogleTV столкнулся в США с отказами крупных телесетей предоставлять ему контент. Вторым по известности сервисом является Apple TV.

По состоянию на 2016 год доступно множество мобильных операционных систем, и в то время как большинство из них ориентированы на смартфоны, неттопы и планшетный компьютер, некоторые также поддерживают технологию Smart TV или же были разработаны специально для неё. Чаще всего Smart TV работают на базе операционных систем Linux и Android.

Интересные цифры о Smart TV:

- 17% пользователей используют «умный телевизор» для просмотра видео на YouTube;

- 12% спортивных болельщиков смотрят результаты матчей и соревнований;

- 69 млн. умных телевизоров было произведено в 2012 году, а в 2016 – около 200 млн. штук;

- 25% домохозяйств имеют минимум один Smart TV;

- 200 миллионов телевизоров, подключенных к Интернету, могут осуществлять видеозвонки по Skype;

- 85% выпущенных в 2016 году плоских панелей обладают данной технологией;

- 58% просмотревших рекламу на телевизоре со Smart TV говорят, что ее легче понять;

- ожидаемый доход от видеослужб в 2017 году составит \$9,5 млрд.

В целом же можно сделать вывод, что технология Smart TV будет полезна только тем людям, которые постоянно взаимодействуют с Интернетом, синхронизируют устройства, просматривают большое количество информации в сети. Обычному же начинающему пользователю данная опция, в принципе, не нужна, так как это требует большого количества времени, чтобы обучиться всем основам работы с приложениями, а также дополнительных средств для покупки телевизора с поддержкой Smart TV.

## ГЛАВА 21. СЖАТИЕ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ

### 21.1. Общие сведения

Проблема «сжатия» видеопрограмм сопровождала все этапы развития цифровых систем передачи информации. Пропускная способность коммуникационных сетей, емкость цифровых носителей всегда отставали (и, наверное, будут отставать) от желания как самих вещателей, так и нас – потребителей. Собственно, отставание возможностей от потребностей, по-видимому, является движущей силой прогресса.

Чтобы рассуждения о необходимости компрессии данных не выглядели голословными, проведем простой подсчет.

Телевизионный кадр (здесь и далее – стандарта PAL) содержит 576 активных строк (всего их 625, но часть из них – служебные). Согласно стандарту международного телекоммуникационного сообщества каждая строка содержит 720 независимых отсчетов. Таким образом, телевизионный кадр представляет собой матрицу из 720x576 точек. В оцифрованном телевизионном сигнале каждый кадр представляет собой точечный рисунок, где точка образована отсчетом в горизонтальной строке. Таких «рисунков» должно проходить 25 за секунду (если строго – 50 полукадров полей, состоящих из четных и нечетных строк соответственно). Тогда информационный объем одной минуты цифрового видеосигнала с разрешением, соответствующим вещательному, и при глубине цвета 24 бита составит 720x576 точек x 24 бита цветности x 25 кадров/с x 60 с = 1866 Мбайт. То есть без малого 2 гигабайта. При этом скорость цифрового видеопотока будет равна 250 Мбит/с. Даже если поступиться качеством и рассмотреть вдвое худшее разрешение по обеим осям (360x288), объем минуты видеопрограммы займет 467 Мб, а соответствующая скорость цифрового потока составит более 60 Мбит/с. Надо учесть, что мы принимали в расчет только видео, а ведь каждый фильм имеет и звуковое сопровождение. Получается, что все равно такой сигнал останется слишком громоздким для прямого использования даже в современных системах связи или на современных носителях.

Любому третьекурснику вуза связи известно, что телевизионный сигнал избыточен, поскольку от кадра к кадру меняется только некоторая часть подвижного изображения – как правило, действие происходит на переднем плане, а фон остается достаточно стабильным. На лекциях по теории вероятностей учат, что «избыточность есть следствие определенных корреляционных связей». Отсюда легко понять: для телевизионного сигнала корреляция означает, что каждый элемент изображения некоторым образом зависит от элементов, соседствующих с ним во времени и пространстве.

В телевидении различают статистическую избыточность, избыточность по восприятию, структурную и спектральную избыточность.

- Под **статистической избыточностью** понимают корреляционные связи между соседними (по вертикали и горизонтали) отсчетами ТВ-сигнала. В общем случае большая часть изображения любого ТВ-кадра обычно приходится

на участки, имеющие постоянную или мало меняющуюся в пространстве яркость, а резкие световые переходы и детали малых размеров занимают небольшую долю площади изображения. Коэффициент корреляции соседних элементов изображения, описывающий статистическую связь между яркостями этих элементов, близок к 1. Зная яркость одного элемента, можно с высокой степенью вероятности предсказать яркость соседнего. Такого рода избыточность можно называют **пространственной избыточностью** изображения.

Изображения соседних кадров в телевидении обычно очень похожи друг на друга, даже при показе движущихся объектов. Переходы от сюжета к сюжету встречаются редко. Межкадровая разность на значительной части площади изображения обычно близка к нулю. Зная распределение яркости в одном кадре, можно с высокой степенью уверенности предсказать распределение яркости следующего кадра. Эта предсказуемость указывает на **временную избыточность** изображения.

▪ **Избыточность по восприятию** обусловлена несовершенством нашего зрения, что, к слову, используется для технических целей уже достаточно давно. Например, свойство глаза замечать изменение яркости лучше, чем изменение цвета, учитывается при разработке всех стандартных аналоговых системах кодирования цвета. Если к тому же учесть, что мелкие детали изображения мы не видим в цвете, можно в несколько раз сократить полосу частот при передаче и кодировании сигналов цветности.

▪ **Структурная избыточность** заложена в формате телевизионного сигнала. Избыточными являются периодически вводимые в аналоговый ТВ-сигнал стандартные служебные импульсы – гасящие и синхронизирующие. При передаче цифрового сигнала необходимость в передаче служебных отпадает, поскольку они легко восстанавливаются при приеме. Для сведения скажем, что, удалив из цифрового ТВ-сигнала только гасящие импульсы строк и полей, можно снизить скорость передачи почти на четверть.

▪ **Спектральная избыточность** возникает в результате использования чрезмерно высокой частоты дискретизации. Дело в том, что не во всех кадрах присутствуют мелкие детали изображения. Поэтому в таких кадрах отсутствуют высокие частоты. Произведя анализ кадров, можно изменить спектральный состав за счет снижения верхней частоты аналогового ТВ-сигнала. Затем сигнал можно заново оцифровать с меньшей частотой дискретизации. Однако такая обработка сигнала требует значительного объема вычислений, она необратима, а, кроме того, что совсем печально, качество восстановленного изображения почти всегда существенно хуже исходного. В отличие от первых трех видов избыточности, спектральная избыточность при сжатии обычно не устраняется.

И, наконец, еще об одной возможности сжатия. Известно, что шум – заклятый враг всякого телевидения, в том числе цифрового. Он съедает полосу в ущерб эффективности сжатия или качеству изображения. Ясно, что шум повышает сложность видеосигнала. Являясь в значительной степени случайным, он по-разному проявляется в разных кадрах, увеличивая, таким образом, разностную информацию. А поскольку кодируется и передается именно разностная

информация, наличие шума приводит к пустым тратам полосы частот на его тщательное кодирование, что, понятно, не повышает качества воспринимаемого изображения.

Подавление шума на этапе предварительной обработки исключает как сами шумовые составляющие, так и необходимость их кодирования, то есть позволяет сберечь драгоценный частотный ресурс. Добавленное к эффективному кодированию, шумоподавление обеспечивает выигрыш в скорости передачи до 15% (при передаче сильно зашумленных сигналов). Сохраненная полоса может использоваться либо для добавления новых каналов, либо для повышения качества изображения.

Руководствуясь подобными ориентирами, группа специалистов международной организации по стандартизации (ISO) в 1998 г. приступила к разработке международных стандартов кодирования и сжатия видео- и аудиоинформации. Официальное наименование этой группе было дано совершенно невоспроизводимое – ISO/IEC/JTC1 SC29 WG11. Впоследствии она стала известна как «Экспертная группа по кинематографии» (Moving Picture Expert Group), а аббревиатура MPEG, образованная от английского варианта названия этой группы, давно уже используется как обозначение разработанных ею норм и стандартов.

В основу правил сжатия видеоданных была заложена идея поиска и устранения избыточной информации, не влияющей на конечное восприятие качества изображения. В первую очередь, был учтен «человеческий фактор» – психофизиологическая модель восприятия человеком видеоизображений (HVS – Human Visual Sense); в частности, тот факт, что градации яркости воспринимаются зрительным аппаратом человека значительно точнее, чем градации цвета. Это означает, что цветовую информацию можно «загубить» по сравнению с яркостной, при этом в субъективном восприятии качество изображения не ухудшится. То есть первоочередным направлением в построении алгоритмов всех стандартов MPEG становится отыскание и устранение информации, избыточной с точки зрения субъективного восприятия.

Работала экспертная группа весьма плодотворно: за десятилетие разработано целое семейство стандартов; более того, почти все они живут и успешно работают. Лучшим свидетельством тому служит тот факт, что аббревиатура MPEG стала обиходной даже на бытовом уровне. Даже потребитель соотносит эти «имена» не со стандартными именами или их разработчиками, а с продукцией мультимедиа.

Спецификация стандарта MPEG-1, описывающая технологию информационного сжатия для хранения и передачи цифровых данных подвижного изображения и звука по сравнительно низкоскоростным каналам связи (до 1...3 Мбит/с), официально была выпущена в ноябре 1992 года. Однако использованный в ней метод сжатия кадров видеоинформации был разработан несколько раньше в рамках другой группы – JPEG, занимавшейся вопросами компьютерной обработки неподвижных фотографических изображений. Механизм сжатия JPEG был рассмотрен нами в шестой главе пособия.

Технология сжатия JPEG стала применяться и для передачи подвижных изображений. Так, например, формат Motion JPEG (или просто MJPEG) описывает цифровой видеосигнал, представляющий собой последовательность изображений, сжатых по стандарту JPEG. Алгоритм сжатия JPEG также нашел свое отражение и в стандартах видеоконференцсвязи.

Одно из преимуществ Motion JPEG заключается в том, что каждому кадру последовательности гарантируется качество, получаемое на уровне сжатия, выбранном для камеры или видеокодера. Это особенно важно для систем видеонаблюдения, где каждый кадр весьма важен. Отсутствие взаимосвязи между кадрами в Motion JPEG гарантирует высокую надежность этого формата, то есть потеря одного кадра во время передачи не повлияет на качество остального видеоряда.

Но главное – JPEG-сжатие является основой алгоритма для обработки сигналов изображения в стандартах MPEG.

## 21.2. Стандарт MPEG-1

Формат MPEG-1 начал разрабатываться в те трудно вообразимые времена, когда не было широкодоступных носителей большого объема, в то время, как видеоданные, даже и сжатые, занимали совершенно колоссальные для конца 80-х объемы. Если кто не помнит, то это была эпоха 286 и 386 процессоров, 4 Мб оперативной памяти и 250 Мб винчестер считались роскошью, а не убожеством, как сейчас, Windows была примочкой для DOS, а не наоборот, а в качестве легко переносимых носителей информации доминировали 5-ти дюймовые дискеты и только-только появившиеся 3,5" дискеты от фирмы SONY. В таких условиях необходимо было найти носитель, на который можно было бы записать гигабайт информации, при этом этот носитель должен был быть недорогим, иначе ни о какой массовости не могло быть и речи.

И такой носитель был найден. Как раз в эти годы впервые появился новый тип носителей информации – CD-ROM-диски, которые смогли обеспечить необходимый объем информации. Правда, на один диск фильм в формате MPEG-1 все-таки не помещался, но что мешало записать его на 2 CD, тем более что новинка стоила очень недорого? Разумеется, первые CD-ROM проигрыватели были односкоростными, поэтому не стоит удивляться, что максимальная скорость пересылки потока данных в формате MPEG-1 ограничена 150 кб/сек., что соответствует одной скорости CD-ROM.

Надо сказать, что возможности MPEG-1 не ограничены тем низким разрешением, которое вы все видели при просмотре VIDEO-CD. В самом формате была заложена возможность сжатия и воспроизведения видеoinформации с разрешением вплоть до 4095x4095 и частотой смены кадров до 60 Гц. Но из-за того, что поток передачи данных был ограничен 150 кб/сек, разработчики формата, а в дальнейшем и создатели кодеков на его основе, были вынуждены использовать разрешения кадра, оптимизированные под данную скорость потока. Наиболее широко распространенными являются два таких оптимизированных

формата – это формат SIF 352x240, 30 кадров в секунду и урезанный формат PAL/SECAM 352x288, 25 кадров в секунду.

Первый вариант спецификации MPEG-1 был опубликован в январе 1992 года, а в 1993 году MPEG-1 был принят в качестве стандарта ISO/IEC 11172-2. Несколько позже были разработаны и стандартизированы сопутствующие спецификации для аудиоданных – MPEG-1 Audio Layer I, Layer II и Layer III (ISO/IEC 11172-3). Последним шагом была разработка протокола синхронизации и пакетирования аудио- и видеоданных.

При разработке стандарта были приняты следующие ограничения, определившие его область применения:

- размер изображения по горизонтали < 768 пикселей;
- размер изображения по вертикали < 576 строк;
- число макроблоков < 396;
- частота кадров < 30 Гц;
- прогрессивная развертка.

На первый взгляд может показаться, что нет особых препятствий к использованию MPEG-1 для кодирования сигналов вещательного телевидения – число строк и элементов в строке даже выше, чем требуется для изображения стандартной четкости. Напомним, что это 720x576 или 720x480 пикселей, в зависимости от ТВ-стандарта. Ограничивающим параметром (кроме низкой скорости потока) оказалось, как ни странно, число макроблоков в видеокадре. Для обработки стандартного телевизионного сигнала надо иметь  $(720:16) \times (576:16) = 1620$  макроблоков/кадр, а стандарт предусматривал только 396, что соответствует формату не выше CIF (352x288 пикселей).

Еще одним препятствием внедрения MPEG-1 являлось отсутствие чересстрочной развертки, принятой во всех телевизионных системах стандартного качества.

В связи с жестким ограничением максимальной скорости цифрового потока, типовым видеоформатом для MPEG-1 явился вышеупомянутый стандарт CIF (Common Intermediate Format), содержащий 240 строк по 352 точки в строке при 30 кадрах в секунду, или 288 строк и 352 точки в строке – при 25 кадрах. Подобное изображение приблизительно соответствует качеству картинки бытовой видеозаписи формата VHS и имеет разрешение в четыре раза ниже стандартного изображения вещательного телевидения. Для согласования размеров изображения со стандартным алгоритм сжатия MPEG-1 предусматривает процедуру «прореживания» исходного телевизионного сигнала по вертикали и горизонтали, при которой исключается каждая вторая строка и каждый второй отсчет в оставшихся строках. При декомпрессии отброшенные значения восстанавливались путем интерполяции.

Алгоритм компрессии изображений в MPEG-1 разрабатывался принципиально ориентированным на обработку последовательностей кадров и использование высокой избыточности информации (до 95% и более), содержащейся в реальных изображениях, разделенных малыми временными интервалами. Действительно, фон в смежных кадрах обычно меняется мало, а все действие свя-

зано со смещениями относительно небольших фрагментов изображения. По этой причине необходимость передачи полной информации о кадре изображения возникает только при смене сюжета, а в остальное время можно ограничиваться выделением и передачей разностной информации, характеризующей направления и величины смещения элементов изображения, появление новых объектов или исчезновение старых. Причем такие различия могут выделяться как относительно предыдущих, так и относительно последующих кадров.

Именно такая логика и была реализована в алгоритме MPEG-1, что привело к применению в нем кадров трех типов:

- I (Intra) – «самостоятельных», играющих роль опорных и сохраняющих полный объем информации о структуре изображения;
- P (Predicted) – «предсказываемых» и несущих информацию об изменениях в структуре изображения по сравнению с предыдущим кадром (типа I или P);
- B (Bi-directional Interpolated) – «двухсторонней интерполяции», сохраняющих только самую существенную часть информации об отличиях от предыдущего и последующего изображений.

Вначале, не углубляясь в подробности, попытаемся образно объяснить, за счет чего экономится размер сжатого видеофайла в большинстве современных кодеков.

Мы уже отмечали, что, по сути, видео – это последовательность быстро сменяющих друг друга кадров. Если разложить видео на последовательные кадры и сравнить два соседних кадра, то можно заметить, что они мало чем отличаются друг от друга (рис. 21.1).

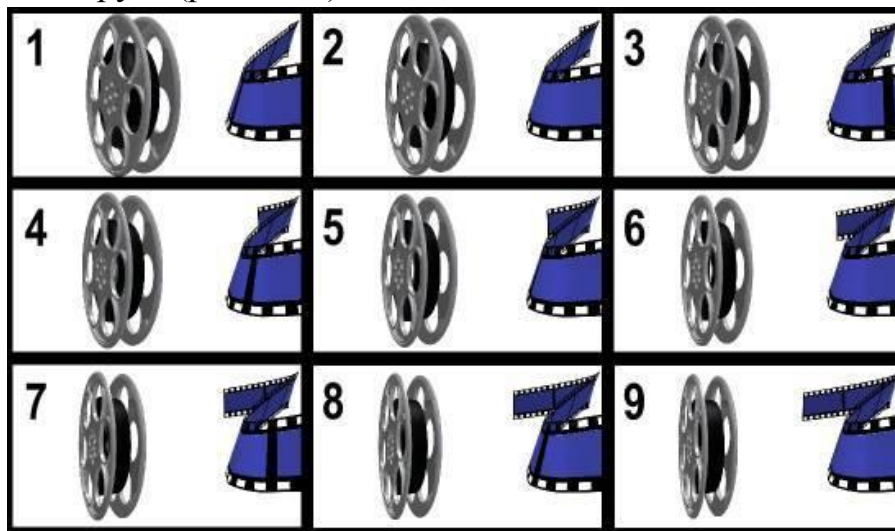


Рис. 21.1. Последовательность кадров

На рисунке вы видите последовательность из 9 кадров. На видео, кадры из которого здесь представлены, все объекты находятся в движении. Если сравнить 1-ый и 2-ой кадры, то найти отличия между ними достаточно сложно. Более или менее различия видны, если сравнивать не соседние кадры, а, например, 1-ый и 4-ый.



Именно эта особенность и используется для сжатия видео. Вместо того чтобы записывать каждый кадр в отдельности, программа полностью записывает только первый кадр (I-кадр). Следующий кадр (P-кадр) полностью не записывается. Вместо этого записывается информация со ссылкой на предыдущий кадр, а также информация об измененных областях.

Чтобы вы лучше поняли, о чем идет речь, приведем пример.

Предположим, имеется видео: черный квадрат, который снят на разноцветном фоне, перемещается вправо (рис. 21.2).

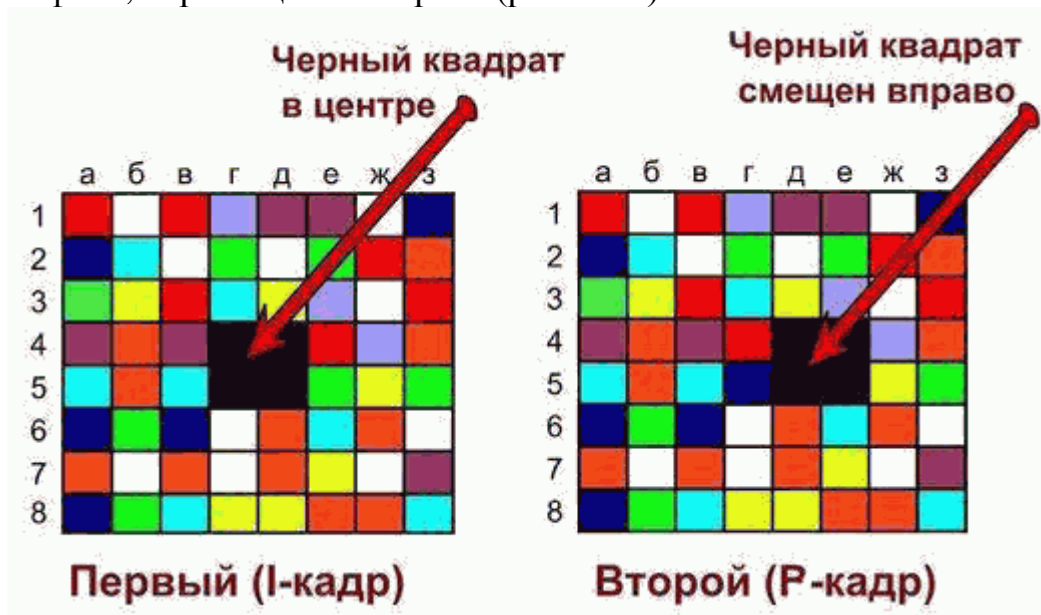


Рис. 21.2. Запись I и P-кадров

Как видно на первом кадре черный квадрат находится в центре, а во втором кадре – смещен вправо.

Если представить себе запись первого (I) кадра на «человеческом» языке, то она будет выглядеть так: блок а1 – красный, блок б1 – белый .... блок з1 – синий. Далее следует вторая строка: блок а2 – синий, блок б2 – голубой, .... и так до конца, пока не будет описаны все блоки (в нашем примере их 64), заканчивая блоком з8.

Теперь самое интересное. Для записи второго (P) кадра, заново записывать характеристики всех 64 блоков не требуется. Вместо этого запись выглядит так: второй кадр, копия первого, но в нем имеются такие изменения: г4 – красный, е4 – черный, г5 – синий, е5 – черный.

Все! Для записи второго кадра нам потребовалось описать всего четыре блока, которые были изменены. Согласитесь, это гораздо меньше, чем делать полное описание всех 64-х блоков заново.

Данный пример довольно примитивен, и приведен лишь для того, чтобы вы поняли общую суть. А суть такова: чем меньше второй кадр отличается от первого, тем меньшее количество информации требуется для его записи.

Естественно, и третий, и четвертый кадр может записываться по такому же принципу, то есть формироваться на основе предыдущего. Однако использование только I и P кадров для нормального сжатия видео недостаточно.

Поэтому то и существует еще один вид кадров, так называемые В-кадры. В-кадры, являются самыми сжатыми. Именно за счет них экономится львиная доля размера видеофайлов. Минимальный размер В-кадра реализуется за счет того, что он несет в себе минимум информации и формируется за счет двух соседних кадров.

Приведем простой для понимания пример (рис. 21.3).



Рис. 21.3. В-кадр

На первом кадре черный блок находится в левом нижнем углу. На третьем кадре черный блок находится в правом верхнем углу. Между первым и третьим кадром находится В-кадр. Кодек, обнаружив В-кадр, сравнивает первый и третий кадры, и высчитывает промежуточное между ними значение, получая таким образом второй кадр (рис. 21.4)

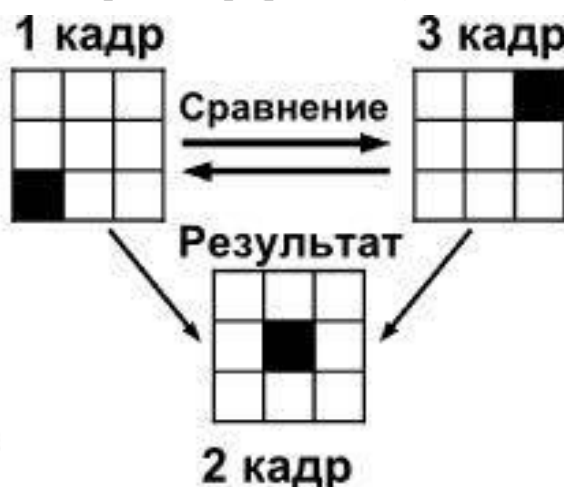


Рис. 21.4. Создание В-кадра

Здесь показана еще одна ключевая возможность MPEG, получившая название «компенсация движения». Для ее реализации определяются векторы, описывающие направление и дистанцию смещения от кадра к кадру движущихся частей изображения. С их помощью указывается положение кодируемого отсчета в новом кадре (компенсируется его движение) и, таким образом, сохраняется высокая точность предсказания. При этом чем точнее оценка векторов смещения, тем меньше искажения, вносимые процессом компрессии.

Кроме того, если в подвижном изображении какие-либо объекты движутся в одном направлении и с одинаковой скоростью (что бывает часто), то соот-

ветствующие фрагменты сигнала будут кодироваться одним и тем же вектором смещения. При последующем сжатии это даст дополнительное увеличение степени компрессии.

Метод компенсации движения, определенный в алгоритме MPEG, основан на обработке макроблоков (структурных единиц кадра, описывающих квадратные участки изображения размером 16 пикселей на 16 строк). Согласно спецификации MPEG-2, размеры макроблока согласуются со структурой, используемой для дискретизации изображения ТВ-кадра. При этом в каждом ТВ-кадре должно быть целое число макроблоков.

В процесс кодирования входят операции сравнения базового и последующих кадров, поиска идентичных или похожих макроблоков. Макроблоки, не содержащие изменений, игнорируются. В результирующем потоке сохраняются только данные о различиях между кадрами – так называемый вектор смещения.

Чтобы определить вектор смещения, например, при предсказании вперед, поиск нового положения определенного макроблока первого кадра выполняется в зоне поиска второго кадра. Для всех отсчетов этого макроблока вычисляются межкадровые разности и рассчитываются координаты вектора смещения, описывающего движение макроблока по вертикали и горизонтали относительно его начального положения.

Зона поиска должна быть достаточно большой, чтобы быстро движущийся макроблок изображения первого кадра не вышел из зоны поиска второго кадра. Однако ее размеры ограничены техническими возможностями аппаратуры, так как понятно, что чем больше размер зоны, тем больше и объем вычислений, которые необходимо выполнить в масштабе реального времени. На практике размеры зоны в четыре раза больше размеров макроблока, то есть она ограничена квадратом изображения 64x64 пикселей.

Алгоритмы кодирования В-кадров зависят от характера картинки. В MPEG предусмотрено четыре способа кодирования. Первый, самый простой, – компенсация движения и предсказание вперед по ближайшим предшествующим I- или P-кадрам. При появлении в кодируемом В-кадре новых объектов применяется предсказание назад по ближайшим последующим I- или P-кадрам вместе с компенсацией движения. Третий алгоритм включает в себя компенсацию движения и двунаправленное предсказание по предшествующим и последующим I- или P-кадрам. И, наконец, четвертый основан на внутрикадровом предсказании без компенсации движения (он чаще всего используется при резкой смене плана или высоких скоростях движения отдельных фрагментов картинки).

Чем больше В-кадров содержит видео, тем меньше его размер. В случае корректного срабатывания алгоритма предсказания движения, объемы кадров разного типа в байтах соотносятся друг с другом примерно следующим образом – I:P:В как 15:5:2. Конечно при этом вероятность появления артефактов, связанных с ошибками во время вычислений, возрастает.

Теперь, когда вы знаете что такое I, P и B-кадры, давайте рассмотрим, в какой последовательности они записываются. Классическая последовательность, которая обеспечивает отличное качество видео, показана на рис. 21.5.

Перераспределение ресурса между I-, P- и B-кадрами производится кодером на основе оценки соотношения битов в предыдущих кадрах. Некоторые кодеры осуществляют кодирование «в два прохода», оценивая на первом проходе сложность видеокadra, выделяя ему на основе этой оценки определенный ресурс битов и уже на втором проходе кодируя отсчеты с учетом выделенного ресурса.

Полученные последовательности I, P и B-кадров далее объединяются в фиксированные по длине и структуре группы кадров – GOP (Group of Pictures). Каждая такая группа обязательно начинается с I-кадра и с определенной периодичностью содержит P-кадры. Ее структуру описывают как M/N, где M – общее число кадров в группе, а N – интервал между P-кадрами.

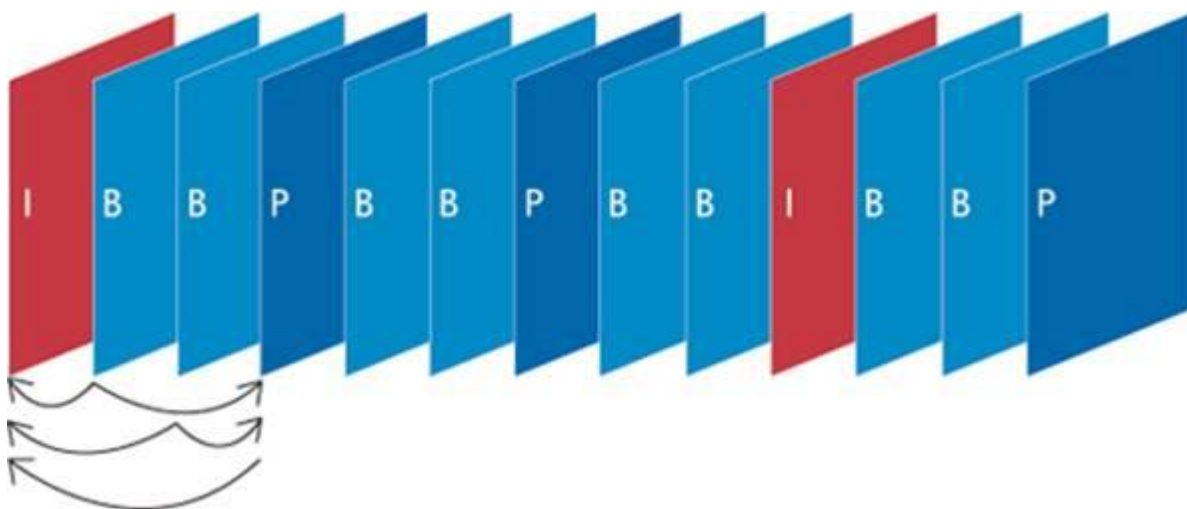


Рис. 21.5. Типовая последовательность I-, B- и P-кадров (P-кадр может ссылаться только на предшествующие I- или P-кадры, тогда как B-кадр может ссылаться и на предшествующие, и на последующие I- или P-кадры)

Как видно из рис. 21.5, после определенного количества P- и B- кадров снова следует опорный I-кадр. Группа кадров должна быть достаточно большой, если необходимо получить высокую степень сжатия информации. С другой стороны, чем чаще следуют I-кадры, тем выше качество изображения, но тем больший объем информации в реальном масштабе времени нужно передать по каналу связи. Считается оптимальным, если на один I-кадр приходится в среднем от 7 до 15 P- и B-кадров.

Стандарт MPEG-1 имел врожденные недостатки. Например, однотонная стена всегда оказывалась нарисованной из рассыпающихся квадратиков. Аналогичная структура проявляется и в быстро меняющихся сценах. Известны случаи, когда при выпуске версий фильмов на Video-CD приходилось вырезать сцены с большим количеством движения: погони, драки, взрывы и т.п. Однако

повторим, что в целом качество фильмов в MPEG-1 сравнимо с бытовой VHS-кассетой, и полнометражный фильм можно уместить на двух компакт-дисках, так что в середине просмотра придется их менять. По этим причинам, а также по причине прогресса цифровых технологий стандарт MPEG-1 не успел получить большого распространения.

### 21.3. Стандарт MPEG-2

Прародителя этого формата – MPEG-1, не колеблясь можно назвать поистине революционным, ведь до него ничего подобного не существовало. Первые видеодиски и спутниковые телепередачи в формате MPEG-1 казались чудом – такое качество при таком относительно низком битрейте. Сжатое цифровое видео имело качество сопоставимое с качеством бытового видеомагнитофона и имело по сравнению с аналоговыми носителями массу преимуществ. Но время шло, прогресс в области цифровых технологий шагал семимильными шагами, и вот старичку MPEG-1 понадобилась существенная доработка, чтобы угнаться за чудесами науки и техники. В результате возник формат MPEG-2, который является не революционным, а скорее, эволюционным форматом, возникнув в результате переделки MPEG-1 под нужды заказчиков. А заказчиками данного формата являлись крупнейшие массмедиа-компании, которые сделали ставку на спутниковое телевидение и нелинейный цифровой видеомонтаж.

Это сейчас формат MPEG-2 ассоциируется в первую очередь с DVD-дисками, а в 1992 году, когда стартовали работы по созданию этого формата, не существовало широко доступных носителей, на которые можно было бы записать видеоинформацию, сжатую MPEG-2, но самое главное, компьютерная техника того времени не могла обеспечить нужную скорость потока – от 2 до 9 Мбит/сек. Зато данный канал могло обеспечить спутниковое телевидение с новейшим по тем временам оборудованием. Такие высокие требования к каналу вовсе не означали, что степень сжатия MPEG-2 ниже, чем у MPEG-1, наоборот, значительно выше! А вот разрешение изображения значительно больше, так как именно высокое качество при разумном битрейте и было той основной целью, которую поставили перед комитетом MPEG заказчики. Именно благодаря MPEG-2 и стало возможно появление телевидения высокого разрешения – HDTV, в котором изображение намного четче, чем у обычного телевидения.

Спустя несколько лет после начала работ, в октябре 1995 года через космический телевизионный спутник Pan Am Sat было осуществлено первое 20-канальное ТВ-вещание, использующее стандарт MPEG-2. Спутник осуществлял и до сих пор осуществляет трансляцию на территории Скандинавии, Бельгии, Нидерландов, Люксембурга, Ближнего Востока и Африки.

Видеопотоки, сжатые MPEG-2 с битрейтом 9 Мбит/сек, используются при студийной записи и в высококачественном цифровом видеомонтаже.

С появлением первых DVD-проигрывателей, обладающих колоссальной емкостью и относительно доступной ценой, MPEG-2, что вполне естественно,

был выбран в качестве основного формата компрессии видеоданных за его высокое качество и высокую степень сжатия. Именно фильмы, использующие MPEG-2, до сих пор являются главнейшим аргументом в пользу DVD.

Как уже отмечалось, MPEG-2 – формат эволюционный, именно поэтому уместно рассматривать его, сравнивая с его именитым прародителем MPEG-1, с указанием, что же нового было внесено в исходный формат.

Надо сказать, разработчики MPEG-2 подошли к решению поставленной проблемы творчески. Мозговой штурм, развязанный по поводу изыскания возможности удаления лишних битов и байтов из и без того уже сжатого изображения (вспомните, уже существовал MPEG-1, теперь нужно было ужать его) был начат сразу с трех сторон. Помимо улучшения алгоритмов компрессии видео (одна сторона) и аудио (другая) был найден альтернативный путь уменьшения размера конечного файла, прежде ранее не использовавшийся.

Как уже было отмечено, свыше 95% видеоданных, так или иначе, повторяются в разных кадрах, причем неоднократно. Эти данные являются балластными или, если использовать термин, предложенный комитетом MPEG, избыточными. Избыточные данные удаляются практически без ущерба для изображения, на место повторяющиеся участков при воспроизведении подставляется один единственный оригинальный фрагмент. К уже известным алгоритмам сжатия и удаления избыточной информации, которые встречались нам в формате MPEG-1, добавился еще один, по-видимому, наиболее эффективный. После разбивки видеопотока на кадры, данный алгоритм анализирует содержимое очередного кадра на предмет повторяющихся, избыточных данных. Составляется список оригинальных участков и таблица участков повторяющихся. Оригиналы сохраняются, копии удаляются, а таблица повторяющихся участков используется при декодировании сжатого видеопотока. Результатом работы алгоритма удаления избыточной информации является превосходное высокочеткое изображение при низком битрейте. Подобное соотношение размер/качество до появления MPEG-2 считалось недостижимым.

Но и у этого алгоритма есть ограничения. Например, повторяющиеся фрагменты должны быть достаточно крупными, иначе пришлось бы заводить запись в таблице повторяющихся участков чуть ли не на каждый пиксель, что свело бы пользу от таблицы к нулю, так как ее размер превышал бы размер кадра. И еще это обстоятельство делает этот алгоритм менее эффективным – наиболее полезным и эффективным было бы применение этого алгоритма не к отдельным кадрам, а ко всему видеоролику в целом, так как вероятность нахождения повторяющихся участков в большом видеоучастке намного выше, чем в отдельно взятом кадре. Да и суммарный размер таблиц для всех кадров намного больше, чем возможный размер одной общей таблицы. Но, к сожалению, MPEG-2 – это потоковый формат, который изначально предназначался для пересылки по спутниковым каналам или по кабельным сетям, поэтому наличие кадров – обязательное условие.

Итак, мы рассмотрели один из подходов, который обеспечил существенное уменьшение размера кодируемого файла, но если бы этот трюк был один,

то разработчики никогда не добились бы столь впечатляющих результатов, которые мы увидели. Разумеется, им пришлось хорошенько попотеть над уже существующими алгоритмами, буквально вылизав их и выжав все до последнего байта. Очень существенной модернизации подверглись алгоритмы сжатия видео.

Основные изменения алгоритмов сжатия видеоданных в MPEG-2 коснулись процедуры квантования, то есть алгоритмов преобразования непрерывных данных в дискретные. В MPEG-2 используется нелинейный процесс дискретно-косинусного преобразования, который гораздо эффективнее предшественника. Формат MPEG-2 предоставляет пользователям и программистам значительно большую свободу по сравнению с MPEG-1. Так теперь стало возможным в процессе кодирования задавать точность частотных коэффициентов матрицы квантования, что непосредственно влияет на качество получаемого в результате сжатия изображения (и на размер тоже). Используя MPEG-2, пользователь может устанавливать следующие значения точности квантования – 8, 9, 10 и 11 бит на одно значение элемента, что делает этот формат значительно более гибким по сравнению с MPEG-1, в котором было только одно фиксированное значение – 8 бит на элемент.

Стало также возможным загрузить отдельную матрицу квантования непосредственно перед каждым кадром, что позволяет добиться очень высокого качества изображения, хоть это и довольно трудоемко. Как с помощью матрицы квантования улучшить качество изображения? Не секрет, что быстро движущиеся участки – традиционно слабое место для семейства MPEG, в то время как статичные участки изображения кодируются очень хорошо. Отсюда следует вывод, что нельзя статику и участки с движением кодировать одинаково. Так как качество изображения зависит от стадии квантования, которая во многом зависит от используемой матрицы квантования, то, меняя эти матрицы для разных участков видеоролика, можно добиться улучшения качества изображения. Многие кодеки MPEG-2 делают это автоматически, но есть программы, позволяющие помимо этого задавать матрицы квантования вручную.

Не обошли нововведения и алгоритмы предсказания движения. Данная секция обогатилась новыми режимами: 16x8 MC, field MC и Dual Prime. Данные алгоритмы существенно повысили качество картинки и, что немаловажно, позволили делать ключевые кадры реже по сравнению с MPEG-1, увеличив, таким образом, количество промежуточных кадров и повысив степень сжатия. Основной размер блоков, на которые разбивается изображение, может быть 8x8 точек, как и MPEG-1, 16x16 и 16x8.

Из-за некоторых особенностей реализации алгоритмов предсказания движения в MPEG-2 появились некоторые ограничения на размер картинки. Теперь стало необходимо, чтобы разрешение изображения по вертикали и горизонтали было кратно 16 в режиме покадрового кодирования, и 32 по вертикали в режиме кодирования полей, где каждое поле состоит из двух кадров. Размер кадра увеличился до 16383x16383.

Помимо вышеперечисленных улучшений в формат MPEG-2 были введены еще несколько новых нигде ранее не используемых алгоритмов компрессии видеоданных. Наиболее важные из них – это алгоритмы под названиями Scalable Modes, Spatial scalability, Data Partitioning, Signal to Noise Ratio (SNR) Scalability и Temporal Scalability.

Несомненно, эти алгоритмы внесли весьма важный вклад в успех MPEG-2 и заслуживают более подробного рассмотрения.

- **Scalable Modes** – набор алгоритмов, который позволяет определить уровень приоритетов разных слоев видеопотока. Поток видеоданных делится на три слоя – base, middle и high. Наиболее приоритетный на данный момент слой (например, передний план) кодируется в большем битрейтом.

- **Spatial scalability (Пространственное масштабирование)** – при использовании этого алгоритма базовый слой кодируется с меньшим разрешением. В дальнейшем информация, полученная в результате кодирования, используется в алгоритмах предсказания движения более приоритетных слоев.

- **Data Partitioning (Дробление данных)** – этот алгоритм дробит блоки размером в 64 элемента матрицы квантования на два потока. Один поток данных, более высокоприоритетный, состоит из низкочастотных (наиболее критичные к качеству) компонентов, другой, соответственно менее приоритетный, состоит из высокочастотных компонентов. В дальнейшем эти потоки обрабатываются по-разному. Именно поэтому в MPEG-2 и динамические и статистические сцены смотрятся весьма неплохо, в отличие от MPEG-1, где динамические сцены традиционно плохи.

- **Signal to Noise Ratio (SNR) Scalability (Масштабирование соотношения сигнала/шум)** – при действии этого алгоритма разные по приоритету слои кодируются с разным качеством. Низкоприоритетные слои более дискретизированы, соответственно содержат меньше данных, а высокоприоритетный слой содержит дополнительную информацию, которая при декодировании позволяет восстановить высококачественное изображение.

- **Temporal Scalability (Временное масштабирование)** – после действия этого алгоритма у низкоприоритетного слоя уменьшается количество ключевых блоков информации, при этом высокоприоритетный слой, напротив, содержит дополнительную информацию, которая позволяют восстановить промежуточные кадры, используя для предсказания информацию менее приоритетного слоя.

У всех этих алгоритмов много общего: все они работают со слоями потока видеоданных, использование этих алгоритмов позволяет достичь высокого сжатия при практически незаметном ухудшении картинки. Но есть еще одно свойство этих алгоритмов, возможно, что и не такое приятное. Использование любого из них делает видеоролик абсолютно несовместимым с MPEG-1. Поэтому эти алгоритмы были далеко не в каждом кодеке MPEG-2.

В результате появилось множество форматов, разного разрешения, качества, с разной степенью сжатия и с разным соотношением размер/ качество. С целью наведения порядка и окончательной стандартизации MPEG-2 комитетом MPEG были введены понятия уровней и профилей. Именно уровни и профили,



а также их комбинации позволяют однозначно описать практически любой формат из семейства MPEG-2.

В стандарте используются 5 профилей, которым соответствуют 5 наборов функциональных операций по обработке (компрессии) видеоданных.

- Профиль, в котором используется наименьшее число функциональных операций по компрессии видеоданных, назван **простым**. В нем при компрессии видеоданных используется компенсация движения изображения и гибридное ДКП.

- Следующий профиль назван **основным**. Он содержит все функциональные операции простого профиля и одну новую: предсказание по двум направлениям. Эта новая операция, естественно, повышает качество ТВ-изображения.

Таблица 21.1. Уровни и профили стандарта MPEG

Высокий уровень 1920 отсчетов 1152 строки (активных)		80 Мбит/с			100 Мбит/с
Высокий уровень 1440 отсчетов 1152 строки (активных)		60 Мбит/с		60 Мбит/с	80 Мбит/с
Основной уровень 720 отсчетов 576 строк (активных)	15 Мбит/с	15 Мбит/с	15 Мбит/с		20 Мбит/с
Низкий уровень 352 отсчета 288 строк (активных)		4 Мбит/с	4 Мбит/с		
	Простой профиль без В-кадров, формат 4:2:2	Основной профиль без В-кадров, формат 4:2:0	Профиль с масштабируемым отношением сигнал/шум, В-кадры, формат 4:2:0	Специальный масштабируемый профиль, В-кадры, формат 4:2:0	Высший профиль, В-кадры, формат 4:2:0 или 4:2:2

- Следующий за основным назван профилем **с масштабируемым отношением сигнал-шум**. Термин «масштабирование», в данном случае, означает

возможность обмена основных показателей системы, способность воспроизведения ТВ-изображений из части полного потока видеоданных. Этот профиль к функциональным операциям основного профиля добавляет новую – **масштабирование**. Основная идея – повышение устойчивости цифрового телевидения и сохранение работоспособности при неблагоприятных условиях приема. Операция масштабирования позволит в рассматриваемом случае повысить устойчивость системы за счет некоторого снижения требований к допустимому отношению сигнал-шум в воспроизводимом ТВ изображении.

При масштабировании потоки видеоданных разделяют на две части. Одна из них несет наиболее значимую часть информации, ее называют основным сигналом. Вторую часть, несущую менее значимую информацию, называют дополнительным сигналом. Декодирование только одного основного сигнала позволяет получить ТВ-изображение с пониженным отношением сигнал-шум относительно исходного значения.

И все же, что можно извлечь из идеи деления потока данных на более и менее значимые части? А все дело в защите системы от ошибок. Помехоустойчивое кодирование требует введения дополнительных бит, что повышает общий поток информации. Задача упрощается, когда более мощная защита применяется только к части информации и тем самым соблюдается разумный баланс между уровнем потока видеоданных и степенью их защиты. При неблагоприятных условиях приема (например, при низкой напряженности поля, при приеме на комнатную антенну и т. п.) сохраняется возможность устойчивого декодирования более защищенного основного сигнала, а неустойчиво воспринимаемый дополнительный сигнал просто отключается. Это ведет к росту уровня шума, зато система остается работоспособной.

Бывают ситуации, когда сигналы приходится передавать по каналам с ограниченной пропускной способностью. Деление потока видеоданных на два позволяет использовать и «плохие» каналы, ограничивая передачу основным сигналом.

▪ Четвертый профиль назван **специально масштабируемым** профилем. Здесь, естественно, сохранены все операции предшествующего профиля и добавлена новая – разделение потока видеоданных по критерию четкости ТВ-изображения. Этот профиль обеспечивает переходы между ныне действующими вещательными системами и ТВЧ. С этой целью видеоданные сигнала ТВЧ разделяются на три потока. Первый – это основной (значимый) поток видеоданных, например, по стандарту разложения на 625 строк. Второй поток несет дополнительную информацию об изображении с числом строк до 1250. Одновременное декодирование первого и второго потоков видеоданных позволяет получить ТВ-изображение высокой четкости, но с пониженным отношением сигнал-шум. В третьем потоке сосредоточена менее значимая информация, его декодирование позволяет повысить отношение сигнал-шум в видеоканале до уровня, принятого в ТВЧ.

Стандартом MPEG-2 потенциально предусмотрена масштабируемость по времени, позволяющая получать от одного источника видеoinформации ТВ-

изображения с двумя уровнями разрешающей способности по времени. Например, основной поток видеоданных обеспечивает воспроизведение ТВ-изображения с частотой кадров 25 Гц и чересстрочной разверткой. Добавление дополнительного потока видеоданных к основному позволяет получить ТВ-изображение с частотой кадров 50 Гц и прогрессивной разверткой.

Таким образом, стандарт MPEG-2 предусматривает возможность организации потоков видеоданных как с масштабируемостью, так и без нее. Однако, масштабируемость, заложенная в стандарте MPEG-2, пока редко встречается в практических реализациях цифровых ТВ систем, но она является важной предпосылкой их дальнейшего развития. В рассмотренных четырех профилях при кодировании сигналов яркости и цветности используется формат представления видеоданных 4:2:0, в котором число отсчетов сигналов цветности по сравнению с сигналом яркости уменьшается в два раза не только по горизонтальным, но и по вертикальным направлениям.

- Пятый профиль называется **высшим**, и он включает в себя все функциональные операции специального профиля 4:2:2, при котором число отсчетов сигналов цветности в вертикальных направлениях остается тем же, что и у сигнала яркости. В этом случае коэффициент компрессии минимален, а качество изображения наивысшее.

Приведенные в таблице 21.1 пять профилей и четыре уровня образуют 20 возможных комбинаций видеосигнала, из которых, вероятнее всего, только 11 будут необходимыми. Для этих комбинаций (согласованные точки) в таблице указаны максимальные значения скорости передачи видеоданных в Мбит/с.

## 21.4. Стандарт MPEG-4

**Объектно-ориентированное мультимедиа.** Назначение стандарта MPEG-4 в рабочих документах группы MPEG формулируется так: он задает принципы работы с контентом (цифровым представлением медиаданных) для трех областей: собственно интерактивного мультимедиа (включая продукты, распространяемые на оптических дисках и через Интернет), графических приложений и цифрового телевидения – DTV. При этом его главное достоинство состоит в том, что он не просто оформляет ту или иную сложившуюся практику в качестве стандарта, но является опережающим, структурообразующим и фундаментальным законом. Стандарт создает основу для производства, распространения контента и способов доступа к нему в новой единой цифровой среде и открывает множество принципиально новых возможностей для авторов, дистрибьюторов и потребителей этого контента.

Кардинальное нововведение при компрессии видео в MPEG-4 заключается в следующем. В отличие от предыдущих форматов, которые делили изображение на прямоугольники, при обработке изображений кодек оперирует объектами с произвольной формой. К примеру, человек,двигающийся по комнате, будет воспринят как отдельный объект, перемещающийся относительно неподвижного объекта – заднего плана. Естественно, алгоритмы поиска и обработки

подобных объектов требуют гораздо больше вычислительных ресурсов, нежели в случае MPEG-1/2. Но с учетом быстродействия современных компьютеров последнее обстоятельство нельзя рассматривать сегодня как крупное препятствие на пути широкого распространения формата MPEG4. Для сравнения – во времена выхода MPEG-2, в 1995 году, частота процессоров составляла около 100 МГц. Сегодня эта цифра возросла в десять раз!

MPEG-4 – не только стандарт, фактически он устанавливает правила организации среды, причем среды объектно-ориентированной. Он имеет дело не просто с потоками и массивами медиаданных, а с медиаобъектами – это ключевое понятие стандарта. Объекты могут быть аудио-, видео-, аудиовизуальными, графическими (плоскими и трехмерными), текстовыми. Они могут быть как «естественными» (записанными, отснятыми, отсканированными и т. п.), так и синтетическими. Примерами объектов могут служить неподвижный фон, видеоперсонажи отдельно от фона (на прозрачном фоне), синтезированная на основе текста речь, музыкальные фрагменты, трехмерная модель, которую можно двигать и вращать в кадре.

Медиаобъекты могут быть потоковыми. Каждый медиаобъект имеет связанный с ним набор дескрипторов, где и задаются все его свойства, операции, необходимые для декодирования ассоциированных с ним потоковых данных, размещения в сцене, а также поведение и допустимые реакции на воздействия пользователя. Из объектов строятся сцены. Сцена имеет свою систему координат, в соответствии с которой размещаются объекты. Звуковые объекты также могут иметь координаты в пространстве сцены, благодаря чему достигаются стерео- и «окружающие» (surround) эффекты. Объекты могут быть элементарными и составными, то есть представляющими ту или иную композицию элементарных объектов (например, сгенерированный трехмерный телевизор, наложенная на его экран живая видеотрансляция и исходящий из его громкоговорителей звук).

Стандарт устанавливает правила кодирования различных объектов, их иерархии и способы композиции при построении сцены, а также методы взаимодействия пользователя с отдельными объектами внутри сцены. Каждый объект имеет свою локальную систему координат – с ее помощью объект управляется в пространстве и во времени. При помещении объекта в сцену происходит преобразование его локальной системы координат в систему координат старшего по иерархии объекта или глобальную систему координат сцены. Объекты и сцена могут обладать поведением, контролируемым уровнем композиции при визуализации сцены (характер звука, цвет объекта и т. п.). Сцена описывается с помощью иерархической структуры; узлами этой структуры являются объекты, и она динамически перестраивается по мере того, как узлы-объекты добавляются, удаляются или заменяются.

**Активная зрительская позиция.** Очень важно подчеркнуть для понимания революционной сущности MPEG-4, что окончательная сборка сцены (причем с возможностью добавления разного рода геометрических преобразований, визуальных и акустических эффектов реального времени), вообще гово-

ря, происходит на приемном конце – в компьютере, приставке или телевизоре пользователя. Это, в частности, позволит в корне изменить всю концепцию современного телевидения.

Вместо сегодняшнего плоского окошка, отображающего аудиовизуальный поток, где-то кем-то подготовленный и директивно выдаваемый в эфир, окошка, оставляющего только одну степень свободы – переключить канал или вообще выключить телевизор, – зритель получает некое подобие виртуального пространства, с которым он может взаимодействовать и которое (при соответствующей доброй воле производителя телепрограммы) может выстраивать удобным для себя образом. Простейший пример такого взаимодействия с контентом – динамический выбор той или иной камеры или повтора при просмотре спортивных: фактически зритель становится «Сам себе режиссер трансляции», беря на себя функции, которые раньше выполняли за него спортивные комментаторы.

Но это только цветочки. Среди допустимых в принципе пользовательских команд взаимодействия с контентом – изменение точки наблюдения, удаление, добавление и перемещение объектов внутри сцены, выбор той или иной языковой дорожки, активизация более или менее сложной цепочки событий путем «щелчка» на объекте, ввод команд с клавиатуры и т. п. Естественно, эти воздействия должны быть предусмотрены и разрешены создателями того или иного контента – в противном случае «пользователь» остается пассивным «зрителем», наблюдающим сцены, построенные автором и режиссером. Это должно развеять опасения некоторых авторов и вещателей относительно того, что с введением MPEG-4 они утратят возможность контролировать качество продукта, картинку, которую увидит зритель на своем экране, и в конечном итоге – эстетическое и эмоциональное воздействие произведения.

Добавим, что стандарт предусматривает как локальную отработку воздействий и команд пользователя в декодере, так и пересылку их для исполнения на передающую сторону по обратному «восходящему» каналу, если декодер обладает такой возможностью, а серверная сторона готова реагировать на запросы снизу.

**Кодирование видео.** Как уже упоминалось, MPEG-4 начинал разрабатываться как способ передачи потоковых медиаданных, в первую очередь видео, по каналам с низкой пропускной способностью (4,8...64 кбит/с), в том числе беспроводным. Сейчас эта часть представлена блоком VLBV Core (Very Low Bitrate Video) – ядром, обеспечивающим работу с «видео, имеющим очень низкую скорость потока данных». Естественно, такое видео имеет ухудшенные характеристики как по разрешению (вплоть до разрешения CIF), так и по частоте кадров (до 15 кадр/с). Впрочем, прогресс методов сжатия постоянно повышает «верхнюю границу» характеристик. Помимо эффективных и помехоустойчивых методов кодирования последовательностей подобных кадров, VLBV содержит предложения по реализации операций произвольного доступа к кадрам видеопоследовательности, а также быстрой «подмотки» видеоряда вперед и назад. Это требуется, например, в бурно развивающейся области управления медиа-

активами – для работы с базами видеоданных, хранящими видеоматериалы в низком разрешении (для целей быстрого поиска и оценки) и ссылки на места хранения соответствующих материалов в полном вещательном качестве.

Второй блок, отвечающий за работу с видео с большой скоростью потока, вплоть до вещательного качества, обеспечивает те же функции, что и VLBV, однако здесь предусмотрены возможности работы с видео, имеющим не только прогрессивную, но и чересстрочную телевизионную развертку. Два названных блока обрабатывают обычные видеопотоки с прямоугольными кадрами и фактически включают в себя функциональность MPEG-1 и MPEG-2, а также кодирование «живых» текстур.

Особенно интересен третий блок – так называемые функции, зависящие от контента. Сюда входит обработка видео с произвольным силуэтом (с помощью 8-бит механизма прозрачности или двоичных масок) для отдельного кодирования видеообъектов (например, «вырезанного» силуэта диктора) и интерактивных манипуляций с ними. Помимо обычных методов межкадрового кодирования – предсказания и компенсации движения, предусмотрены механизмы работы со «спрайтами» – неподвижными изображениями, которые передаются в декодер лишь однажды и всякий раз подставляются в нужное место кадра из специального спрайтового буфера. Механизм спрайтов позволяет значительно снизить объем передаваемых данных и обеспечивает большую гибкость в построении сцен. Например, можно запускать различные объекты-спрайты (самолеты, автомобили) поверх «живого» видеофона или же построить (выделить из реальных съемок или сгенерировать) неподвижную спрайт-панораму шириной в несколько кадров для «задника» сцены (спортивная площадка и трибуны). Или, запустив поверх нее «живые» видеообъекты (игроков), панорамировать камерой вправо-влево – в этом случае для каждого кадра достаточно передавать вместо полной картинки фона только параметры камеры – направление и наплыв. Для улучшения времени реакции спрайт-панорамы могут подкачиваться с «прогрессивным разрешением», то есть с постепенным улучшением разрешения, как картинки в Интернете.

Этот же блок отвечает за «масштабируемость» видеообъектов. Под этим термином подразумевается, что объекты кодируются таким образом, чтобы декодер имел возможность в случае ограничений пропускной способности сети или параметров самого декодера огрублять изображение, декодируя и выводя лишь часть передаваемой потоковой информации (например, уменьшая частоту или разрешение кадров, увеличивая «зернистость»), но, сохраняя, тем не менее, адекватность передачи контента. Для видеопотоков предусмотрено до трех уровней зернистости. При кодировании неподвижных изображений и текстур в MPEG-4 применяется очень эффективный wavelet-алгоритм, обеспечивающий кодирование объектов произвольной формы, 11 уровней масштабируемости по разрешению и плавную масштабируемость по качеству картинки. Результирующий закодированный поток представляет собой «пирамиду» различных разрешений, и в приемнике картинка со временем «проявляется», улучшаясь настолько, насколько позволяет данная передающая среда.

**Особенности построения групп изображений.** Напомним, что стандарты MPEG-1 и MPEG-2, использовали группу изображений, показанную на рис. 21.6. Группа изображений начинается с I кадра. P кадры добавляются с определенными интервалами, с B кадрами между I и P кадрами. Кадры I и P используются как опорные; кадры B не используются как опорные, то есть все изображения предсказываются по кадрам I и P. Каждый кадр P предсказывается по предыдущему кадру I или P, и каждый кадр B предсказывается по I и/или P кадрам с любой стороны от него.

Эта структура дает лучшую эффективность сжатия, поскольку предсказание кадра B обычно более эффективно, чем предсказание кадра P, вследствие того, что доступны два опорных изображения. Недостатком является увеличенная задержка и большие требования к памяти для хранения кадров.

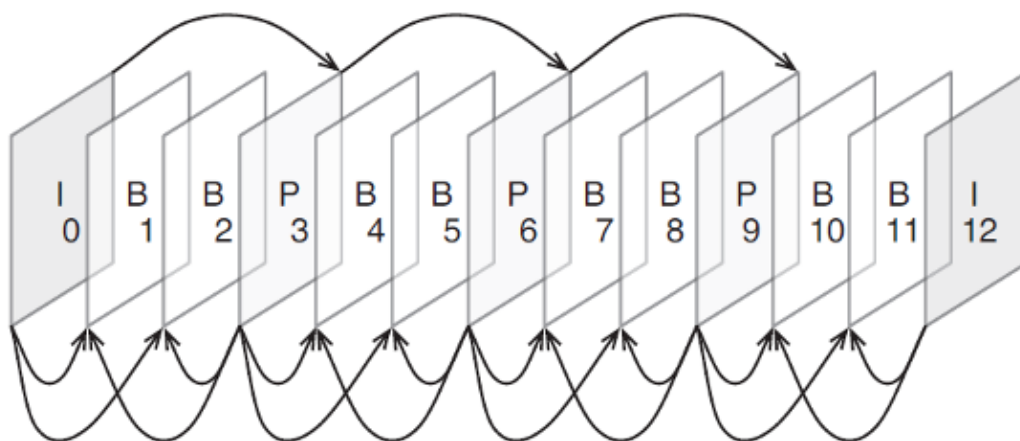


Рис. 21.6. «Классическая» структура предсказания группы изображений

MPEG-4 делает возможным создание других структур предсказания, к примеру, использование для предсказания множественных опорных кадров. Рис. 21.7 показывает структуру предсказания IPPP..., в которой все ранее закодированные кадры доступны как опорные. Кадр P1 предсказывается по кадру I0; кадр P2 предсказывается по кадрам I0 и P1; кадр P3 предсказывается по кадрам I0, P1 и P2 и т. д. Это означает, что кодер может проверять до N опорных кадров для поиска лучшего совпадения для каждого P макроблока. Это может увеличить эффективность сжатия как за счет увеличения вычислительной сложности кодера, так и за счет увеличения памяти кодера и декодера, поскольку должны сохраняться N опорных кадров.

Рисунок 21.8 показывает пример такой иерархической структуры GOP. Этот тип структуры становится возможным благодаря гибким опциям предсказаний MPEG-4. GOP начинается и заканчивается I кадрами 0 и 12. Далее, кадр B6 предсказывается с использованием I0 и I12 как опорных; заметим, что B6 находится посередине между I0 и I12 в порядке отображения. B3 предсказывается по I0 и B6; B9 предсказывается по B6 и I12. B1 и B2 предсказываются по I0 и B3 и т.д. GOP составляется из серий слоев, двух-

элементным или пирамидальным разложением.

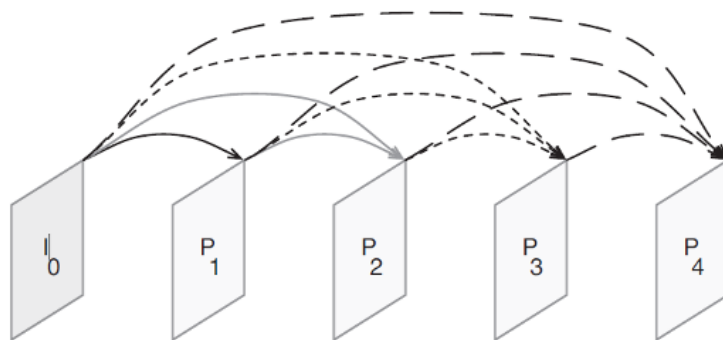


Рис. 21.7. IPPP с множественными опорными изображениями

Этот тип структуры может дать улучшенное качество сжатия, если параметры квантования слоев тщательно контролируются таким образом, что параметр квантования  $QP$  растет с увеличением количества слоев. Иерархические или пирамидальные структуры GOP были впервые предложены как метод, дающий временную масштабируемость, но также они могут использоваться в любом кодеке, поддерживающем В кадры.

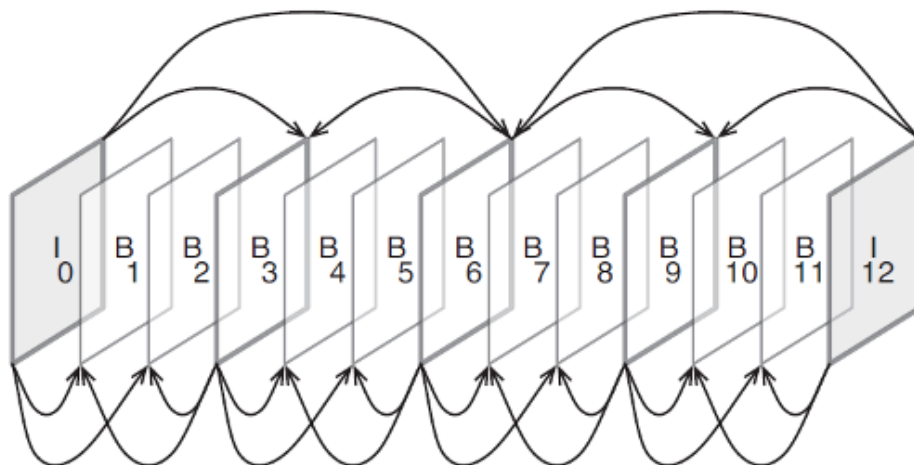


Рис. 21.8. Иерархическая структура группы изображений

Благодаря этим нововведениям, кодеки стандарта MPEG-4 предоставляют значительные преимущества в области улучшения эффективности сжатия и гибкости для эффективного использования в широком диапазоне типов сетей и областей применения.

**Синтетические объекты и лица.** В MPEG-4 предусмотрены инструменты и алгоритмы для работы не только с видеообъектами, но и с синтетическими объектами, то есть сгенерированными средствами компьютерной графики: каркасными представлениями двух- и трехмерных моделей, потоками геометрических данных для анимирования этих моделей, с натуральными или анимированными текстурами, которые могут на эти модели накладываться и т. п. Подобные объекты позволяют значительно сократить объем передаваемых дан-



ных, так как для их анимации бывает достаточно передать всего несколько параметров – все остальное будет сделано в декодере.

Среди синтетических объектов выделена в отдельный класс анимация человеческих лиц и фигур. В MPEG-4 установлены наборы управляющих параметров для задания особенностей лица (FDP), для его анимации (FAP) и интерполяции, контрольные точки в полигональной сетке, «отвечающие» за те или иные эмоции или движения и т. п. Необходимые средства управления анимацией входят в язык BIFS. Лицо может быть сгенерировано в декодере на базе имеющейся в нем обобщенной модели и затем «индивидуализировано» с помощью FDP, либо желаемая конкретная модель (например, полученный с помощью трехмерного сканера «автопортрет») может быть загружена во входящем потоке. Мало этого, на построенную модель лица можно «натянуть» фотоили видеотекстуру лица конкретного человека, а затем «заставить» его произносить написанный текст. Средства синтеза речи на базе текстов (text-to-speech), предусмотренные в MPEG-4, не только генерируют необходимые фоны, но могут также создавать поток данных для соответствующей анимации модели лица говорящего. Таким образом можно построить виртуального диктора, изображение удаленного абонента при «разговоре» в чате или отправить сетевым партнерам собственного аватара-дубля.

Имеются развитые средства работы с двумерными полигональными моделями, адаптации их под имеющийся видеоконтент для последующей анимации – например, искажения текстур в соответствии с деформацией подложенной сетки и др. Использование этих средств позволяет выполнять многие функции, например, представление контуров объектов с помощью вершин сетки (вместо битовых масок), замещение в сцене «живых» видеообъектов синтетическими и т. д.

Сюда примыкают и средства учета точки наблюдения, которые работают как на клиентской, так и на серверной стороне (если имеется обратный канал): при наличии в трехмерном пространстве сцены объектов переднего плана те фрагменты изображения, которые заслонены для наблюдателя этими объектами, не передаются.

**Потоки и уровни.** В «поточковой» части архитектура MPEG-4 опирается на другой фундаментальный стандарт ISO – семиуровневую модель взаимодействия открытых систем. Эта модель выделяет семь независимых вложенных уровней (сверху вниз: прикладной, представительский, сеансовый, транспортный, сетевой, каналный, физический). Каждый из уровней на передающем конце общается с соответствующим уровнем на приемном, а для этого обращается к локальным службам соседнего нижнего уровня (который предоставляет ему для этого специальный интерфейс) – и далее все происходит «прозрачно» для него, все остальные нижние уровни системы от него скрыты. По мере продвижения по этой лестнице вниз содержательная информация, которой обмениваются пользователи или приложения – то есть прикладные уровни – обрастает служебными данными (которые «навешивает» каждый из уровней для взаимодействия со своим визави на приемном конце в соответствии с принятым между

ними протоколом общения), данные разбиваются на пакеты, тем или иным способом мультиплексируются, кодируются и передаются между узлами сети. На приемном конце происходит обратный процесс – сообщение собирается, очищается от вспомогательных данных и восстанавливается к своему первоначальному виду.

MPEG-4 действует на верхних уровнях модели ISO, начиная с сеансового. Для передачи потоков данных он обращается к службам транспортного уровня, которые обеспечивают приложениям инвариантность работы с различными системами и средами доставки – сетевыми, вещательными, дисковыми.

Для управления передачей потоковых данных в MPEG-4 предусмотрен специальный протокол сеансового уровня, называемый DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework – среда интеграции доставки мультимедиа). Разработчики указывают на его сходство с FTP, подчеркивая при этом, что основное различие в том, что «FTP в ответ на запрос передает данные, а DMIF – указатели на то, где находятся (потоковые) данные». Службы уровня DMIF в декодере MPEG-4 устанавливают сеанс с «передающей стороной», затем выбирают нужные потоки, посылаются запрос, в результате чего транспортный уровень устанавливает требуемые соединения, по которым будут поступать потоковые данные, и сообщает указатели на эти соединения. В итоге устанавливается прямой канал обмена данными между приложениями.

Службы DMIF доступны прикладному уровню с помощью интерфейса DAI (DMIF-Application Interface). Именно DAI маскирует для локальных приложений разницу между сетевыми, вещательными и локальными (например, с дисков CD/DVD) потоками, эмулируя при работе с вещательными и дисковыми источниками «удаленный DMIF» и «удаленное приложение». При этом допускается одновременная работа со всеми тремя типами источников и замена одного на другой.

Потоковые данные, которые относятся к медиаобъекту, могут поступать через один или несколько элементарных потоков. Все необходимые характеристики этих потоков, как-то: требования к приемнику, данные о тайминге и об уровне обслуживания (Quality of Service, QoS), то есть скорости, приоритете, допустимом уровне ошибок и максимальной задержке, – содержатся в предусмотренном для каждого объекта дескрипторе объекта. Дескрипторы могут также содержать текстовую информацию об объекте. Дескрипторы объектов передаются в специальном элементарном потоке, что позволяет добавлять к сцене новые объекты или удалять ненужные динамически. Команды описания сцены и объектов в формате BIFS также составляют отдельный элементарный поток и могут быть модифицированы без изменения собственно медиаданных в других потоках. Так можно выстраивать различные сценарии на базе одних и тех же медиапотоков. Это пригодится и для интерактивных применений с многовариантным развитием сюжета, и для подстройки сложности сцен и объектов под доступный уровень QoS: в обоих случаях можно заранее предусмотреть не-

сколько командных BIFS-потоков, а в процессе передачи оперативно выбирать из них подходящий в качестве действующего сценария. Кроме того, облегчаются адаптация готовых произведений для новой среды доставки или извлечение готовых объектов для использования в новых произведениях.

Стандартом предусмотрено наличие отдельного, общего для всех типов потоковых данных уровня синхронизации, который для каждого элементарного потока определяет минимальную единицу доступа, или access unit (то есть аудио- или видеокадр, команду описания сцены и т. п.), выстраивает для каждого объекта и для всей сцены временную базу и обеспечивает синхронизацию между ними. На синхроруровне элементарные потоки разбиваются на пакеты, к ним добавляется информация тайминга – чтобы на приемном конце декодер смог адекватно собрать и отобразить результирующий поток. Затем специальный подуровень мультиплексирования определяет элементарные потоки с близкими требованиями к QoS и группирует их – для того, чтобы минимизировать число сетевых соединений, запрашиваемых от транспортного уровня. Сам транспортный уровень (как и более низкие) в стандарте не рассматривается, однако установлены методы защиты от ошибок, ресинхронизации и восстановления данных при сбоях в механизме доставки.

На приемном конце происходит декодирование потоков, выделение объектов и построение сцены. Особо подчеркнем, что, как и в случае MPEG-1 и MPEG-2, MPEG-4 не устанавливает правил процесса кодирования; не касается он и деталей реализации декодера, задавая лишь правила поведения некоего абстрактного устройства, а также синтаксис и семантику двоичных потоков, с которыми оно должно уметь работать. Для этого в MPEG-4 определена модель декодера – System Decoder Model. На практике допустимы всевозможные реализации декодеров MPEG-4: от отдельных специализированных терминалов до функций, встроенных в телевизор или приставку, от мобильных коммуникационных устройств до программных модулей в ПК, с разной степенью сложности.

**Авторские права.** Одна из самых острых и трудно решаемых проблем цифрового мира, проблема, сегодня уже тормозящая его развитие куда сильнее, чем проблемы технологические, – это защита авторских прав. Стандарт MPEG-4, претендуя на роль универсальной среды доставки контента, немедленно становится средоточием и болевой точкой этой проблемы. Понимая это, разработчики стандарта с самого начала привлекли представителей различных творческих профессий и отраслей, стремясь добиться единого подхода, определить синтаксис и набор средств идентификации и защиты прав интеллектуальной собственности (IPR) для MPEG-4. В результате был выработан комплекс мер, известный под названием IPMP (Intellectual Property Management & Protection), подробное изложение которых выходит за рамки этого пособия. Вкратце упомянем, что с дескриптором каждого объекта или потока может быть связан специальный блок данных (IPI, Intellectual Property Identifier), содержащий уникальный идентификатор в одной из принятых международных систем (ISAN,

ISRC или др.), характеристику типа контента, а также имя обладателя прав или указатель на него (на них). Каждый декодер имеет блок IPMP, который обрабатывает данные о защите. Стандартом предусмотрены также точки входа для шифрования/дешифрования информации. Выработанная система позволяет реализовать механизмы отслеживания авторских прав, автоматического отчисления авторских процентов, проведения аудита и расследований в случае предполагаемых нарушений, строить разные уровни защиты контента – по соображениям коммерческим, личностным, секретности и т. п. Однако эти «верхние» уровни защиты и управления правами не входят в стандарт и могут быть реализованы разработчиками приложений и/или держателями контента.

**Профили MPEG-4.** Как видите, стандарт MPEG-4 в его полном виде – весьма разветвленный и многоплановый конгломерат, включающий множество механизмов и инструментов, так что его полная реализация может показаться задачей почти невыполнимой. Чтобы не допустить неконтролируемого размножения малосовместимых частичных реализаций, был установлен набор подмножеств (профилей), которые содержат ограниченные наборы инструментов и функций MPEG-4, существенных для тех или иных применений. Они могут частично пересекаться, полностью включать в себя функциональность младших профилей или добавлять те или иные функции. Для большей гибкости и упрощения подбора вариантов профили были разбиты по категориям: девять визуальных (включающие в свою очередь профили для работы только с живым видео, только с анимацией и гибридные), четыре звуковых, три графических и четыре профиля описания сцены. Кроме того, в зависимости от доступной вычислительной мощности декодера, для каждого профиля установлены один или несколько уровней. Таким образом, при построении декодера MPEG-4 разработчик должен выбрать комбинацию профилей и уровней и после этого обязан реализовать описываемый ими набор функций в полном объеме. Потребитель же, прочтя в паспорте устройства или программы эту комбинацию, сразу понимает, что умеет, а чего не умеет данный декодер. Реализации, построенные на основе одинаковой комбинации, должны быть полностью совместимы друг с другом. Естественно, в «предельном случае», выбрав комбинацию из всех старших профилей и уровней, мы получим полный набор функций MPEG-4. Список предлагаемых профилей можно найти в соответствующей литературе.

В целом можно сказать, что разработчики MPEG-4 собрали и обобщили многое из того, что было наработано за десять лет в ранее мало пересекавшихся областях и технологиях (QuickTime и VRML, 3D-графика и интерактивная «персонажная» анимация по типу Macromedia Flash, разработка видеоигр, телевидение, потоковые видео и звук), и сумели объединить все это в новое качество.

Поэтому, несмотря на кажущуюся (особенно для вещателей!) сложность MPEG-4, имеет смысл подробно разобраться с этим стандартом – он с очень

большой вероятностью определяет развитие компьютерных, вещательных и даже мобильных систем в ближайшие годы. Подчеркнем еще раз – разбираться придется не только программистам, для которых открылась новая интересная ниша (реализация сложной и многосторонней функциональности MPEG-4 для самых разных клиентских и серверных платформ), но и гуманитарно-творческим людям, авторам и продюсерам вещательных программ. Вслед за интерактивным контентом на дисках и в Сети интерактивными становятся телепрограммы – и навыки программирования и алгоритмического мышления очень пригодятся разработчикам этих новых программ. Давний термин «TV programming» – телевизионное программирование, означавший искусство составления сетки вещания, приобретет новое, теперь вполне компьютерное звучание. С появлением MPEG-4 наконец-то обрело более реальные и понятные очертания ITV – интерактивное телевидение, о котором спорят уже много лет и под которым каждый понимает что-то свое – от детективов с многовариантным развитием сюжета до простого видео-по-запросу и даже до «ITV по-русски» – возможности взять в руки телефон и позвонить в студию.

MPEG-4 появился вовремя: пока еще фактически никто (кроме Apple) не предложил своего готового и работоспособного варианта единой архитектуры доставки мультимедиа, и потому открывается реальная возможность избежать сценария типа «вавилонской башни» в создающейся единой многомиллиардной индустрии.

Давно известный тезис о том, что совершенству нет предела, в ходе развития цифрового телевидения подтверждался неоднократно. Однако мы должны отдавать себе отчет и в том, что методы и устройства цифровой компрессии, доступные для нас сегодня, – это, скорее всего, только самые простые решения, а наилучшим устройством цифровой компрессии, которое было создано природой (или богом) несколько тысячелетий назад, по-прежнему остается человеческий мозг.

Нормальное цветное изображение на сетчатке глаза представляет собой информационный поток со скоростью 140 Мбит/с. Но электрохимический компьютер, расположенный у нас в голове, не может работать с большими скоростями. Его тактовая частота (альфа-ритм) равна всего 10 Гц. При большем объеме информации человек теряет способность даже к самому простейшему восприятию (и, как правило, к осмысленным действиям), поэтому по зрительному нерву от глаза к мозгу информация передается со скоростью лишь 50...70 бит/с. Следовательно, в системе «глаз – мозг» сигнал сжимается в миллионы раз по неизвестным нам пока алгоритмам. Мы же, изобретая стандарты компрессии, радуемся возможности уплотнить сигнал всего в несколько десятков раз и при этом умножаем сущности, описывающие изображение. Кто и когда реализует подобный природному алгоритм сжатия, оперирующий с минимальным количеством сущностей?

## 21.5. Стандарт MPEG-7\*

Переход из второго в третье тысячелетие был ознаменован появлением новых способов создания, показа, фильтрации, поиска и управления цифровой мультимедийной информацией. Появилась полоса пропускания с улучшенным качеством аудио- и видеоинформации и увеличенной скоростью доступа. Тенденция очевидна: в последующие несколько лет пользователи столкнутся с огромным количеством контентов из множественных источников. И сегодня трудно даже представить себе, как можно организовать эффективный и точный доступ к столь огромному (почти бесконечному!) объему информации. Не смотря на то, что для пользователей эти источники становятся все более доступными, из-за их объема существенно усложняется эффективная идентификация и управление. Это относится как к профессионалам, так и к конечным пользователям. Вопрос идентификации и управления контентом ограничивается не только приложениями, главная задача которых – извлечение информации из баз данных (например, из цифровых библиотек), но распространяется и на такие области, как выбор каналов телевидения, мультимедиа-редактирование и мультимедиа-каталоги.

В тот момент, когда вы решили, что уже кое-что знаете о различных стандартах JPEG, Wavelet, MPEG-1, MPEG-2 и MPEG-4, экспертная группа по вопросам движущегося изображения (MPEG) интенсивно работала над новым стандартом MPEG-7.

Обычно аудиовизуальная информация предназначена для непосредственного восприятия человеком. Однако увеличивается число и таких ситуаций, когда эта информация создается, передается, извлекается и повторно используется вычислительными системами: при распознавании изображений (видеонаблюдение, интеллектуальное зрение, скоростные видеокамеры и т. д.), преобразовании (речи в текст, изображения в речь, речи в изображение и т. д.), извлечении информации (быстрый и эффективный поиск различного типа мультимедийных документов, представляющих интерес для пользователя) и фильтрации потока описаний информации (для отбора только тех мультимедийных данных, которые отвечают предпочтениям пользователя). Например, коды телевизионных программ включают на запись соответствующим образом запрограммированный PVR (Personal Video recorder – персональный видеомаягнитофон), а видеодатчик включает сигнал тревоги при наличии конкретного визуального события. Также может быть выполнено автоматическое перекодирование строки символов в звуковую информацию или осуществлен поиск в потоке аудио- или видеоданных.

---

\* Заметим, что MPEG-7, в отличие от ранее рассмотренных, не является стандартом сжатия. Он вообще не вносит никаких изменений в формат сжатия и хранения видео, ограничивая свою деятельность описанием содержимого файла.

Во всех этих примерах аудиовизуальная информация была соответствующим образом «закодирована», что позволило устройству или компьютерной программе предпринять некие действия.

Аудиовизуальные источники будут все чаще фигурировать в нашей жизни. А это значит, что будет возрастать и потребность в их дальнейшей обработке. Поэтому необходимо разработать такие формы представления данных, которые намного превосходили бы рамки представлений на основе выборок, компрессий (MPEG-1 и MPEG-2) и на основе объектов (MPEG-4) и хотя бы в небольшой степени допускали интерпретацию смыслового значения информации. Такие форматы можно передавать (или открывать к ним доступ) на устройства или в компьютерные программы. В вышеприведенных примерах формирователь сигнала изображения может давать видеоданные не в форме РСМ-выборок (значений пикселей), а в форме объектов с ассоциированными физическими измерениями и временной информацией.

Эта информация может быть сохранена и проверена на соответствие конкретным запрограммированным условиям. PVR может получить описание программы, которое включит его на запись. В результате PVR сможет, например, записывать все новости. А, скажем, продукция компаний может быть описана таким образом, что машина будет самостоятельно отвечать на неструктурированные запросы пользователей.

MPEG-7 – стандарт описания мультимедийных данных, поддерживающий функциональные требования, рассмотренные выше. Однако MPEG-7 не стандартизует и не оценивает приложения. При разработке этого формата приложения использовались лишь для уточнения требований и оценки технологии. В итоге MPEG-7 не нацелен на какие-либо конкретные приложения. Скорее, наоборот – элементы, стандартизованные MPEG-7, поддерживают настолько широкий спектр приложений, насколько это возможно.

В октябре 1996 экспертная группа MPEG начала работу над новой темой, которая должна была решить перечисленные выше задачи. Новый член семейства MPEG под названием «Multimedia Content Description Interface» (интерфейс описания мультимедиа-контента, сокращенно MPEG-7) устанавливает стандарт ключевой технологии, предназначенной для описания смыслового содержания (контента) аудиовизуальных данных в мультимедийной среде, и предлагает усовершенствованный комплекс средств их описания. Этот стандарт превышает ограниченные возможности существующих на сегодняшний день частных решений задачи идентификации контента, в основном за счет добавления большего количества типов данных.

Контент аудиовизуальных данных с ассоциированными данными в стандарте MPEG-7 может состоять из неподвижных изображений, графики, 3D-моделей, аудио, видео, речи и композитной информации о том, как эти элементы скомбинированы в мультимедийной презентации (сценарии).

Инструменты описания (Description Tools), используемые в MPEG-7, не зависят от способа хранения или кодирования описываемого контента. В формате MPEG-7 можно создать описание оцифрованного изображения, аналогового кинофильма или изображения, отпечатанного на бумаге.

MPEG-7, как и другие члены семейства MPEG, является стандартом представления аудиовизуальной информации, удовлетворяющим конкретным требованиям. Стандарт MPEG-7 базируется на других (стандартных) представлениях – аналоговом, РСМ, MPEG-1, -2 и -4.

Одна из функциональных возможностей стандарта MPEG-7 заключается в обеспечении ссылок на части других стандартов. Например, дескриптор формы, используемый в MPEG-4, может оказаться полезным и в контексте MPEG-7. То же может быть справедливо и в отношении полей вектора движения, используемых в MPEG-1 и MPEG-2.

MPEG-7 допускает различные степени детализации описания, делая возможными разные уровни дифференциации. Хотя описание в MPEG-7 не зависит от (закодированного) представления материала, новый стандарт может воспользоваться преимуществами контента в представлении MPEG-4, обеспечивающего средства кодирования аудиовизуального материала в виде объектов, связанных определенными временными (синхронизация) и пространственными отношениями (на экране – в случае видео, в комнате – в случае аудио). Если материал закодирован на основе MPEG-4, то возможно связать описания с элементами (объектами) сцены, такими как аудио- и визуальные объекты.

Так как описательные характеристики в контексте приложения должны быть значимы, то они будут различны в разных пользовательских сферах и приложениях. Отсюда следует, что один и тот же материал может быть описан с использованием различных типов характеристик, настроенных на область приложения.

Примеры применения различных характеристик в области визуального материала: более низкий уровень абстракции применим для описания формы, размера, текстуры, цвета, движения (траектории) и позиции (где на сцене может быть найден объект?). Примеры характеристик в области аудиоматериала: тональность, темп, изменение темпа, позиция в звуковом пространстве... Высший уровень описания материала дает семантическую информацию: «в этой сцене: слева – коричневая собака, собака лает, справа – падает голубой шар, фоновый звук проезжающих машин». Могут быть и промежуточные уровни абстракции.

Уровень абстракции связан со способом извлечения характеристик: многие низкоуровневые характеристики могут извлекаться автоматически, в то время как высокоуровневые характеристики требуют значительного вмешательства человека.

После описания самого содержания необходимо добавить и другие типы информации о мультимедийных данных. В их числе:



- Форма – примером формы является используемый формат кодирования (JPEG, MPEG-2) или общий объем данных. Эта информация помогает установить, возможно ли «чтение» материала с терминала пользователя.

- Условия доступа к материалу – ссылки на информацию о правах на интеллектуальную собственность и его цена.

- Классификация – содержит рейтинг источника и классификацию контента по ряду predetermined categories.

- Ссылки на другие связанные материалы – помогут пользователю быстрее найти необходимую информацию.

- Контекст – в случае документального контента очень важно знать обстоятельства записи (например, Олимпийские игры в Рио-2016, финал, мужчины, бег с препятствиями на 200 м).

Во многих случаях в описании желательно использовать текстовую информацию. Однако функциональность описания не должна зависеть от языка, насколько это возможно. Пример, когда текст явно уместен – это имена авторов, заголовки, географические названия и т. п.

Инструменты описания (Description Tools) стандарта MPEG-7 позволяют создавать описания (то есть наборы конкретных схем описаний – Description Schemes – и соответствующих дескрипторов по желанию пользователя), которые могут содержать:

- информацию о процессе создания и производства контента (режиссер, название, короткий киоролик);

- информацию, касающуюся использования контента (авторские права, история использования, график широковещательных передач);

- информацию о формате контента (формат хранения, кодировка);

- структурную информацию о пространственных, временных или пространственно-временных компонентах контента (сцены, сегментация в областях, отслеживание движения в областях);

- информацию о низкоуровневых характеристиках контента (цвета, текстуры, тембр звука, описание мелодии);

- концептуальную информацию о реальности, зафиксированной контентом (объекты и события, взаимодействия между объектами);

- информацию об эффективном просмотре контента (резюме, варианты, пространственные и частотные поддиапазоны ...);

- информацию о коллекциях объектов;

- информацию о взаимодействиях пользователя с контентом (пользовательские предпочтения, история использования).

Все эти описания, конечно же, закодированы таким образом, чтобы обеспечивать эффективный поиск информации, ее фильтрацию и т. д.

Описания, составленные при помощи инструментов описания стандарта MPEG-7, ассоциированы непосредственно с контентом. Это позволяет осуще-

ствить быстрый поиск или фильтрацию материала, представляющего интерес для пользователя.

Данные в MPEG-7 могут располагаться вместе с аудиовизуальным материалом физически, в одном потоке данных или в одной системе хранения, но описания могут храниться и отдельно, находясь в любой точке планеты. Если контент и его описание хранятся отдельно, то необходимы механизмы, которые связывали бы мультимедийный материал и его описание в стандарте MPEG-7, при этом эти механизмы должны работать в обоих направлениях.

MPEG-7 адресован многим приложениям, работающим в самых различных средах. Это значит, что он должен обеспечивать комплекс гибких и расширяемых средств для описания аудиовизуальных данных. Поэтому MPEG-7 – это не монолитная система для описания контента, а, скорее, набор методов и инструментов для описания различных аспектов аудиовизуального контента.

MPEG-7 проектировался с учетом всех аспектов, рассматриваемых лидирующими стандартами (такими, как TV Anytime, Dublin Core, SMPTE Metadata Dictionary и EBUP/Meta). Эта деятельность по стандартизации сфокусирована на специфических приложениях и областях, в то время как MPEG-7 разрабатывался как универсальный стандарт, насколько это возможно. Для текстового представления описания контента MPEG-7 использует XML, так как именно XML Schema является основой DDL (Description Definition Language, язык определения описаний), который используется для синтаксического определения инструментов описания в MPEG-7 и для обеспечения их расширяемости (либо новых для MPEG-7, либо специфических для приложения). Учитывая популярность XML, его использование будет способствовать взаимодействию с другими стандартами метаданных в будущем.

## 21.6. Стандарт MPEG-21

Разработка стандарта MPEG-21 – это долговременный проект, который называется «Система мультимедийных средств» (Multimedia Framework). Над разработкой этого формата стандарта эксперты начали работать в июне 2000 г.

Основным назначением MPEG-21 является определение технологий, которые обеспечивают различным группам пользователей возможность формировать и реализовывать свои права по отношению к цифровому продукту: получать доступ, обменивать, продавать, а также выполнять другие манипуляции с ним.

Для определения содержания цифрового продукта в MPEG-21 применяются две дополнительные спецификации:

- определение цифрового продукта – DID (Digital Item Declaration);
- идентификация цифрового продукта – DII (Digital Item Identification).

В спецификации DID определяется совокупность универсальных средств, обеспечивающих построение адекватного функционального определения цифрового продукта, например, его схемы или модели.

Комплекс средств ДИ применяется для определения способов идентификации продукта в части связанных с ним прав собственности. Применение этих средств целесообразно, например, в том случае, когда цифровой продукт состоит из нескольких компонентов, с каждым из которых связаны независимые права интеллектуальной собственности. В дальнейшем компоненты ДИ и DID будут использоваться при построении инструментов реализации и защиты прав собственности, связанных с данным цифровым продуктом.

Совокупность прав по отношению к продукту определяет допустимые формы и способы употребления этого продукта конкретным пользователем. Сами по себе права также являются продуктом, что дает возможность управлять процессом делегирования прав на коммерческой основе. Именно поэтому значительная часть документов MPEG-21 посвящена определению комплекта инструментов для управления и защиты интеллектуальных и иных прав собственности, связанных с цифровым продуктом.

Для этих целей в спецификации MPEG-21 предлагается использовать:

- стандартные инструменты обслуживания и защиты прав интеллектуальной собственности – IPMP (Intellectual Property Management and Protection);
- язык выражения прав собственности – REL (Rights Expression Language) и соответствующий ему словарь – RDD (Rights Data Dictionary).

Таким образом, спецификации MPEG-7 и MPEG-21 в сочетании с MPEG-4 образуют единый блок документов, определяющих общие принципы создания, распространения и использования мультимедийных объектов. Тесная взаимная связь предлагаемых в этих документах технических решений позволяет реализовать на их основе эффективную и надежную инфраструктуру, которая способна обеспечить качественное и управляемое распространение разнообразных мультимедийных объектов по сетям передачи данных.

Несмотря на то, что работа над стандартом начата в 2000 году, он все еще находится в стадии разработки.

## **21.7. Стандарт MHEG**

Стандарт обозначается похожей на MPEG аббревиатурой MHEG. Он также имеет некоторое отношение к рассматриваемой нами теме, но, подчеркиваем, лишь некоторое, поскольку его применение планируется для передачи мультимедийной информации по различным коммуникационным сетям. MHEG разрабатывается другой группой специалистов, принадлежащей, впрочем, к все той же международной организации по стандартизации ISO.

Его планируется применять для передачи мультимедийной информации по различным коммуникационным сетям: стандарт определяет правила обмена

мультимедийной информацией (видео, звук, текст и любые другие данные) между произвольными мультимедийными приложениями.

Стандартом MHEG также определяются нормы передачи информации любыми способами – через локальные сети, сети телекоммуникаций или вещания – с использованием так называемой объективной классификации (MHEG Object Classes). При этом сами объекты могут включать в себя любую систему кодирования (в частности, MPEG), которая определяется конкретным базовым приложением. Стандартные MHEG-объекты должны создаваться мультимедийными приложениями с использованием специализированного языка – Multimedia Scripting Language.

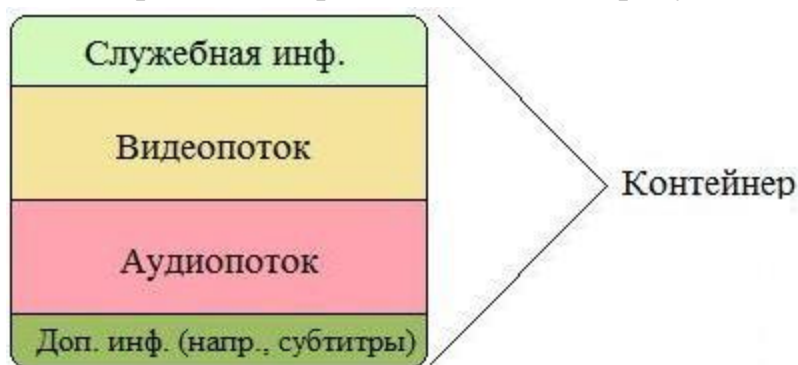
Стандарт MHEG уже признан советом по цифровому видео и звуку (DAVIC, Digital Audio-Visual Council). Разработчики утверждают, что MHEG – это будущий международный стандарт для интерактивного телевидения, так как он работает на любых платформах, а документация по нему распространяется совершенно свободно.

## ГЛАВА 22. МЕДИАКОНТЕЙНЕРЫ И ВИДЕОКОДЕКИ

Кодеки, контейнеры, форматы... Масса путающихся терминов и обозначений, куча параметров, в которых приходится разбираться и конечным пользователям, не понимающим, почему у них не проигрывается видео из Интернета или с диска, и контент-провайдерам, определяющим, как подготовить файлы так, чтобы их получили и смогли посмотреть максимальное количество пользователей. Неужели нельзя, наконец, выбрать какой-то один вариант, устраивающий всех, и больше не мучиться никогда? Давайте попробуем разобраться.

Любой видеофайл имеет как минимум две характеристики, определяющие работу с ним. Это **тип медиаконтейнера** и **кодек (кодеки)**, которыми закодировано его содержимое.

Вы наверняка замечали при просмотре фильма, что у вас есть возможность просматривать субтитры, многие проигрыватели предоставляют возможность просмотра служебной информации, как то: где был записан фильм, год выпуска фильма и т. д. Все это тоже записывается в контейнер. Для наглядности структуру контейнера можно представить, как на рисунке ниже.



Тип медиаконтейнера определяет формат записи различных данных (видеоданные, аудиоданные, субтитры, служебная информация и т. д.) в файл. Зная тип контейнера программа (например, видеоплеер) может корректно извлекать из него данные, синхронизировать аудио- и видеоданные и т. д.

Кодеки (аудио и видео) это алгоритмы, при помощи которых закодированы данные, помещенные в медиаконтейнер. Знание кодека позволяет программе из закодированного потока данных получить аудио- и видеoinформацию, содержащуюся в медиаконтейнере.

А чтобы все неспециалисты совершенно запутались, одни и те же названия часто используются для кодеков, контейнеров и форматов. Поэтому, о чем идет речь в данный момент – о формате или контейнере MPEG-2, и если о контейнере, то о каком из двух, или, может, собеседник подразумевает кодек H.264, применяемый для видео в этом формате, придется догадываться по контексту разговора. А, например, формат MPEG-4 включает описание двух разных видеокодеков – MPEG-4 Part 2 и MPEG-4 Part 10 (он же MPEG-4 AVC, он же H.264). При этом они оба широко применяются. MPEG-4 Part 2 – используется в контейнерах DivX (DivX Media Format) и QuickTime; MPEG-4 Part 10, AVC/H.264 – используется при записи HD DVD и Blu-ray-дисков, и в QuickTime, Flash и др., в том числе и в вещательном ТВ.

## 22.1. Медиаконтейнеры

Контейнеры, в зависимости от задач, бывают двух типов – потоковые и файловые.

В файловом контейнере вся описательная информация о видео-, аудио- и прочих данных хранится в одном месте (начало или конец файла). Плюс – минимальная избыточность, минус – если описательная информация потеряна, повреждена или еще не получена, то воспроизведение или любая другая обработка файла будет невозможна или крайне затруднена. Если информация о файле хранится в начале, то его можно начать проигрывать или обрабатывать с начала, не дожидаясь полной загрузки файла.

В потоковом контейнере описательная информация постоянно присутствует в потоке данных с определенной периодичностью. Плюс – воспроизведение или обработка данных возможна практически с любого момента, минус – избыточность описательной информации.

Потоковые контейнеры используются, например, при организации цифрового эфирного телевизионного вещания. Для нас естественно, когда телевизор начинает показывать видео почти сразу, а не ждет, когда начнется новая передача или полностью загрузится текущая. Ну, может, видео чуть притормозит, пока телевизор будет ждать получения очередного I-кадра в потоке. Потоковые контейнеры важны и в профессиональной области, потому что позволяют начать обработку видео: например, транскодирование – с начала получения потока мультимедиа данных, и в результате задержка между, например, трансляцией футбольного матча и его реальным ходом на стадионе будет меньше.

Поток не обязательно должен быть бесконечным и вещаться один для всех. В Интернете это может быть и видео ограниченной длины, которое сервер проигрывает специально для вас. Но поскольку служебная информация присутствует в потоке повсюду, такое видео можно смотреть практически с любого места и проматывать вперед и назад. Считается, что если ролик длиннее 10 минут, его лучше вкладывать в потоковый контейнер. Интернет-вещатели все шире используют потоковые контейнеры, возможно, потому что при потоковом вещании на пользовательском устройстве не создается копии видео, а сохраняется только небольшой его кусочек – буфер, необходимый для равномерного проигрывания; да и на вещательном сервере нет, собственно, файла с видео, который мог бы быть скачан интернет-пиратами.

Типов контейнеров довольно много, поэтому рассмотрим наиболее распространенные.

**Контейнер AVI.** Компания Microsoft впервые выпустила пакет Video for Windows для операционной системы Windows 3.1 в ноябре 1992 года, и с тех пор формат AVI (Audio Video Interleave) является основным для хранения видео в операционных системах семейства Windows.

Основное преимущество универсального формата AVI и секрет его долготлетия, в отличие от потоковых форматов типа MPEG, а тем более от таких специализированных разновидностей, как MP3 (MPEG Audio Layer 3), в том, что «стандартных» AVI-файлов практически не существует: контейнер AVI содержит общее описание содержимого в стандартизованном виде.

Таким образом, AVI-файлы только внешне выглядят одинаково, но внутри они могут сильно различаться, и в то время как MPEG-, MP3- и MJPEG-файлы содержат потоки только определенного вида сжатия (компрессии), AVI может содержать много различных видов компрессии в любых сочетаниях. Однако работать с AVI-файлом можно будет только пока необходимый кодек доступен для кодирования/декодирования.

Серьезным недостатком AVI-формата является то, что аудио- и видеофрагменты не содержат никаких меток времени или индексов кадра. Данные упорядочиваются по времени последовательно, в порядке поступления. Приложение для захвата или проигрывания видео должно само позаботиться о синхронизации видео- и аудиопотоков. Но если деление видео на кадры совершенно естественно, то звук представляет собой непрерывный поток, который приходится искусственно расчленять на фрагменты, соответствующие кадрам. В связи с этим точная синхронизация изображения и звука часто отсутствует и звук может не совпадать с изображением. В простейшем случае каждому кадру видео соответствует фрагмент звукового сопровождения, но далеко не все AVI-файлы работают по этой простой схеме.

Недостаток временных меток был устранен в расширении AVI-формата – OpenDML AVI, поддержанный затем в DirectShow и в Active-Movie, которое добавляет новые фрагменты по меткам времени. Контейнер уже давно устарел, но тем не менее подавляющая часть медиаконтента в сети до сих пор распространяется именно в нем.

Недостатки контейнера AVI:

- Для каждой цепочки AVI-файла теряется 24 байта на заголовки и индекс. Это приводит к потерям чуть более 5 МБ/час.
- Может быть сохранено только содержимое с фиксированной частотой кадров, то есть невозможно поместить в контейнер AVI смешанный материал, например, смесь NTSC видео и киноматериала.
- Звук в AVI-файлах должен быть или с постоянным потоком данных (CBR) или с постоянным размером кадра, таким образом, все кадры декодируются в одно и то же число выборов.
- AVI не способен отличить Р-кадр от В-кадра. DivX / Xvid решают эту проблему в обход спецификации, что тоже может спровоцировать некорректную работу декодера.
- Контейнер AVI создавался для работы через интерфейс VfW (Video for Windows). Поскольку VfW является сильно устаревшим и негибким, современные программы используют DS (DirectShow), а с VfW возникают проблемы в виде расхождения звука и видеодорожек. Поэтому не следует использовать для работы с AVI-файлами программы, работающие не через VfW.
- Отсутствует поддержка современных кодеков.

**Контейнер Windows Media.** Понимая, что время AVI безнадежно прошло, компания Microsoft предлагает новый контейнер WMV (Windows Media Video). Ныне этот формат распространен не слишком сильно (впрочем, на фоне размаха AVI любая новинка будет казаться младенцем), но все же имеет свою аудиторию, которая, благодаря влиянию Microsoft в компьютерной отрасли, постепенно растет.

**Контейнер ASF.** Данный контейнер разработан компанией Microsoft как формат файлов, содержащих потоковое аудио и видео. ASF является частью контейнера Windows Media.

ASF может содержать данные, закодированные при помощи различных кодеков, кроме того он поддерживает синхронизацию потоков. Данный контейнер пригоден как для локального воспроизведения, так и для передачи и воспроизведения по компьютерным сетям, включая Интернет.

ASF является контейнером мультимедиа и не содержит указаний на то, каким образом данные должны быть закодированы, а только определяет структуру потока данных. В этом отношении ASF заменяет формат мультимедиа-контейнеров AVI.

Обычно используемое расширение файла – .asf, кроме того, файлы, содержащие преимущественно аудиоинформацию, могут иметь расширение .wma, а видеофайлы – .wmv. Расширение .asf обычно используется для файлов, содержащих данные, закодированные кодеками сторонних (не Microsoft) разработчиков.

Особенностью контейнера ASF является возможность воспроизведения непосредственно в момент загрузки данных по сети, то есть потокового воспроизведения.

Следует отметить, что для использования данного формата необходимо лицензирование компании Microsoft.

**Контейнер Ogg.** Серьезный конкурент AVI – это контейнер Ogg или OGM (Ogg Media Format). В рамках этого проекта разработан формат файла-контейнера и ряд форматов сжатия звука: Vorbis, FLAC и другие. Изначально этот контейнер планировалось использовать только для звуковой информации, но оказалось, что в него можно внедрить и видеоданные. Для воспроизведения таких видеозаписей для контейнера Ogg был разработан DirectShow splitter. С этого и началось его повсеместное распространение. Чтобы отличать видеофайлы от звуковых, видеофайлы начали называть OGM, хотя формально они используют тот же контейнер Ogg, что и звуковые файлы. Этот контейнер поддерживает субтитры, VBR звук и, конечно, звуковую дорожку в формате Ogg Vorbis.

Возможность интегрировать субтитры внутрь файла с видеозаписью была впервые реализована именно в программах для работы с контейнером OGM, что послужило причиной широкого распространения этого контейнера для видеозаписей. Сегодня множество записей, иногда даже с mp3 звуковой дорожкой, «упаковываются» в OGM. Однако контейнер Ogg изначально разрабатывался как контейнер для потокового вещания через интернет streaming, поэтому он не вполне подходит для хранения записей, например, иногда не работает перемотка записи назад.

**Контейнер MKV.** Когда-то, на заре развития современных, «дружественных пользователю», операционных систем, а именно – в начале 90-х годов 20-го века, была очень популярна операционная Windows 3.1. Тогда же Microsoft и создала популярный сегодня контейнер AVI. И все было бы хорошо, но только вот AVI – продукт чисто коммерческий, с закрытым исходным кодом. К тому же, в нем было относительно мало возможностей для того, чтобы разместить дополнительную информацию для фильмов.

Нашими соотечественниками был создан новый формат контейнера для аудио- и видеоданных, который, как они сами говорят, «создан с прицелом на будущее». Это открытый проект\*, официальный сайт которого [www.matros-](http://www.matros-)

---

\* Программа считается «закрытой», если исходный код этой программы не выложен для широкого круга пользователей (например, на сайте разработчика). Соответственно, открытый код доступен (при этом он зачастую снабжен некоторыми комментариями, чтобы можно было быстрее разобраться, как программа работает). Как правило, программы с открытым кодом бесплатны. Основным преимуществом считается возможность подгонки программы «под себя» и исправление ошибок, сделанных разработчиками, основной недостаток – теоретически любой человек может разместить в них вредоносный код, который будет тяжело найти.



ka.org. Они назвали этот контейнер «Матрёшка», а само сокращение формата – mkv – произошло от транслитерации этого слова (Matroska – mk + v, v, как вы догадались, video). Само название отображает структуру контейнера – она действительно очень похожа на матрёшечную структуру.

На сегодняшний день формат mkv не так распространён, как AVI, но постепенно набирает популярность. Возможно, через какое-то время он вытеснит AVI, поскольку в нём изначально заложено больше возможностей.

Что же в нём такого особенного, в этом свободно распространяемом контейнере? Прежде всего, у него гораздо больше возможностей – он может содержать в себе аудиодорожки на разных языках, чего не допускает AVI, также он может хранить в себе информацию о главах видео, меню и т.д. – в общем, всех функций DVD. Помимо этого из файла в формате mkv очень легко «вытащить» аудио- и видеоданные, для этого не нужны специальные редакторы. Самое главное – он реализован более совершенно, нежели AVI – при воспроизведении больших файлов отсутствуют «притормаживания» и «подвисания», особенно заметные на не очень быстрых компьютерах.

Давайте отметим основные отличия от AVI:

- универсальность: mkv внутри себя может содержать видеоданные, сжатые множеством кодеков: MPRG, H264, AVC1, WMV и др.;
- легкая редактируемость;
- простота извлечения аудио- и видеоданных;
- отсутствие зависаний при воспроизведении файлов большого объема;
- расширенные возможности по хранению служебной информации;
- аудиодорожки могут быть на различных языках;
- переключение языков субтитров «на лету» (то есть без остановки и запуска воспроизведения файла с начала);
- быстрая перемотка;
- трансляция через Интернет (по протоколам HTTP, RTP);
- устойчивость к ошибкам (по заверению производителя).

Пожалуй, главным минусом этого формата является относительно малая распространённость, а также отсутствие встроенной поддержки со стороны ОС семейства Windows – приходится ставить дополнительные программы для его воспроизведения.

**Контейнер WebM.** WebM, представленный в 2010 году компанией Google, содержит в себе видеопоток, компрессированный с помощью кодеков VP, аудиопоток, сжатый кодеком Vorbis или Opus, и в нём также могут присутствовать субтитры типа WebVTT. По сути, структура файла WebM повторяет медиаконтейнер Matroska, только в очень урезанном виде относительно многообразия используемых в MKV форматов и кодеков. Можно сказать, что это своего рода MP4, но от Google.

Известно, что ключевым фактором успеха Интернета является то, что его основные технологии, такие как HTML, HTTP и TCP/IP являются открытыми и свободно используемыми. Хотя видео теперь является сутью использования

всемирной паутины, но, к сожалению, до определённого времени не существовало открытого и свободного формата видео, выдерживающего конкуренцию с коммерческими вариантами. С этой целью и был начат проект WebM – попытка разработать открытый формат медиа для сети Интернет. С точки зрения максимальной эффективности при использовании в сети после тестирования сотен тысяч видео с самыми разными характеристиками было обнаружено, что кодеки VP обеспечивают высокое качество видео одновременно с возможностью эффективно адаптироваться к различной ширине полосы пропускания канала в широком спектре устройств. Другими словами, формат WebM как нельзя лучше пригоден для онлайн-трансляций и потокового ТВ. Кроме того, относительная простота кодеков VP позволяет легко интегрировать их в существующую среду, а для достижения высококачественного результата не требуется сложной настройки кодировщика.

Неудобством контейнера WebM заключается в том, что он работает только с видеокodeками VP и аудиокodeками Vorbis/Opus. К сожалению, это единственно допустимые кодеки. Почему же он так ограничен? Опять-таки, это ограничение определялось исключительно желанием максимизировать удобство конечного пользователя. Ведь обычно мы хотим просто смотреть видео, не беспокоясь о поддерживаемых кодеках, форматах файлов и т. д. Таким образом, если внедрить поддержку этих кодеков во все браузеры и программные проигрыватели, то пользовательская путаница наконец исчезнет. Если у пользователя есть файл .webm, он может быть уверен, что любой браузер или медиаплеер с поддержкой WebM воспроизведёт его. Причём, как уже говорилось, без всяких отчислений разработчику.

Экономически работа любого сайта будет намного эффективнее, а нам не придётся иметь дело с навязчивой и долгоиграющей рекламой. С этой точки зрения нам не стоит озадачиваться тем, а где же увидеть видео в формате WebM. Это скорее важно для издателей и распространителей видео. Интернет-пользователь должен лишь наслаждаться качественным контентом, не задумываясь о том, видео какого формата он смотрит.

**Контейнер VOB** – на самом деле официальное название этого контейнера MPEG 2 Program Stream – то есть фактически это содержимое DVD. Поддерживает только два видеокodeка, MPEG1 и MPEG2, в остальном – эталон эпохи «до HDTV». В контейнере есть поддержка субтитров, глав (если брать диск целиком как единый контейнер) и различных звуковых форматов, включая весьма прогрессивные. MPEG 2 Transport stream также встречается в виде файлов с расширением .m2ts и .mts. Он популярен благодаря спутниковому цифровому вещанию, способен использовать, несмотря на название, современные кодеки и FullHD разрешения.

**Контейнер Bink.** Контейнер разработан американской компанией RAD Game Tools для использования преимущественно в компьютерных играх для разных игровых платформ. Bink используется во многих играх под персональ-

ные компьютеры и игровые консоли Xbox, Xbox 360, GameCube, Nintendo DS, Wii, PlayStation 2, PlayStation Portable и Playstation 3.

В отличие от множества других медиаконтейнеров, Bink является так называемым Single coding format – он определяет не только «обёртку файла», но и аудио- и видеокодеки, с помощью которых будут закодированы данные.

Собственный видеокодек способен использовать 16 различных алгоритмов кодирования, что позволяет закодировать любой тип видео. Bink поддерживает вейвлет-сжатие и дискретное косинусное преобразование. Bink поддерживает разрешение от 320×240 пикселей и вплоть до HD. Видеокодек поддерживает битрейт от 75 кбит/сек для видео под Nintendo DS и до 1200 кбит/сек для видео стандарта HD. Аудиокодек «Bink» поддерживает сжатие аудиоданных вплоть до коэффициента 15:1, используя переменный битрейт с психоакустической моделью. Аудиокодек также может проигрывать несколько аудиопотоков одновременно, что позволяет проигрывать 5.1- и 7.1-канальные звуковые дорожки.

Bink поставляется в комплекте с набором программных инструментов RAD Video Tools вместе с другим подобным файловым форматом от RAD Game Tools – Smacker. В Bink сделан акцент на низкие аппаратные системные требования при декодировании, что позволяет использовать его в разных консолях без дополнительных оптимизаций.

**Контейнер 3GP** (файловый формат 3GPP). 3GP – мультимедийный контейнер, определяемый Партнёрским проектом третьего поколения (Third Generation Partnership Project (3GPP) для мультимедийных служб 3G UMTS. Многие современные мобильные телефоны (не обязательно 3G) имеют функции записи и просмотра аудио и видео в формате 3GP.

3GP является частным случаем MP4 Video. Этот стандарт вошел в обиход благодаря компании Philips, приложившей немало усилий для адаптации стандарта MPEG-4 для потокового вещания.

3GPP стал основным в камерах с возможностью записи видео. Изначально он являлся базовым в смартфонах SonyEricsson, для них было даже разработано специальное ПО для просмотра. Компанией PacketVideo был разработан PVPlayer, позволяющий проигрывать видео на полный экран. В настоящее время этот проигрыватель доступен практически для всех смартфонов на базе операционных систем Symbian, Windows Mobile, а также для КПК класса PocketPC.

К достоинствам формата можно отнести то, что при несовпадении размеров исходной картинки она автоматически преобразуется в размер, поддерживаемый телефоном. Однако качество видеороликов очень низкое, так как изначально этот формат предназначался для оперативной записи видеоматериала с помощью встроенной камеры, последующего просмотра и отправки в качестве вложения в MMS.

**Контейнер MP4.** MPEG-4 Part 14 или MP4, официально известный как ISO/IEC 14496-14:2003, – формат медиаконтейнера, являющийся частью стандарта MPEG-4. Используется для упаковки цифровых видео- и аудиопотоков, субтитров, афиш и метаданных, которые определены группой специалистов MPEG. Как и большинство современных медиаконтейнеров, MPEG-4 Part 14 предусматривает возможность показа видео через Интернет, дополнительно к файлу передаются метаданные, содержащие необходимую для вещания информацию. Контейнер позволяет упаковывать несколько видео- и аудиопотоков, а также субтитров.

Контейнер MPEG-4 Part 14 поддерживает следующие форматы данных:

- Видеопотоки: H.264/MPEG-4 Part 10, MPEG-4 Part 2, H.262/MPEG-2 Part 2, H.261/MPEG-1 Part 2.
- Аудиопотоки: MPEG-4 Part 3, MPEG-2 Part 7, MPEG-1 Audio Layer III, MPEG-1 Audio Layer II, MPEG-1 Audio Layer I.
- Субтитры: MPEG-4 Part 17.
- Статичные изображения: JPEG, PNG.

В настоящее время наибольшее применение получила связка из H.264/MPEG-4 Part 10 и Advanced Audio Coding, так как большинство плееров имеет аппаратные возможности декодирования этих потоков.

**Контейнер DivX Q.** DivX Networks, разработчик совместимого с MPEG-4 формата сжатия DivX, выпустили новую версию: DivX Q, которая включает в себя кодеки для сжатия звука и видео.

**Контейнер Flash Video.** Flash Video (FLV) – формат файлов, используемый для передачи видео через Интернет. Используется такими сервисами, как YouTube, Google Video, RuTube, Tube.UA, Moovie, Obivu и другими. Хотя описание формата контейнера было открыто, кодеки защищены патентами.

FLV-файл – это битовый поток, который является вариантом видеостандарта H.263. Flash Player 8 и более новые редакции поддерживают потоковое видео On2 TrueMotion VP6. On2 VP6 обеспечивает более качественное изображение, особенно при использовании низкого потока данных. С другой стороны, этот формат более сложен, что может создать трудности при просмотре на устаревших машинах.

Начиная с Flash Player 9 Update 3, поддерживается новый стандарт MPEG-4 AVC или H.264. Этот стандарт видеосжатия при том же низком битрейте выдаёт значительно более детализированное и четкое изображение, особенно в динамических сценах. Недостатками являются повышение требований к вычислительным ресурсам и платные патенты.

Звук в FLV как правило закодирован в MP3, однако иногда могут использоваться Nellymoser codec, несжатое аудио или ADPCM аудиоформат. В версии Flash Player 9 Update 3, в соответствии с внедрением стандарта MPEG-4 AVC, добавлена поддержка AAC аудио: профили AAC-LC, Main Profile и HE-AAC.

**Контейнер QuickTime.** QuickTime (расширения файлов – **.mov** или **.qt**) – достаточно прогрессивный контейнер, созданный фирмой Apple, поддерживает практически все популярные кодеки и внедрение субтитров, более того, в отличие от MKV куда более пригоден для редактирования видеоматериала, записанном в таком контейнере.

Каждый контейнер файлов способен включать несколько типов мультимедийных данных – видео, видеоэффекты, текст, изображения, субтитры и звук. Стоит отметить, что этот формат часто используется программами, в которых редактируются видеоролики. Кроме того, очень часто при редактировании музыки и видео используются именно файлы MOV и QuickTime. Плееры SONY PSP, а также плееры DVD способны проигрывать файлы MOV в случае, если установлены соответствующие приложения. При этом Международная организация по стандартизации утвердила файлы MOV в качестве основы для создания файлов MPEG-4 Part 14.

Нормальное функционирование контейнера возможно только при установленном на компьютере пакете Apple QuickTime, сторонние же разработки полной функциональности не обеспечивают.

Файлы .MOV можно легко редактировать, так как нет необходимости переписывать все медийные данные после редактирования. Треки сохраняются в иерархическую структуру данных, состоящую из объектов, называемых атомами. Атом может быть родительским для других атомов или он может содержать медиа или редактируемые данные, но он не может содержать и того, и другого.

**Контейнер RealMedia.** Впервые этот контейнер был представлен миру в 1997 году. До восьмой версии формата RealMedia видео внутри файла кодировалось кодером стандарта H.263. Начиная с восьмой версии, компанией Real Networks используется собственный, платный кодек для кодирования видео.

Файлы RealMedia оптимизированы для потокового воспроизведения в сети Интернет, поэтому аудио- и видеоинформация в них кодируется с постоянным битрейтом для гарантированного соответствия пропускной способности интернет-соединения. Для потокового воспроизведения файлов RealMedia используется протокол RTSP (Real Time Streaming Protocol). Однако этот стандартный протокол используется только для установления и управления соединением, аудио- и видеоданные передаются с использованием протокола компании Real Networks – RDTP (Real Data Transport Protocol).

Для поддержки аудио и видео с переменным битрейтом компания Real Networks разработала новый формат файлов, использующий расширение **.rmvb**». Эти файлы в основном предназначены для хранения и воспроизведения видео на локальных компьютерах. При воспроизведении файлов RM вы обнаружите, что некоторые сайты требуют установку RealPlayer для того, чтобы корректно воспроизводить содержимое некоторых страниц. Как правило, эти сайты представляют собой интернет-радио, которое транслирует передачи в реальном времени, используя RealPlayer. Эти ссылки содержат файлы с расшире-

ниями RAM, потоковые аудиофайлы, дающие возможность пользователям воспроизводить файлы в то время, как они загружаются.

## 22.2. Видеокодеки

Начинающие пользователи часто бывают озадачены, когда пытаются выяснить разницу между кодеками и контейнерами. Сейчас слово **Кодек** стало чем-то общеупотребительным, а изначально термин являлся сокращением от понятия **Компрессор-декомпрессор**. С академической точки зрения правильнее говорить о декодерах, но лучше оперировать понятием «кодек» – оно универсально и для оцифровки видео, и для его воспроизведения.

Какая же всё-таки разница между кодеком и контейнером? Вспомните ваш последний отпуск. Ваш чемодан, в данном случае, это «контейнер». Багаж – это контент (видео, аудио, субтитры и другая информация), а кодек – это способ, которым вы впихиваете всё (данные) в ваш чемодан, чтобы всё поместилось. Вы можете класть вещи в чемодан аккуратно сворачивая (один кодек), или прессовать их в рулоны и обматывать скотчем, чтобы побольше влезло (другой кодек). Это верно для любого мультимедиа контента. Например, формат Microsoft AVI (Audio Video Interleave) – это контейнер файлов, но видео в нём может кодироваться разными кодеками, от DivX до MPEG-4.

Видеокодеки можно разделить на два класса – кодеки, сжимающие данные с потерями (lossy) и без потерь (lossless). Сжатие без потерь означает, что обработанное кодеком видео будет иметь такое же качество, как и исходник. В качестве аналога сжатия без потерь можно привести популярные архиваторы ZIP и RAR – независимо от установленной степени компрессии, все запакованные в архив данные сохраняются в неизменном виде.

Хотя lossless-кодеки и позволяют сохранить исходное качество картинки, они довольно мало распространены, так как итоговое видео зачастую слишком много «весит». Удачным компромиссом в этом плане стали lossy-кодеки, после обработки которыми видео хотя и теряет в качестве, но имеет вполне приемлемый размер файла, подходящий для записи на оптические диски и для распространения через Интернет.

Видеокодеки, разрабатываемые большинством компаний, в основном являются фильтрами DirectShow, технологии сменившей Video for Windows. Видеокодеки могут быть с открытым исходным кодом (Xvid, Theora) и с закрытым исходным кодом. Могут кодировать видео с потерями (Xvid, DivX, WMV) и без потерь информации (huffyuv, lagarith). Кодеки могут создаваться на общественных началах и в коммерческих целях.

Вы должны понимать, что сами по себе кодеки не воспроизводят мультимедиа файлы. Они устанавливаются для того, чтобы помочь воспроизводить такие файлы программам-проигрывателям (например, встроенному в систему проигрывателю Windows Media Player).

В настоящее время существует большое число видеокодеков, разработанных различными организациями, и для того чтобы разобраться во всем их мно-

гообразии, понадобится немало времени. Для среднестатистического пользователя достаточно знать, какими кодеками кодируется большинство фильмов, и знать, где можно скачать эти кодеки. Пользователям, занимающимся обработкой и кодированием видео нужно знать преимущества и недостатки основных кодеков, особенности их реализации, принципы кодирования, используемые кодерами, и настройки кодеров.

Так как количество видеокodeков превышает все разумные пределы, рассмотрим только наиболее распространенные.

**Видеокodeк Windows Media Video.** WMV – это закрытый формат компрессии видео, разработанный корпорацией Microsoft. Впервые был представлен в 1999 году, и первая версия WMV7 представляла собой реализацию корпорацией Microsoft второй части стандарта Mpeg-4. В основном видео закодированное кодеками WMV хранится в контейнере от Microsoft – ASF. Такие файлы имеют расширение .wmv. Однако для хранения видео в формате WMV могут использоваться и другие контейнеры.

Кodeк WMV 9 в 2006 году стал стандартом SMPTE 421M. Больше этот стандартизированный видеокodeк известен под названием VC-1. Таким образом, WMV 9 стал открытым, но все еще платным кodeком. WMV 9 в виде VC-1 стал одним из трех обязательных кodeков (Mpeg-2, H.264, VC-1) для спецификаций дисков Blue-ray.

К особенностям WMV можно отнести:

- поддержку переменного битрейта видеопотока;
- поддержку неквадратных пикселей;
- поддержку чересстрочного видео;
- интерполяцию кадров (генерация дополнительных кадров на основе существующих для плавного воспроизведения).

Семейство видеокodeков WMV девятой версии включает в себя WMV 9 кodeк, WMV 9 Advanced Profile кodeк, WMV 9 Professional, WMV 9 Image и WMV 9 Screen кodeки. Это все разные кodeки, а не профили одного и того же кodeка, как может показаться из названий.

В силу подавляющей популярности серий ОС Windows кodeки от Microsoft поддерживают практически все видеоплееры для Windows. Корпорацией Microsoft разработано программное обеспечение, позволяющее создавать видео в формате WMV (Windows Media Encoder, Microsoft Windows Movie Maker, Microsoft Expression Encoder, Microsoft Producer). Широко поддерживаются кodeки WMV и аппаратно. Xbox, Zune, мобильные устройства с ОС Windows mobile – это неполный перечень устройств поддерживающих WMV кodeки.

По отзывам пользователей WMV 9 кodeк превосходит по качеству Mpeg-4 part 2 ASP кodeки (Xvid, Divx и т. д.) и сравним с H.264.

Из негативных аспектов данного кodeка можно отметить возможность использования в кодированных при помощи WMV видеофайлах ограничений на просмотр (так называемый DRM – digital rights management). Многим пользователям не нравится, что за просмотр некоторых файлов WMV приходится

платить. Вдобавок, масла в огонь подлил тот факт, что в одиннадцатой версии плеера Windows Media Player была отключена возможность восстанавливать лицензии, ранее полученные на просмотр WMV файлов.

**Видеокодек Xvid.** Данный программный продукт представляет собой своего рода видеоархиватор. Xvid является основным конкурентом кодека DivX. В противоположность кодеку DivX – платному программному обеспечению, разработанному компанией DivX Inc., Xvid – это свободная программа, распространяемая под лицензией GNU General Public License. Это также означает, что в отличие от кодека DivX, который выпущен только для платформ Microsoft Windows и Mac OS X, Xvid можно использовать на всех платформах и операционных системах, для которых можно скомпилировать исходный код кодека. Однако методы сжатия, используемые в MPEG-4, запатентованы, так что использование Xvid в некоторых странах может быть нелегальным.

Xvid является результатом разработки MPEG-4 кодека с открытыми исходными кодами: сначала в рамках проекта OpenDivX, а после того, как компания DivX Networks начала разработку закрытого кодека DivX, как самостоятельный проект.

В период бурного развития новые версии Xvid выходили едва ли не каждую неделю, как у подавляющего большинства проектов с открытыми исходными кодами. Часто они содержали существенные ошибки, которые приводили к появлению искажений в сжатом видео, или к некорректной работе программы для обработки видео. Эти версии тестировались сотнями энтузиастов, ошибки находили и исправляли. Примерно раз в полгода выпускалась так называемая стабильная версия, которая тестировалась на протяжении длительного времени и в которой не было обнаружено ошибок. Однако известны случаи, когда сжатое видео невозможно было корректно воспроизвести никаким декодером, в связи с этим у кодека Xvid укрепилась репутация кодека, работающего с ошибками и сбоями.

В тоже время, многие пользователи отмечают следующие достоинства кодека:

- поддержка большего количества операционных систем;
- возможность записи файлов на CD / DVD;
- высокая производительность;
- сжатие видео до минимального размера (вплоть до 200:1);
- высокие показатели четкости даже в динамичных эпизодах;
- возможность кодирования и декодирования с дополнительными расширенными настройками;
- наличие собственного конвертера для сжатия медиафайлов.

**Видеокодек DivX.** Первоначально аббревиатура DivX обозначала коммерческий вариант DVD-дисков, которые можно было смотреть только ограниченное время, например, 2 дня, а затем считать информацию с них не представлялось возможным. Такие диски были в несколько раз дешевле обычных DVD,



а значит, привлекательны с точки зрения тех зрителей, кто не любит смотреть фильм несколько раз. Однако данные диски не получили широкого распространения.

Сейчас же мы поговорим о другой технологии, которую принято обозначать DivX;-). К старому названию Divx авторы добавили смайлик (смайлик – комбинация, принятая в электронной почте для выражения эмоций). Используемый смайлик ;- ) означает намек. В итоге получилась аббревиатура DivX;-).

DivX;-) – новый формат сжатия видеофайлов, позволяющий поместить содержимое обычного диска DVD на одном или двух дисках CD-ROM. При этом создатели стремились к максимально возможному сохранению качества, прекрасно понимая, что полностью сохранить качество не удастся, а вот постараться его не слишком сильно ухудшить можно. При желании можно было бы уместить фильм на один компакт-диск с качеством, значительно лучшим, чем у Video CD. Так появилась компьютерная альтернатива для просмотра фильмов с качеством лучшим, чем VHS-кассета.

Авторами DivX;-) считаются француз Джером Рота (Gej) и немецкий хакер Макс Морис (MaxMorice). Они взломали код MS MPEG-4 Codec и немного улучшили его (по их заявлению), убрав замеченные ошибки. Также они сделали возможным вывод файлов после компрессии в формате .avi, в то время как оригинальный кодек MS MPEG-4 Codec поддерживает формат .asf. Таким образом, DivX;-) базируется на формате Mpeg-4, который, собственно говоря, не является форматом сжатия, а представляет собой новый мультимедиа-формат, рассчитанный на низкоскоростную передачу данных. Суть его заключается в том, чтобы подразделить материал на несколько типов элементов (медиа-объектов): неподвижные, видео-, аудиообъекты и т. д., формализовать их структуру и взаимосвязь и скомпоновать в единую, изменяемую пользователем сцену.

В формате DivX;-) существует возможность регулировки яркости, контрастности, насыщенности, оттенка и качества при воспроизведении. Под качеством понимается качество сглаживания артефактов компрессии. Чем больше значение этого параметра, тем больше ресурсов процессора требуется для отображения видео с заданной частотой кадров. Заметим, что артефакты компрессии появляются при любом способе кодирования.

Для просмотра фильмов, компрессированных по методу DivX, требуется WindowsMedia Player или любой другой проигрыватель. Обычно этот кодек имеется во всех бытовых DVD-плеерах для декомпрессии цифрового потока, поэтому с просмотром таких фильмов на телевизоре проблем также не возникает.

Если же вы хотите кодировать ваше видео в формате DivX, нужно установить программный кодер. И если декодер, нужный для просмотра видео, распространяется бесплатно, то кодер может быть платным.

Появившийся сравнительно недавно DivX 6 умеет намного больше, чем стабильная и распространенная версия 5.2.1. Кодек позволяет интегрировать несколько дорожек видео и аудио, добавлять субтитры и интерактивное меню. Однако для воспроизведения требуется последняя версия плеера DivX 6.0. На-

чиная с 7-й версии кодека, заявлено о соответствии его стандарту H.264 (MPEG-4 part 10, MPEG-4 AVC), а с 10-й версии – стандарту H.265 (HEVC).

**Видекодек Sorenson Video 3.** Задержка выпуска этого кодека вызвала в свое время много рекламного шума, он является предпочтительным кодеком Apple для Интернет-видео в формате QuickTime. Хотя кодек Sorenson Video версии 3 основан на новой технологии, он поддерживает многие из функций прежних версий. Реализованные в нем преимущества архитектуры SV3 ставят его в один ряд с лучшими современными кодеками. Профессиональная версия SV3 (\$499), несомненно, является самой полнофункциональной из доступных сегодня кодеков.

Воспроизведение в кодеке SV3 основано на алгоритме QuickTime, и любая версия QuickTime при необходимости автоматически обновляет декодер SV3. Стандартная версия кодека SV3 имеет хороший набор опций по умолчанию. SV3 хорошо подходит для работы с контентом на CD-ROM или с прогрессивной загрузкой. Однако профессиональным пользователям, особенно если они занимаются передачей потоков по протоколу RTSP, лучше приобрести профессиональную версию.

Стандартный SV3 предлагает пользователю задать обычные для QuickTime установки: скорость данных, частоту кадров и частоту ключевых кадров. В профессиональной версии для этих опций используются предустановленные значения, и пользователь не может их изменить. По сравнению с прежними версиями Sorenson, кодек SV3 сжимает гораздо быстрее, а функция сглаживания изображения включается по умолчанию. Стандартная версия SV3 – эффективное решение для CD-ROM-авторинга и создания Интернет-контента с прогрессивной загрузкой.

Профессиональная версия SV3 предлагает множество опций. Самая важная из них – В-кодирование изображения с использованием промежуточных интерполяционных кадров (Bi-directional prediction), которая позволяет при заданном качестве снизить скорость передачи данных на 15–25%. Кроме того, при ограниченной полосе пропускания сервер QTSS3 может динамически пропускать часть В-кадров. Эта функция не сводится к передаче только ключевых кадров: в этом режиме возможно двухкратное уменьшение частоты кадров. Один из недостатков В-кодирования изображения с использованием промежуточных интерполяционных кадров заключается в том, что видеопоток воспроизводится с запаздыванием на два кадра. В результате может возникать рассинхронизация звука и видео, возрастающая с уменьшением частоты кадров. Но эта опция автоматически становится неактивной, если в кодеке SV3 задать частоту кадров менее 10 кадр/с.

При включенной опции текущего масштабирования (Temporal Scalability) в случае перегрузки процессора при воспроизведении клипа В-кадры будут пропускаться. Функции Bi-directional prediction и Temporal Scalability в кодеке SV3 могут быть использованы одновременно, и это не приводит ни к снижению производительности, ни к ухудшению качества изображения.

Опция принудительного обновления блоков (Force Block Refresh) позволяет задавать максимальный промежуток времени между обновлением каждого блока видео размером 16x16 пикселей. Эта опция дает возможность регенерировать видеокادر в течение заданного в секундах времени в том случае, если пакет был отброшен. Применение опции Force Block Refresh очень незначительно влияет на пропускную способность при контенте с медленным движением и совсем не сказывается на пропускной способности при контенте с быстрым движением, поскольку для последнего характерна высокая вероятность обновления блоков.

Среди других опций, реализованных в профессиональной версии SV3-кодера, следует отметить режим быстрого сжатия (Quick Compression), конфигурируемую автоматическую расстановку ключевых кадров (Automatic Keyframe), режим пропуска кадров для минимального качества (Minimal Quality frame dropping), отключение фильтра сглаживания изображения (Smoothing deblocking filter), использование паролей (Media Passwords), поддержку альфа-канала в реальном времени, воспроизведение водяных знаков в цвете.

**Видекодек RealMedia.** Файлы RealMedia обычно имеют расширение .RM, .RAM или .RMVB. В этом формате можно встретить музыку и видео в сети Интернет или в западных кабельных каналах. В среде смартфонов и сотовых телефонов данный стандарт поддерживают аппараты Nokia и Sony Ericsson.

Программ для перекодировки из realmedia в другие форматы существует много, но наиболее известные – это Adobe Premiere, Quicktime PRO и Real HELIX Producer, RealProducer Plus.

К преимуществам RealMedia можно отнести:

- Формат долго оставался единственным, позволявшим осуществлять произвольную «перемотку» по оси времени лежащих на http-сервере файлов, в том числе и при работе через прокси. Это обусловило активное выкладывание пользователями RealMedia файлов на дешёвых и бесплатных хостингах. По мере развития других форматов вещания и, в особенности, Flash Player'a, а также по мере развития предоставляемых услуг хостинга, данное преимущество полностью сошло на нет;

- Приемлемые качество изображения и разборчивость речи при сверхнизких битрейтах видеопотока. Маленький размер выходного файла – это прежде всего низкий трафик, требуемый для его трансляции по каналам связи, поэтому в качестве стандарта де-факто RealMedia держался весьма долго. Появление кодеков h.264 и AAC, обеспечивающих при том же битрейте существенно лучшее качество изображения и звука, сделало RealMedia неактуальным.

- Низкие процессорные мощности, необходимые для воспроизведения потока с низким битрейтом.

- 100 % совместимость старых файлов и потоков с новыми версиями плеера.

Основные недостатки:

- Низкое качество изображения даже по сравнению с устаревшими версиями Divx.
- Фирменный плеер RealPlayer при установке и каждом последующем запуске прописывает в автозагрузку много «мусора».
- Отсутствие локализаций плеера для многих языков.
- Отсутствие официального кодека, способного работать через интерфейс DirectShow. В сочетании с предыдущим недостатком делает малоприменимым на полностью многоязычных сайтах.
- Долгое время не существовало версии плеера под UNIX/Linux. Существующие же ныне версии неполнофункциональны по отзывам многих пользователей.
- Закрытость формата.

**Видекодеки QuickTime.** Для формата QuickTime всегда предлагался самый широкий набор кодеков. Даже не будем пытаться составить полный список всех современных кодеков для этого формата. Дело в том, что QuickTime в отличие от Windows Media и RealVideo, используется не только для распространения, но и для создания контента. Другая причина, объясняющая широкое разнообразие кодеков QuickTime, заключается в том, что использование алгоритма QuickTime упрощает распространение кодеков сторонних разработчиков, так как последние могут работать со всеми существующими приложениями. А некоторые кодеки сторонних производителей компания Apple даже включила в свою систему автоматического обновления кодеков.

Когда пользователь проигрывает файл, для которого требуется новый кодек, плеер QuickTime посылает запрос на сервер Apple и выясняет, доступен ли этот кодек (или только декодер) для загрузки на компьютер клиента. Если такой кодек на сервере есть, QuickTime запрашивает у пользователя разрешения на его загрузку. В случае положительного ответа кодек устанавливается, и плеер воспроизводит файлы с помощью нового кодека – ни перезагрузки компьютера, ни даже перезапуска плеера QuickTime при этом не требуется. Благодаря такой умной стратегии компании кодеки для QuickTime пользуются огромной популярностью.

Технология защиты от пропуска предоставляет клиенту очень большой буфер, и если скорость подключения пользователя выше скорости передачи данных клипа, QuickTime буферизирует максимально возможную часть файла, поэтому даже при отключении компьютера от сети воспроизведение видеоклипа будет продолжаться до исчерпания буфера.

**Кодеки стандарта H.264.** Сразу заметим, что H.264 (AVC) это не кодек, а лицензируемый стандарт сжатия видео. Стандарт H.264 обязан своим появлением двум разным группам экспертов, объединившимся специально в целях его создания. Появившийся в результате совместных трудов продукт получил известность под разными именами. H.264 его окрестила организация ITU-T, осу-

ществляющая координацию телекоммуникационных стандартов Международного телекоммуникационного союза (International Telecommunication Union). Международная организация по стандартизации (ISO) называет тот же самый стандарт по-своему – MPEG-4 Part 10/Advanced Video Coding (AVC), поскольку он является расширением пакета стандартов MPEG-4, уже успешно внедренного в обширный ряд продуктов, относящихся к видеонаблюдению.

Кодеки стандарта H.264/MPEG-4 part 10 пришли на смену кодекам стандарта MPEG-4 part 2 (Xvid, Divx и т. д.). В них усовершенствованы старые и используются новые технологии кодирования видео с потерями.

Свои реализации кодеков AVC/H.264 уже предложили такие компании как Nero, Apple, Sorenson, ffmpeg, Philips, Sony и многие другие.

Стандарт AVC/H.264 определяет четыре профиля: Baseline, Main, Extended и HighProfile:

- Baseline Profile использует только I/P-кадры, поддерживает только прогрессивную развертку и CAVLC-кодирование;
- Extended Profile использует I/P/B/SP/SI-кадры, поддерживает только прогрессивную развертку и CAVLC-кодирование;
- Main Profile использует I/P/B-кадры, поддерживает прогрессивную и чересстрочную развертку, CAVLC или CABAC-кодирование;
- High Profile (или FRext) вдобавок к Main Profile использует предсказание Intra-блоков 8×8, кодирование видео без потерь, больше форматов представления цвета YUV.

Компании-разработчики реализаций кодека стандарта H.264 поют ему хвалебные оды, заявляя, что данный кодек обеспечивает такое же качество изображения как Mpeg-2 при скорости видео потока в два-три раза меньше, или разрешение видео в четыре раза выше при той же скорости потока, что Mpeg-4 part ASP кодеки. Ценой этого прорыва в качестве кодирования является требовательность к ресурсам компьютера. Процесс кодирования видеокodeком H.264 может занимать времени в четыре-пять раз больше, чем при использовании кодеков стандарта Mpeg-4 part 2 ASP. При воспроизведении на современных компьютерах разница практически не заметна при том условии, что в системе установлен качественный H.264 декодер.

Большим преимуществом кодека H.264 над остальными является то, что он обеспечивает хорошее качество изображения и степень сжатия в широких диапазонах разрешений (от телефонных экранов до HD). Это обусловило принятие его в качестве стандарта для широкого круга задач (от кодека для сетей мобильной связи 3-го поколения до Blue-ray-дисков).

Из-за фантастического преимущества в качестве изображения относительно размера файла над кодеками семейства MPEG4 h.264 быстро распространился везде, где смог. Например, он стал основным обязательным кодеком видео для Blu-Ray, а также начал вытеснять другие кодеки из контейнеров вроде FLV или 3GP. В распространяемом в интернете высококачественном видео-контенте очень часто встречается сочетание MKV/h.264, из-за чего эти аббревиатуры некоторые пользователи ошибочно считают синонимами.

Однако добавим в эту бочку мёда и приличную ложку дёгтя – аппаратные требования к декодированию сжатого в h.264 видео очень высоки, даже если речь не идёт о FullHD разрешении. Поэтому для многих старых аппаратных медиаплееров апгрейд путём перепрошивки для поддержки нового кодека оказался невозможен по причине банальной нехватки вычислительной мощности декодера. При этом поддержку новых контейнеров вроде MKV добавить было легко, что приводило к понятным казусам. Более того, воспроизведение h.264-контента на компьютере также требует либо двухъядерного процессора, либо аппаратной поддержки декодирования AVC со стороны видеокарты (к счастью, это сейчас встречается практически поголовно). А вот с планшетами и нетбуками не всё так очевидно.

**Кодек H.265 или HEVC.** Видеокодек нового поколения High Efficiency Video codec (HEVC), известный также как H.265, стал важной вехой видеоиндустрии 2013 года. Попытаемся сравнить его с предыдущим – H.264.

Кодек H.264 был вполне успешным проектом. Это весьма гибкий кодек, который получил широкое применение в сетях распространения потокового видео, на спутниковых платформах, а также при записи Blu-ray дисков. Он весьма хорош для масштабирования, благодаря чему он был предложен в качестве стандарта для 3D с частотой кадров 48-60 в секунду, и даже для 4K. И он вполне справляется с этими задачами. Стандарт, принятый для Blu-ray дисков, пока не включает в себя каких-либо рекомендаций относительно данных технологий, однако кодек H.264 сам по себе способен их поддерживать.

Проблема кодека H.264 заключается в том, что, будучи в принципе способным кодировать видео в этих форматах, он не может обеспечить степень сжатия, которая бы сделала размеры получаемых файлов приемлемыми. Потребовался новый стандарт, который бы смог существенно уменьшить размеры получаемых после сжатия файлов и тем самым заслужил бы международное признание в качестве средства продвижения новых форматов видео. Так и появился на свет H.265. Он был разработан таким образом, чтобы, используя новые технологии сжатия и более умную модель кодирования/декодирования, наиболее экономно использовать пропускные ресурсы канала.

Более высокая производительность нового кодека по сравнению с предшественниками обусловлена несколькими значительными структурными улучшениями. Определяющими из них являются три – изменение максимального размера блока, введение параллельного декодирования и реализация произвольного доступа к изображениям внутри видеопотока.

- Максимальный размер блока в стандарте H.264 составляет 256 пикселей (16 x 16), а в стандарте H.265 он может быть в 16 раз больше (4096 = 64 x 64). Интересно, что в стандарте H.265 размер блока выбирается самим алгоритмом в процессе кодирования в зависимости от содержания кодируемого изображения. По утверждениям сторонников нового стандарта, изменяемый размер блоков и увеличение максимального предела этого размера позволят более эффективно обрабатывать изображения с высоким разрешением. Кстати, новый стандарт

поддерживает пиксельные разрешения вплоть до 8192 x 4320 – самого высокого из современных телевизионных стандартов, также называемого 8К.

- Возможность параллельного декодирования, предусмотренная в декодерах H.265, позволяет отдельно и одновременно обрабатывать различные части одного и того же кадра. Такая обработка может существенно ускорить воспроизведение и предоставляет возможность воспользоваться преимуществами многоядерных процессоров, завоевавших сегодня большую популярность на IT-ориентированных рынках. Кодек H.264 таких возможностей не предусматривал.

- В новом стандарте предусмотрен произвольный доступ к изображениям (Clean Random Access). Это означает, что декодирование произвольно выбранного кадра видеопоследовательности производится без необходимости декодирования каких-либо предшествующих ему в потоке изображений. Для мультимедиа произвольный доступ не является критичным, а вот для видеонаблюдения, в особенности мониторинга в реальном времени, такая возможность весьма желательна: переключившись на определённый видеопоток из соображений оперативной необходимости, оператор должен мгновенно получить изображение на своём экране: в охранных приложениях одна-две секунды могут иметь решающее значение. Опустив сложные технические подробности того, как это реализовано в новом кодеке, стоит упомянуть, что здесь не требуется обязательная вставка в видеопоток промежуточных опорных кадров (I-кадров), за счёт которых заметно увеличивается битрейт.

Формат HEVC/H.265 готов стать следующим стандартом, но этот процесс задерживается в силу лицензионных проблем. Группа HEVC Advance, основанная такими компаниями как Philips, Dolby и GE, требует более высоких лицензионных отчислений в сравнении с теми, которые ранее требовала MPEG LA. В то время как MPEG LA просила 20 центов с устройства, использовавшего технологию, в HEVC Advance просят 80 центов с мобильного устройства и 1 доллар 15 центов с телевизора. И это лишь базовая цена. В группе также хотят получать 0,5% от всех доходов, полученных за счёт продажи контента, компрессированного в HEVC. Мэтт Фрост, глава отдела партнёрства в команде Chrome Media компании Google, считает, что компания, продающая 10 миллионов HEVC-совместимых смартфонов или смартфонов, содержащих HEVC-чип, вынуждена будет платить 2 миллиона долларов MPEG LA и 8 миллионов долларов HEVC Advance. Компании Netflix придётся выплачивать отчисления от того, что посмотрел каждый её подписчик за месяц.

В долгосрочной перспективе H.265, скорее всего, заменит H.264 в качестве главного решения для расширенной обработки видео. Впрочем, всё будет зависеть ещё и от того, насколько сильнее будет потреблять ресурсы процесс обработки H.265 видео по сравнению с H.264. Мы сможем об этом узнать только тогда, когда появится полноценное оборудование для работы с этим стандартом, однако пока предположения весьма оптимистичны. Параллельная модель H.265 кодирования, несомненно, должна хорошо показать себя на фоне многоядерных устройств будущего.

**Видекодек VP.** История кодеков VP началась в компании On2 Technologies, которая успела разработать восемь версий данного кодека, пока в 2010 году ее приобрела компания Google, которая встроила её технологию VP8 в формат видеофайла WebM. В 2013 году компания Google развила данную технологию, запустив формат VP9, но наткнулась на равнодушные отрасли. Формат высокоэффективного кодирования видео – HEVC, известный также как H.265, получает более широкое распространение, чем VP9. Впрочем, для видео на YouTube начал применяться формат VP9 в плеере HTML5, который стал форматом по умолчанию вместо Flash.

Платформа YouTube начала предлагать потоковый контент в формате VP9 ещё в 2013 году, однако при этом VP9 не был встроен в ПК, работающие под Microsoft Windows, а также в чипы от Apple, установленные в iPad и iPhone. Это значит, что H.264 и HEVC идут на шаг вперёд, хотя Google может совершить стремительный бросок, учитывая то, сколько компаниям придётся платить за технологию.

Говоря о преимуществе своей технологии, в компании Google указывают на то, что на платформе YouTube в 2014 году было просмотрено более 25 миллиардов часов видео в формате VP9 – и это был контент, разрешение и качество которого превышало H.264.

В настоящее время Google анонсировал разработку нового кодека VP10, который позволит передавать 4K/Ultra HD-видео, используя половину пропускной полосы, необходимой для передачи такого же видео в формате VP9, и четверть полосы, необходимой для передачи видео в формате H.264.

Кодек VP10, как утверждают, предложит большую чёткость изображения, большее богатство цветов, более широкий динамический диапазон. Как и в случае с VP9, кодек VP10 будет бесплатным для использования программным обеспечением с открытым кодом.

Одно из главных препятствий состоит в том, чтобы заставить компании принять эту технологию. Даже, когда Google выпустит свой новый кодек, поисковому гиганту будет весьма трудно конкурировать с более популярным кодеком H.264, на смену которому приходит HEVC (или H.265). Поэтому полагаем, что новый кодек не станет повсеместно доступным в ближайшие несколько лет. Без сомнения, в Google желают сделать свою технологию отраслевым стандартом, поскольку компания ежедневно передаёт потоковое видео через свою платформу YouTube. Использование кодека VP10 будет означать то, что появится возможность передавать видео в более высоком разрешении, не растрачивая на это весь ресурс пропускного канала и не теряя качества.

В заключение отметим, что на фоне упадка физических носителей и усиления 4K/Ultra HD ещё не было большего давления на новые стандарты компрессии видео для доставки контента. Оба из рассмотренных перспективных форматов (H.265 и VP10) хороши, пусть и немного по-своему, и, в отличие от форматных войн прошлого, очень похоже на то, что в итоге они оба займут своё место под солнцем, поскольку в отрасли, скорее всего, не готовы ни к тому, чтобы всецело зависеть от уплаты лицензионного сбора, ни к тому, чтобы



броситься в объятия к Google. А это значит, что, скорее всего, в большинстве устройств, которые появятся на рынке, будет присутствовать поддержка обеих форматов.

Любопытно, что на горизонте уже слышен топот копыт, предвещающий появление еще одного нового формата. Альянс Xiph.Org Foundation ведёт разработку собственного кодека, получившего название Daala или NetVC. И, несмотря на то, что на сегодняшний день он ещё достаточно сырой и требует доработки, в Xiph уверяют, что по своей производительности их детище будет «на голову выше» как H.265, так и VP10. Ничто не вечно под Луной – это выражение особенно справедливо, когда речь идёт о мире технологий!

**Видекодек SIF.** Новый российский аппаратно-независимый кодек обещает превзойти все современные существующие в мире аналоги. В его основе лежат разработки нашего программиста Всеволода Мокрушина, который зарегистрировал в США в 2013-м году патент на кодек SIF-1. Разработкой интересуются Apple, Google, Microsoft, Samsung, Qualcomm, Intel, AMD, nVidia и другие мировые корпорации. Дело в том, что существующие в мире кодеки уже исчерпали пороговые возможности сжатия информации, а ограничения сжатия кодека Мокрушина пока не выявлены.

Выход этого кодека позволит устранить монополию кодеков MPEG и Google. Весь существующий мир платит дань этим транснациональным корпорациям за использование внедрённого ими программного обеспечения. Лицензионными выплатами обложили не только всех производителей электроники и компьютерных устройств, но и все компании, транслирующие и принимающие видеосигнал.

Для наглядного и понятного описания сути SIF, а также для понятного изложения различий между SIF и другими технологиями сжатия, воспользуемся «строительной» аллегорией.

Предположим, что нам надо написать инструкцию о том, как построить дом очень сложной формы, при этом в этом доме все стены кривые, а также нет ни одного одинакового окна, комнаты или двери. Конечно, такой дом будет мало походить на нормальное человеческое жильё, но в рамках этой задачи нам важны не архитектурные достоинства дома, а минимальный объём проектной документации.

- Например, можно построить весь дом из кирпичей, но тогда нам нужно описать расположение каждого из тех кирпичей, из которых мы сложим дом. В результате документация будет просто огромной.

- Другим подходом к решению этой задачи будет разбиение сложной формы исходного проекта на большое количество универсальных блоков. Эти блоки имеют различную форму, но в целом весь набор блоков подобран таким образом, что из них можно собрать стену практически любой формы, а сами они очень точно подогнаны друг к другу. С помощью таких блоков можно написать гораздо более компактное руководство по сборке дома, но для каждого участка стены придется решать сложную задачу – в каком конкретно порядке и какими

конкретно блоками можно оптимально передать форму стены, затратив минимум текста. Таким образом, можно получить очень компактную документацию, но ее создание будет делом очень трудоемким и неоднозначным.

- Ну и, наконец, можно применить чисто российский подход к проблеме – взять большое количество крупных блоков сложной формы, но неточно пригнанных друг к другу. Затем быстро составить из них описание подобия строящегося дома, а в тех местах, где блоки неплотно прилегают друг к другу, написать «для точного соответствия нужной форме доработать напильником». Таким образом, и размер документации будет маленьким, и написать ее можно будет быстро и просто.

Так вот, если считать вышеописанный дом аллегорией изображения, а написание документации – аллегорией процесса сжатия, то:

- Первый представленный способ – это стандартные неадаптивные алгоритмы сжатия, основанные на DCT или Wavelet. Он всем хорош и быстр, только большие коэффициенты сжатия получить с его помощью не получится.

- Второй способ – это объектный метод представления изображения, а также разложение изображения на разные адаптивные базисы. Проблема с этим подходом в том, что для разбиения изображения на объекты необходимо произвести очень большой объем вычислений. При этом непонятно, какие использовать алгоритмы, чтобы все всегда правильно работало. На разработку эффективных объектных методов сжатия изображения были потрачены и тратятся сейчас большие деньги, но воз пока и ныне там – ни одного практического кодека, эффективно разбивающего изображение на объекты, сделано не было.

- Последний метод собственно и передает суть SIF. Из-за того, что нам не надо заботиться о точной подгонке блоков друг к другу, сжатие изображений можно сделать очень быстрым – практически с такой же скоростью, что и в неадаптивных алгоритмах первого типа. При этом изображение разбивается на набор стандартных элементов, состоящих из описания базовой «грубой» формы блока, а также из описания методики «доработки напильником» этого блока в конкретном изображении. Подобный элемент в патенте назван «паттерном передискретизации» (resampling pattern), а мы для простоты называем их графическими примитивами, хотя по сути это никакие не графические примитивы, а невесть что.

Основными задачами SIF проекта было создание практичных, быстрых и универсальных алгоритмов для разбиения изображения на графические примитивы и для синтеза его обратно с получением качественного изображения. Обе эти задачи были успешно решены. Причем алгоритм синтеза оказался настолько универсальным, что позволяет сшивать без швов и дополнительной постфильтрации графические примитивы, полученные из межкадровой разницы, с графическими примитивами, полученными прямо из текущего кадра, чего другой алгоритм никогда сделать не сможет. Кстати, именно отсутствие способа совмещения в одном кадре участков, закодированных прямым и межкадровым

способом, делает неконкурентоспособными новые эффективные алгоритмы сжатия изображения в задачах сжатия видео – за исключением, конечно, SIF.

Так как в SIF задача получения качественного изображения разбита на две вычислительные части – при сжатии и при синтезе, то для получения одинакового по качеству результата можно увеличивать либо вычислительную сложность аналитической части алгоритма, либо сложность его синтезирующей части. Например, первые варианты движка<sup>1\*</sup> SIF-сжатия имели обратную симметричность – то есть распаковка шла медленнее сжатия. Текущий движок имеет симметричность в районе единицы, но, как было сказано выше, ничто не мешает разработать специализированный движок под конкретные задачи.

Сам класс SIF-подобных алгоритмов очень обширен, и в зависимости от числа используемых графических примитивов конкретная реализация SIF может приближаться либо к Wavelet-подобным кодекам, либо к чисто объектным алгоритмам. При этом можно приблизительно приравнять реализацию SIF с тремя графическими примитивами к неадаптивному Wavelet-преобразованию, использующему квантование в виде вложенного нуля дерева. То есть трехэлементное SIF-преобразование сжимает чуть хуже, чем JPEG2000, где применен более качественный квантователь. При этом представленный движок сжатия использует всего семь графических примитивов, что позволяет получать достаточно высокую, но не рекордную эффективность сжатия. Дело в том, что главная задача, решенная при создании текущего движка сжатия, была в отработке универсальных алгоритмов разбиения и синтеза изображения из графических примитивов, а увеличение числа графических примитивов приводило к увеличению объема кода и замедлению решению основной задачи.

Таким образом, текущий движок сжатия SIF – не более чем прототип реально рекордных движков следующей генерации. Полагаем, что оптимальное число графических примитивов для SIF-образных алгоритмов находится в диапазоне от 32 до 128, а эффективность сжатия подобных движков должна быть гораздо выше, чем у текущего.

Еще одним путем увеличения эффективности сжатия у SIF-подобных алгоритмов является совершенствование правил подгонки графических примитивов в процессе сжатия. Разработанный универсальный алгоритм синтеза сводит задачу восстановления изображения к хорошо проработанной задаче эффективной интерполяции изображения с равномерно расположенными на нем отсчетами. Для решения этой задачи было разработано множество качественных адаптивных алгоритмов, существенно превосходящих тот алгоритм интерполяции, который используется в текущем ядре сжатия.

Еще одним крайне полезным свойством SIF-подобных алгоритмов является их крайняя гибкость и адаптивность. Дело в том, что SIF, как и объектные алгоритмы, разбивает входное изображение на «геометрию» и «текстуры». При этом способ, которым получается «геометрия», на выход не передается. Это по-

---

\* Движок (жаргонизм от англ. engine – мотор, двигатель) – центральная часть компьютерной программы, выполняющая основные функции этой программы.

зволяет использовать чрезвычайно гибкие и адаптивные психовизуальные модели. На практике имеется возможность установить свой порог сжатия для любого из графических примитивов, на которые разбивается изображение, при практической бесплатности такой психовизуальной модели для сжатия – так как никаких дополнительных данных в сжатое изображение не передается. Для текущего движка сжатия минимальная возможная зона адаптивности это 2 на 2 пикселя! При этом психовизуальная модель напрямую встроена в движок разбиения изображения на графические примитивы, поэтому она еще и практически бесплатна с точки зрения вычислительной сложности алгоритма. Собственно, поэтому в SIF возможна реализация таких психовизуальных моделей, которые невозможно реализовать ни в одном другом алгоритме сжатия, что и демонстрируется в разработанном видеокодеке.

Таким образом, по сумме полезных свойств именно SIF-подобные алгоритмы являются наиболее перспективными для создания видеокодеков следующего поколения.

## **ГЛАВА 23. ВИДОКОНФЕРЕНЦСВЯЗЬ**

### **23.1. Общие сведения**

В это трудно поверить, но первая публичная видеосвязь состоялась в апреле 1930 года между штаб-квартирой AT&T и Bell Laboratory в Нью-Йорке. Голосовыми терминалами служили микрофоны и громкоговорители, а изображения лиц участников, освещаемых мощными лампами синего света, захватывались системой фотоэлементов. Как писала в то время *New York Daily Mirror*, речь была разборчивой, а принятые изображения «не оскорбляли» их оригиналов. Но прошло более 30 лет, пока первые продукты для организации видеоконференций появились на рынке. В 1964 г. та же AT&T продемонстрировала первый Picturephone на Всемирной ярмарке в Нью-Йорке. Устройство требовало для своей работы процессор с частотой 1 МГц (фантастической по тем временам) и впервые предоставляло возможность разделения данных.

В 1971 г. состоялась первая трансатлантическая видеосвязь между двумя системами от Ericsson (продукт назывался LME). И только 20 лет спустя такие возможности стали доступны владельцам персональных компьютеров. Первопроходцами в этом секторе были компании Intel, PictureTel и VTEL. Затем, по мере развития рынка, начали появляться и другие игроки: Zydacron, VCON, Polycom.

В соответствии с исследованиями психологов, в процессе телефонного разговора в среднем воспринимается около 20% информации, в ходе личного общения – 80%, а в ходе сеанса видеосвязи – 60%. То есть если к общению собеседников по звуковому каналу добавляется визуальный невербальный язык (жесты, мимика и т. п.), то у собеседников повышается эффективность восприятия информации. Как видно по своим психофизиологическим параметрам видеосвязь достаточно близка к личному общению и намного превосходит воз-

возможности телефонной связи. Однако для того, чтобы обеспечить эффективное применение видеосвязи в бизнесе, мало только видеть и слышать одного собеседника. Необходима возможность организации конференций с несколькими участниками, возможность обмена дополнительной информацией (презентации, документы, изображения с дополнительных видеокамер и др.). Режим работы, обеспечивающий все это, называется видеоконференция, а сама технология одновременной передачи видео, голоса и данных – видеоконференцсвязь **ВКС**.

Технология видеосвязи сегодня во всем мире позиционируется в первую очередь как эффективное средство для оптимизации бизнес-процессов, в том числе для сокращения числа деловых командировок, экономии на представительских, транспортных и накладных расходах.

В настоящее время видеоконференцсвязь уже не такая дорогая технология как несколько лет тому назад, и позволить ее себе могут не только большие, но и довольно ограниченные в средствах компании. В отечественных условиях применение видеосвязи и видеоконференций оптимально в следующих случаях:

- Там, где стоимость рабочего времени руководства (а для него в первую очередь и внедряются эти системы) настолько высока, что тратить время и силы на переезды является непозволительной роскошью для эффективного управления компанией. Как показывают западные исследования, за свою жизнь среднестатистический менеджер проводит 3 года в самолете, 2 года в дороге в аэропорт и из него, 23 месяца в ожидании своего рейса, 11 месяцев в ожидании пересадки с рейса на рейс и 3 месяца в поиске места для парковки.

- Там, где нужно добиться высокой обучаемости, быстрого усвоения материала и где требуется передать эмоции докладчика.

- При объективной необходимости одновременного личного присутствия в нескольких местах одновременно. Если нужно немедленно собрать в одном (пусть и виртуальном) совещании многочисленных и крайне занятых руководителей и экспертов различного уровня, причем зачастую расположенных в различных географических точках.

Кратко суммировать вышеизложенное можно так: «Видеоконференция позволяет экономить время, и необходима там, где реальная стоимость этого времени по разным причинам высока».

Сегодня на рынке сосуществуют две технологии обеспечивающие возможность видеосвязи и проведения видеоконференций – программные и аппаратные. И у тех и у других свои достоинства и недостатки, которые мы их обсудим в конце главы.

## **23.2. Виды видеоконференций**

Существует два основных типа видеоконференций – персональная и групповая. Персональная видеоконференция подразумевает сеанс видеосвязи, в котором участвует всего два абонента. Под групповыми же видеоконференциями подразумеваются все остальные виды видеоконференций. Различные усто-

являющиеся правилами отображения участников видеоконференции для каждой из сторон называются видами видеоконференций.

**Видеоконференции 1-на-1.** Здесь всё просто: участвуют два абонента, оба видят и слышат друг друга одновременно. Сразу оговоримся, что во время любого сеанса видеоконференции могут использоваться различные инструменты для совместной работы, такие как обмен текстовыми сообщениями, файлами, презентациями и прочими медиаданными.



Рис. 23.1. Видеоконференции 1-на-1

**Симметричные видеоконференции.** Они же видеоконференции с постоянным присутствием (Continuous Presence). Так называют сеанс видеоконференции, в котором участвуют более 2 человек и все участники видят и слышат друг друга одновременно. Естественно, видеоконференция подразумевает полнодуплексное общение. Другими словами, это аналог круглого стола, где у всех равные права. Групповая видеоконференция подходит для встреч, где требуется максимальная вовлеченность каждого участника.

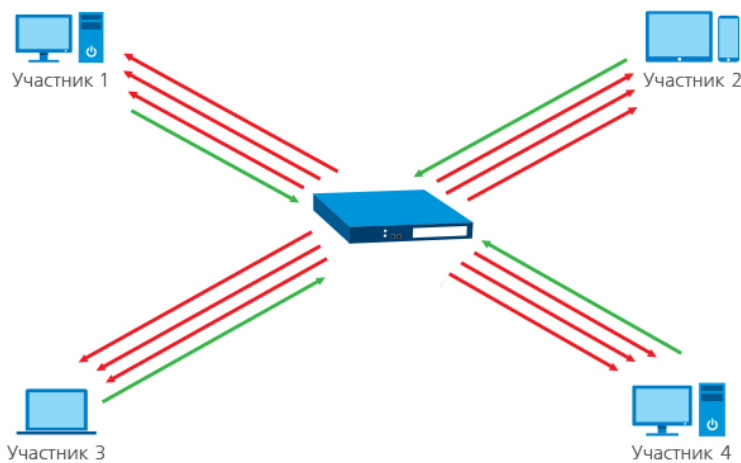


Рис. 23.2. Симметричные видеоконференции

**Видеоконференции с активацией по голосу.** Название такого режима пошло от английского обозначения Voice Activated Switching (VAS). Эта видеоконференция предполагает следующий формат общения: все участники сеанса слышат и видят на своих экранах только выступающего докладчика, в то время как он сам видит себя, либо предыдущего оратора. Возможны небольшие вариации данного механизма, но суть остаётся следующей: сервер ВКС отслеживает голосовую активность абонентов и переключает транслируемое всем участникам изображение на говорящего. У данного режима есть существенные недостатки, например, ложные срабатывания на шум, кашель или звонок мобильного телефона.

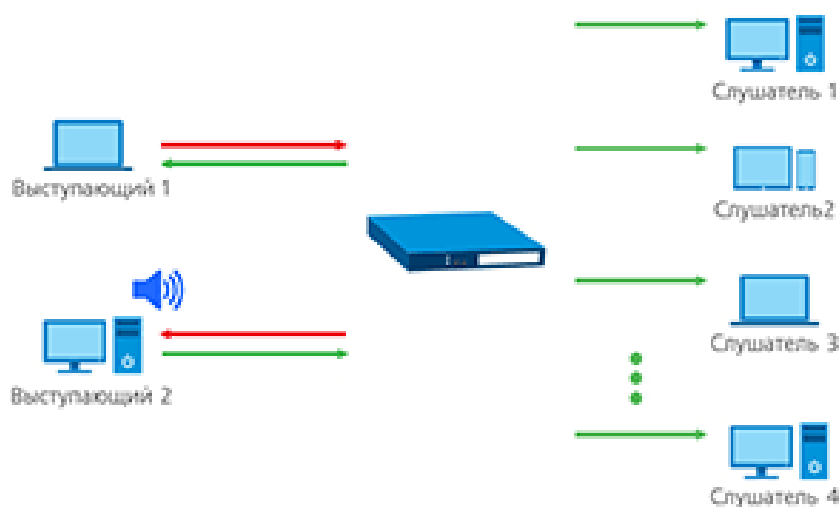


Рис. 23.3. Видеоконференции с активацией по голосу

**Селекторные видеоконференции.** Режим, в котором участники делятся на два вида: докладчики и слушатели, где каждый из слушателей может стать докладчиком (с разрешения организатора конференции). Ведущий такой конференции сам назначает докладчиков и может удалить их с видео-трибуны в любой момент.

Этот режим может также называться ролевой видеоконференцией. Селекторная видеоконференция используется чаще всего при проведении веб-конференций (вебинаров).

Веб-конференции отличаются наличием большого числа источников видео, когда каждый участник может видеть любого другого участника отдельным видеопотоком. Технологически веб-конференции строятся на том же медиа-сервере и технологиях Adobe flash, что и прямые трансляции в Интернете, однако на одной странице размещается не один плеер, а сразу несколько. Модератор конференции может управлять, кого из участников выводить в основном окне. Вместо камеры может вешаться изображение рабочего стола или презентация.

Запись веб-конференции обычно осуществляется простым захватом экрана на одном из подключенных к сети компьютеров.

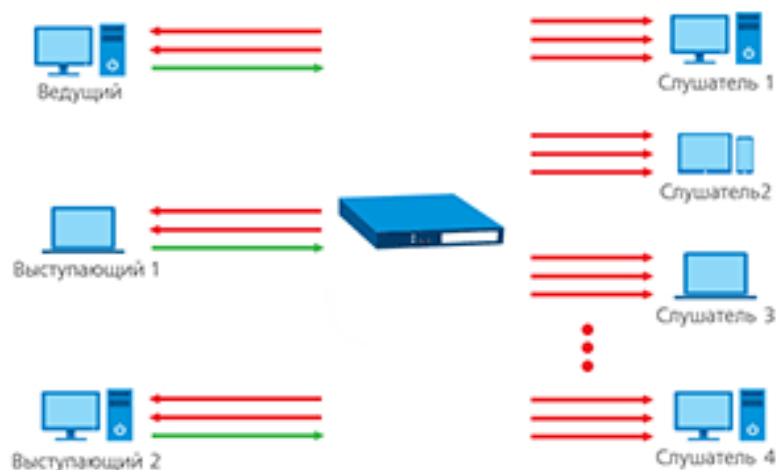


Рис. 23.4. Селекторные видеоконференции

Часто веб-конференции сопровождаются прямыми трансляциями большому числу зрителей.

Достоинством веб-конференций является возможность использования простых USB-вебкамер и обычных компьютеров без установки участникам дополнительных программ.

Основным недостатком веб-конференций на основе Flash являются задержки в передаче видео в 1...4 секунды, растущие с ростом разрешения и качества видеоизображения, что не имеет значения при прямых трансляциях, но мешает вести диалоги в веб-конференциях. Необходимость минимизировать задержки передачи видео приводит к ухудшению качества изображения участников.

Существуют технологии проведения веб-конференций без использования технологий Flash путем установки пользователям специализированных программ. За счет этих программ уменьшается время задержки передачи видео, но требуется предварительное тестирование работы системы с каждым участником.

Веб-конференции стоит использовать в случае невозможности применения видеоконференцсвязи.

Вебинары сходны идеологически и технологически с веб-конференциями, но направлены на проведение обучения одним лектором. Наибольшее пространство занимает не видео лектора, а презентация. Дополнительно имеются инструменты рисования на слайдах и отображения рабочего стола преподавателя или учащегося. Почти всегда присутствует чат. У учащихся имеется возможность нажатием кнопки попросить слово.

Вебинары следует использовать при обучении. Достоинства и недостатки аналогичны веб-конференциям.



**Видеоконференции для дистанционного образования.** Специальный режим, в котором все участники (ученики) видят и слышат только одного вещающего пользователя (преподавателя), а он видит и слышит всех учеников. Ученики не отвлекаются друг на друга, а преподаватель их контролирует.

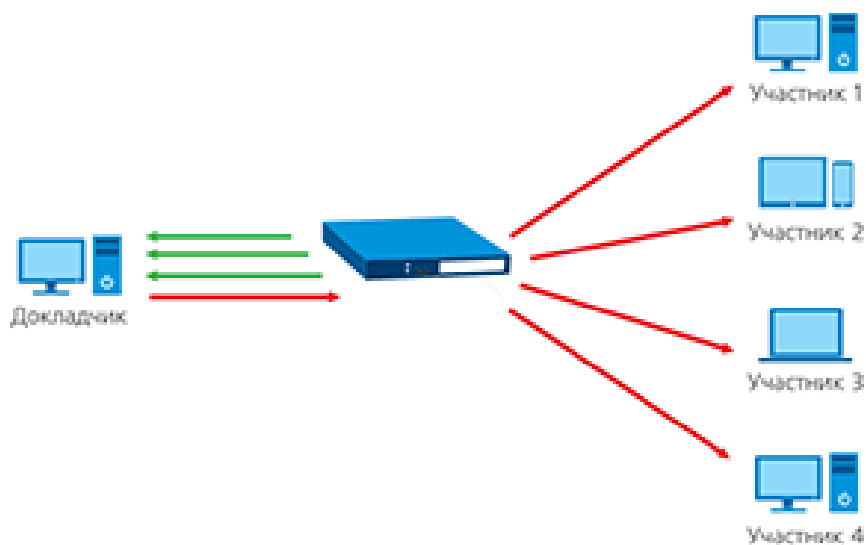


Рис. 23.5. Видеоконференции для дистанционного образования

**Видеотрансляция.** При прямой трансляции видео передается от одного источника многим получателям. Получатели, соответственно, могут только смотреть сигнал и не могут на него влиять. Прямые трансляции давно используются телевидением для освещения различных событий. Применительно к трансляциям в Интернете существует несколько способов доставки видео зрителям. Стандартом де-факто стало использование технологий Adobe Flash для доставки и отображения видеосигнала у пользователей. Источником сигнала выступает видеочамера или USB-вебчамера, подключенная к компьютеру. Компьютер кодирует сигнал и отправляет его на один медиа-сервер (Flash media server, Wowza и др.). На сайте с трансляцией вставляется flash-плеер и когда пользователь заходит на сайт, flash-плеер обращается на медиа-сервер за видеосигналом. В случае очень большого числа пользователей можно поставить несколько медиа-серверов и подключать пользователей к разным серверам. При таком подходе трансляцию могут смотреть десятки и даже сотни тысяч зрителей.

Запись видеосигнала обычно осуществляется тем же компьютером, который ведет кодирование видеопотока с чамеры. В некоторых случаях на сайте рядом с трансляцией подключается текстовый чат. В зависимости от реализации этот же медиа-сервер может вещать видео на мобильные устройства Android и iOS.

Разрешение трансляций обычно 1280x720, но в некоторых случаях может быть доведено до 1920x1080p. Качество видео ограничивается только мощностью кодирующего компьютера. Если мощности компьютера достаточно, можно кодировать видеосигнал сразу в несколько разрешений для того, чтобы

пользователи с быстрым интернетом смотрели трансляцию в максимальном качестве, а с медленным или нестабильном Интернетом в меньшем разрешении.

Прямые трансляции могут быть выездными, в таком случае видеочамера и кодирующий компьютер ставятся в месте проведения мероприятия, сигнал кодируется компьютером и в сжатом виде публикуется через Интернет на медиа-сервере в центре обработки данных. Требованием для выездной трансляции является стабильный канал интернет со скоростью не ниже битрейта сжатого видео.

Прямые видеотрансляции удобны тем, что не требуют от пользователя особых знаний или установки дополнительных программ, ему достаточно зайти в установленное время на сайт с компьютера или мобильного устройства. Кроме того, прямые трансляции стоит использовать при доставке видео очень большому числу зрителей.

Недостатком прямых трансляций в Интернете является слабая обратная связь, ограничивающаяся в лучшем случае текстовым чатом.

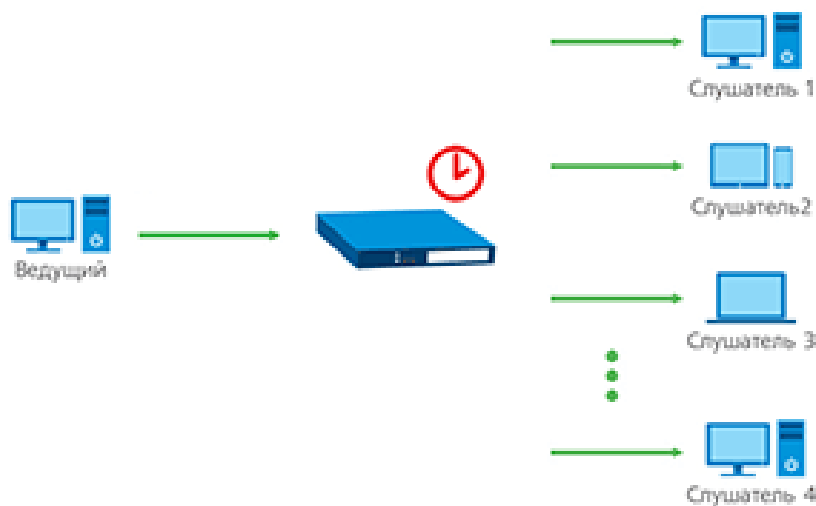


Рис. 23.6. Видеотрансляции

### 23.3. Типы архитектур систем видеоконференций

Проведение любой групповой видеоконференции, очевидно, требует наличие механизма и способа организации передачи данных между её участниками. В виду того, что передача между участниками напрямую по принципу полностью связного графа (каждый к каждому) мало применима на практике (см. реальные условия из пред. раздела), то рассмотрим варианты с использованием некоторого медиума, назовём его «сервер ВКС», то есть системы, работающей по топологии «звезда» (от центра к каждому).

В традиционных аппаратных ВКС-системах такой сервер называется MCU, в программных устоявшегося названия нет. Задача сервера – коммутация и обработка потоков во время групповой видеоконференции. Сервер ВКС является ядром ВКС инфраструктуры, ресурсами которой пользуются ВКС терминалы.

Традиционно было принято делить по типу архитектуры все решения на программные и аппаратные, но, начиная с 2014 года, такое деление по ряду причин стало не всегда актуальным. В первую очередь потому, что есть как аппаратные решения, использующие архитектуру, присущую программным решениям (на основе переключения и SVC), так и программные, копирующие принцип работы MCU. А, во-вторых, все ведущие производители стараются свою ВКС-инфраструктуру переложить на виртуализированные среды и поставлять как программное обеспечение.

**Архитектура видеоконференций на основе микширования (MCU).** Во время видеоконференции сервер ВКС принимает видеопотоки от каждого из участников, декодирует их, уменьшает, склеивает в новую картинку требуемого качества и разрешения для каждого из участников, заново кодирует и отправляет. Всё это требует огромной вычислительной мощности, вносит задержки на обработку на сервере, а также может ухудшать качество в результате пересжатия данных.

Масштабируемость такой архитектуры крайне низкая, даже с учётом возможности её виртуализации, поэтому цена на подобную инфраструктуру крайне высокая, и в современных реалиях такие расходы просто не оправданы.

**Архитектура видеоконференций на основе мультиплексирования (Switching).** Это классический подход к построению программных систем ВКС, по такому принципу, например, работает Skype. В отличие от MCU, сервер ВКС в данном случае не утруждает себя перекодированием, создает копии входящих потоков и пересылает их другим участникам «как есть». Выходит, что каждый из терминалов получает сразу несколько видеопотоков в полном качестве, которые он просто не может отобразить одновременно. Терминалу приходится уменьшать разрешение каждого входящего видео от каждого из участников на своей стороне, либо просить уменьшать его перед отправкой, что ухудшает качество видео для всех остальных участников.

Плюс у этой схемы один: инфраструктура не требовательна к ресурсам и даже рядовой ПК может выдержать сотни таких конференций одновременно. Но вот минусов значительно больше: терминалу (обычно это простой ПК) приходится декодировать не один, а сразу несколько потоков, а серверу ВКС требуется в несколько раз большая исходящая ширина канала, чтобы вместить в себя все созданные им копии потоков.

Добавим к этому реальные условия и получим систему, с трудом «переваривающую» количество участников, больше чем 3, и резко ухудшающую качество видео для всех при присоединении к ней мобильного абонента, не способного «переварить» исходное качество картинки, отправляемое другими абонентами.

**Архитектура видеоконференций на основе масштабируемого видеокодирования (SVC).** Данная архитектура совмещает в себе все преимущества микширующего подхода и при этом лишена недостатков систем на основе мультиплексирования. Она дешевая, мгновенно масштабируется и работает на

любых платформах. Это стало возможным благодаря развитию технологий обработки сигналов и сжатия данных.

Суть заключается в том, что терминал сжимает свой видеопоток слоями: каждый дополнительный слой повышает разрешение видео, его качество и количество кадров в секунду. Если канал между терминалом и сервером ВКС хороший, то терминал отправляет максимально возможное количество слоёв. Стоит заметить, что слой – это не отдельный видеопоток меньшего качества, а полноценная разница между ним и предыдущим слоем. Тем самым, SVC-поток всего на 15...20% отличается по ширине канала от не SVC-потока, и значительно меньше требуемой суммы полосы пропускания независимых потоков.

Сервер ВКС, получив SVC-поток со слоями, просто отсекает лишние без перекодирования, только лишь за счёт выкидывания из него пакетов с данными по определенным правилам. Тем самым, позволяя на лету создавать индивидуальные наборы видеопотоков («раскладки» окон) для каждого из участников групповой видеоконференции в зависимости от его реальных условий связи.

### 23.4. Протоколы и кодеки

Для организации видеоконференцсвязи между различным программным обеспечением и оборудованием сторонних производителей используются стандартные протоколы передачи данных.

- H.239 – коммуникационный протокол поддержки двух медиапотоков от разных источников. Подходит для видеоконференций, в которых изображение выводится на два разных экрана (к примеру, в видеопереговорной, когда на одном экране – изображение докладчика, на втором – сопровождающая презентация).

- H.323 – протокол передачи данных по сетям с негарантированной пропускной способностью. Применяется и в персональных, и в многоточечных видеоконференциях.

- SIP – сетевой протокол установки соединения между клиентскими приложениями различных производителей, пришедший на смену стандарту H.323. Используется в видеоконференцсвязи и IP-телефонии.

Сжатие и воспроизведение звука и видео во время сеанса конференцсвязи осуществляется посредством использования аудио- и видеокодеков.

- H.264 – стандарт сжатия видео, обеспечивающий высокий уровень сжатия видеопотока с сохранением первоначального качества.

- H.264 Scalable Video Coding (SVC) – кодек с компенсацией недостающих данных, который передает видео с использованием нескольких слоев. Устойчив к ошибкам в сети, например, таким, как потеря пакетов.

- H.265 – стандарт сжатия видео, в котором применяются более эффективные алгоритмы кодирования, чем в H.264. Среди особенностей данного видеокодека можно выделить повышенную устойчивость к потере пакетов при передаче медиаданных и минимальную задержку сигнала во время видеоконференций. Этот стандарт поддерживает форматы UltraHD: 4K и 8K.

- Orpus – аудиокодек для сжатия звука, отличающийся высокой производительностью и масштабируемостью.
- G.722.1 Annex C – стандарт сжатия широкополосного аудиосигнала.
- VP8 – видеокодек с повышенной устойчивостью к потере кадров и высокой скоростью декодирования видеопотоков.
- VP9 – открытый стандарт сжатия видео, изначальная цель которого состояла в улучшении характеристик кодеков VP8 и H.265. В первом случае (по сравнению с VP8) основной задачей разработчиков стало уменьшение битрейта на 50% с сохранением изначального качества видео, во втором (по сравнению с H.265) – значительное улучшение эффективности сжатия видеопотоков.

### 23.4.1. Стандарт H.323

H.323 является одним из старейших стандартов, используемых для организации VoIP-телефонии и видеоконференцсвязи. Это целая система протоколов и элементов, которые позволяют передавать медиаданные по пакетным сетям с негарантированной пропускной способностью. Структура рекомендации H.323 обеспечивает различные возможности коммуникации – от обычной телефонии до видеоконференцсвязи с передачей медиаданных.

Одним из преимуществ стандарта H.323 является его связующая функция, которая позволяет устройствам различных производителей взаимодействовать друг с другом.

До появления протокола H.323 все VoIP-приложения работали на собственных сигнальных протоколах, поэтому связь между ними была невозможна. Однако в 1996 году опубликовали первую версию H.323, и этот стандарт получил широкое распространение.

С момента появления стандарта H.323 прошло много лет, и, естественно, он совершенствовался с каждой версией. С 1996 года до сегодняшнего дня было выпущено 7 версий стандарта.

Первая версия была довольно скудной, потому как выпускалась с главной целью – наладить коммуникацию между терминалами различных производителей. О надежности, безопасности и хорошем качестве связи речи пока не шло, к тому же, ранее несовместимые друг с другом, терминалы могли «общаться» только внутри корпоративной сети.

Прорывом стала вторая версия, которая вышла спустя два года и была направлена на активное использование в VoIP-телефонии и многосторонних конференциях. В этот раз ключевым словом стала надежность – подтверждение достоверности конечных точек (участников конференции), неизменность пакетных данных при передаче, защита от несанкционированного взлома данных и, как ни странно, отсутствие отклонения входящих вызовов. Также было ускорено соединение между терминалами и добавлена возможность переадресации звонков.

Третья версия обеспечила передачу сигнализации для большего числа вызовов посредством одного ТСП-соединения. Межсетевые шлюзы, которые могли обеспечить до тысячи одновременных вызовов, тогда особенно выиграли.

Изменения в четвертом выпуске коснулись наращивания емкости H.323-терминалов, а выход пятой версии был направлен на общую стабилизацию стандарта.

В июне 2006 года утвердили шестую версию стандарта с изменениями по части транспортных протоколов H.225 и H.245. Появилась поддержка Assigned Gatekeeper – назначенного привратника, на котором регистрируется конечная точка из списка альтернативных гейткиперов. Помимо этого, были поддержаны документы и ряд приложений, позволяющих использовать кодеки GSM и H.264 в H.323-решениях.

Финальная – седьмая версия H.323 вышла в ноябре 2009 года. Среди множества обновлений следует выделить две важные для пользователей возможности:

- передача информации о пользователях на нескольких языках (это позволило сотрудникам различных международных организаций без труда взаимодействовать друг с другом);
- автоматическая доставка данных о групповой конференции, проходящей на MCU-сервере, всем H.323-терминалам (это позволило пользователям подключаться к конференции без ввода каких-либо данных о ней).

Стандарт H.323 основывается на четырех компонентах для организации видеоконференций типа точка-точка или многоточка:

- терминалы;
- шлюзы;
- контроллеры зоны (привратник);
- сервер многоточечных конференций (MCU).

**Терминал** – это по сути инструмент для управления H.323-устройством, такой пользовательский интерфейс, конечная точка. Терминалы могут связываться друг с другом в режиме VoIP-телефонии либо видеоконференцсвязи. Для связи терминалов из разных сетей – к примеру, H.323 и ISDN, используются **шлюзы**. Они выполняют следующие функции:

- установка соединения между терминалами;
- конвертация звуковых форматов;
- обмен информацией.

Если терминалы находятся в одной H.323-сети, шлюзы не используются.

**Контроллер зоны** или **гейткипер** – это центральная точка H.323-сети, поскольку именно гейткипер отвечает за адресацию вызовов, управляет шириной полосы пропускания и устанавливает подлинность терминалов и шлюзов во время соединения. Хотя рекомендация H.323 не определяет привратник как обязательный элемент, все же без него невозможно использование множества современных функций, которые внедряют в свои решения производители VoIP-приложений и решений видеоконференцсвязи.

Для связи трех и более терминалов используется **сервер многоточечных конференций MCU (Multipoint Control Unit)**. Все терминалы, которые участвуют в конференции, сначала связываются с MCU-сервером, а MCU в свою очередь распределяет видеопотоки по всем терминалам.

Каждый H.323-терминал, либо устройство, поддерживающее протокол H.323, имеет свой собственный IP-адрес. По нему осуществляется механизм маршрутизации H.323-пакетов внутри сети. Для связи терминалов со шлюзами и гейткипером, а также для передачи медиатрафика используются протоколы UDP:

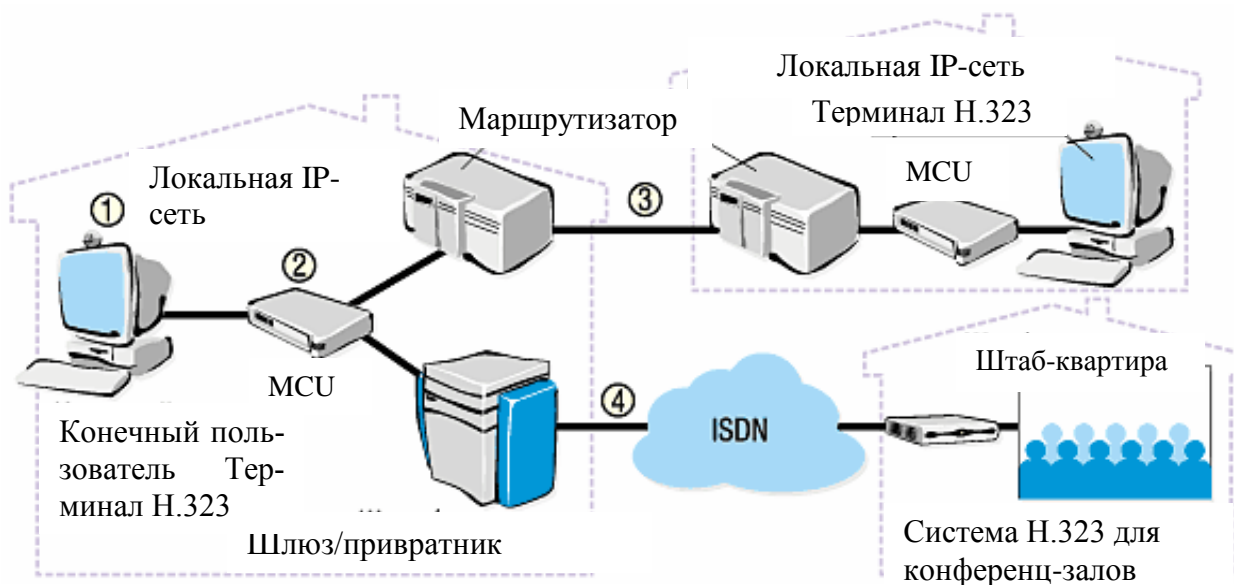
- RAS – используется между терминалами, шлюзами и гейткипером. Отвечает за регистрацию, разрешение на звонки и статусы.

- RTP – используется при передаче медиатрафика в реальном времени.

Транспортные протоколы TCP используются только для установления звонка между терминалами и обмена дополнительными возможностями:

- H.225 – установка соединения между H.323-устройствами.

- H.245 – обмен информацией о возможностях (поддерживаемые кодеки, например). Один терминал “сообщает” другому терминалу о поддерживаемых возможностях (кодеках) и выбирает кодек для отправки из возможностей другого терминала.



1 – Конечный пользователь подсоединяется к видеоконференции посредством H.323-терминала; 2 – MCU управляет многоточечным сеансом; 3 – При сценарии IP LAN-to-IP LAN MCU передается трафик на маршрутизатор, который через глобальную IP-сеть соединяется с другим маршрутизатором; 4 – При соединении с сетью ISDN шлюз/привратник преобразует мультимедиа-данные.

Рис. 23.7. Типичная схема коммуникаций при видеоконференцсвязи по стандарту H.323

Передача медиаданных по рекомендации H.323 разделена на пять основных этапов:

- обнаружение гейткипера и регистрация на нем;
- установка соединения между двумя и более терминалами;
- обмен голосом и видео – передача посредством транспортных протоколов;
- обмен мультимедиа – передача различных графических или текстовых документов, совместная работа над ними;
- завершение вызова.

Процесс обнаружения нужен для того, чтобы конечные точки (терминалы) могли найти привратник по сетевому адресу и зарегистрироваться на нем. Эта процедура может выполняться автоматически (многоадресная рассылка – обмен сообщениями между конечными точками и гейткипером, если гейткиперов несколько, терминал самостоятельно выбирает, на каком ему регистрироваться) либо вручную (когда сетевой адрес гейткипера известен заранее при конфигурации устройства). Предпочтительнее первый вариант обнаружения гейткипера, поскольку в случае каких-либо неисправностей в его работе терминал (конечная точка) сможет автоматически переключиться на другой гейткипер, без вмешательства в конфигурацию.

Процедура регистрации необходима для того, чтобы конечные точки (терминалы) могли сообщить свои адреса гейткиперу и войти в его зону управления.

Для установки соединения между терминалами и для обмена медиатрафиком используются следующие протоколы.

Для завершения соединения терминалы посылают сообщение гейткиперу, после чего канал закрывается и связь прерывается.

Стандарт H.323 определяет функцию обмена аудиоинформацией как основную свою возможность (так было изначально, ведь H.323 всегда применялся именно в VoIP-телефонии), поэтому каждый терминал должен был поддерживать как минимум один кодек из семейства G.7XX. А вот видеосвязь в отношении H.323 позиционировалась как второстепенная задача, в виду чего поддержка видеокодеков не была обязательной. Однако сегодня, в эпоху существования видеоконференцсвязи и интеграции ее во множество H.323-терминалов, видеокодеки входят в число обязательных. Для кодирования видео в H.323 используются видеокодеки семейства H.26X.

К голосовым кодекам в H.323 существует ряд определенных технических требований:

- низкий уровень задержки;
- возможность восстановления потерянных пакетов;
- высокое качество звука;
- малая полоса пропускания (не более 8 кбит/с).

Все этим требованиям отвечают кодеки семейства G.7XX. Однако если говорить о последнем пункте данного списка, то лишь некоторые из G.7XX соответствуют ему.



По умолчанию в H.323 используется кодек G.711, который обладает довольно высоким коэффициентом полосы пропускания – 64 кбит/с. Но далеко не у каждого пользователя Интернета канал достигает такой отметки. К тому же, G.711 на сегодняшний день считается устаревшим кодеком, ведь его частота дискретизации (преобразования аналогового сигнала в цифровой) составляет 8кГц, в то время как у другого кодека – более современного G.722.1 эта цифра в два раза больше (16 кГц). Для Интернета используются низкочастотные кодеки G.723 (5.3/6.3 кбит/с) и G.729 (8 кбит/с). Однако и тут не без недостатков – G.723 отличается довольно высокими запросами по части ресурсов процессора – если процессор вашего ПК ниже Intel 100 МГц Pentium, о телефонии можно позабыть.

Что касается видеокодеков, следует отметить, что каждый современный H.323-терминал должен поддерживать H.264-кодирование, поскольку именно этот видеокодек способен обеспечить картинку наилучшего качества.

### 23.4.2. Стандарт SIP

H.323 долгое время удерживал лидирующие позиции в сфере видеоконференцсвязи. Но в последнее время все большую популярность на рынке набирает протокол SIP (Session Initiation Protocol), который уже поддержан многими крупными производителями, включая Polycom и Cisco.

Рассмотрим особенности протокола SIP и его отличия от H.323 при реализации программного обеспечения для ВКС. Постараемся ответить на главный вопрос – какой же из протоколов более перспективен для организации видеотрансляций через Интернет.

H.323 рекомендован Международным союзом электросвязи (ITU-T), который определяет набор стандартов для передачи мультимедиа-данных по сетям с пакетной передачей. Наборы рекомендации определяют порядок функционирования абонентских терминалов в сетях с разделяемым ресурсом.

Стандарт H.323 не требует обязательного использования протокола IP, однако большинство реализаций основано на этом протоколе.

SIP– протокол передачи данных, который описывает способ установления и завершения пользовательского интернет-сеанса, предусматривающего обмен мультимедийным содержимым (видео- и аудио-конференция, мгновенные сообщения, онлайн-игры). Этот протокол разработан и стандартизирован Internet Engineering Task Force (IETF), силами IETF MMUSIC Working Group в RFC 3261.

Наряду с H.323, SIP относится к VoIP.

Оба протокола уже достаточно стары – и тот и другой «увидели свет» в конце 90-х. H.323 работает на уровне битовых полей, что в идеальных условиях реализации (не в Интернете) позволяет экономить сетевой трафик по сравнению с SIP. Однако в современных условиях быстрого распространения широкополосного Интернета это преимущество уже не выглядит столь значимым. SIP – протокол прикладного уровня, работающий по сетевой модели OSI.

Принципы, заложенные в основу протокола SIP:

- Простота: включает в себя только шесть методов.
- Независимость от транспортного уровня: может использовать UDP, TCP, ATM и т. д.
- Персональная мобильность пользователей. Пользователи могут перемещаться в пределах сети без ограничений благодаря присвоению пользователю уникального идентификатора.
- Масштабируемость сети. Структура сети на базе протокола SIP позволяет легко ее расширять и увеличивать число элементов.
- Расширяемость протокола. Протокол характеризуется возможностью дополнять его новыми функциями при появлении новых услуг.
- Интеграция в стек существующих протоколов Интернет. Протокол SIP является частью глобальной архитектуры мультимедиа, разработанной IETF. Эта архитектура также включает в себя протоколы RSVP, RTP, RTSP, SDP.
- Взаимодействие с другими протоколами сигнализации. Протокол SIP может быть использован совместно с другими протоколами IP-телефонии, протоколами телефонной сети общего пользования и для связи с интеллектуальными сетями.

SIP – протокол, максимально понятный человеку, поэтому разработка и поддержка программного обеспечения для SIP проще, чем H.323.

Протокол SIP может полностью заменить H.323, дело в том, что на каждое расширение H.323 есть расширение SIP. SIP более гибкий в этом плане (например, при добавлении нового поля, если кто-то его не понимает, оно просто игнорируется). Серьезные аппаратные решения поддерживают и то, и другое. По большому счету H.323 и SIP функционально равнозначны для разработки ВКС решений.

Но переход к SIP не является панацеей от проблем несовместимости между решениями нескольких производителей (при функциональных доработках). Эта проблема присуща любому протоколу на рынке ВКС, включая и H.323.

Заметим, что производители не особо заинтересованы в совместимости платных расширений. Они не могут позволить себе быть полностью несовместимыми, но стараются ограничить совместимость по максимуму – хорошим примером является Microsoft Lync – SIP-соединения ограничены до CIF при гораздо больших теоретических возможностях.

Одним из важнейших моментов является также обеспечение безопасности передаваемых данных. Вопросам безопасности использования протокола SIP посвящён один из разделов RFC 3261. Шифрование сигнального трафика возможно на транспортном уровне через TLS. Кроме того, разработан стандарт SIPS, накладывающий дополнительные соглашения по безопасной передаче данных посредством SIP. Для шифрования мультимедийного контента применяется протокол SRTP.

За счет более простой реализации, по сравнению с H.323, SIP-связь стала популярной VoIP-услугой, предоставляемой многими поставщиками услуг Ин-

тернет-телефонии. Полагаем, что на данном этапе использование протокола SIP является более перспективным, однако и H.323 пользуется достаточно большим спросом.

### 23.5. Программные или аппаратные?

Сейчас при выборе системы видеоконференцсвязи часто встает вопрос: какое решение выбрать, аппаратное или программное? Чем одно отличается от другого, кроме вида исполнения? Программные реализации относительно недавно заняли существенную долю на рынке, не все с ними хорошо знакомы и не всегда хотят их рассматривать, так как сложился стереотип, что ВКС обязательно должна быть аппаратной с большими платными серверами и отдельно стоящими видеотерминалами. Ниже мы расскажем, что же программные решения могут противопоставить аппаратными.

Сегодня преимущества программных ВКС становятся все очевиднее. По данным OSP Data, более трети российских компаний, использующих видеоконференцсвязь, предпочитают программные решения. Существует как минимум четыре очевидных преимущества программных реализаций: стоимость оборудования, «срок жизни» решения, надежность (отказоустойчивость) системы и расширение инфраструктуры. Разберем их по порядку. Сразу оговоримся, что речь пойдет исключительно о профессиональных коммерческих решениях в данной области.

Во-первых, если мы говорим о программном решении, то логично, что нам нужно его на что-то устанавливать. Это могут быть как серверы для виртуальных машин, так и оконечное оборудование в виде различных ПК, планшетов и мобильных устройств. В случае с производителями готовых программно-аппаратных комплексов (ПАК) за вас производитель уже подумал о многом, предложив выбрать устройство из имеющейся линейки. Это удобно с точки зрения «взял-поставил». Однако нужно помнить, что за готовое аппаратное решение вы всегда переплачиваете. Общая стоимость может отличаться как на десятки процентов, так и в разы (все зависит от конфигурации и производителя). Используя программное решение, вы вольны выбирать любое стандартное серийное оборудование: серверы, рабочие станции и мобильные устройства. Это позволяет оптимизировать расходы на внедрение и эксплуатацию системы. Так, в большинстве компаний у сотрудников уже есть современные и сбалансированные по производительности компьютеры, на которые достаточно установить программное обеспечение для проведения сеансов ВКС. Максимум, что им может потребоваться для высококачественной персональной связи, – это качественная внешняя веб-камера и гарнитура. Это стоит несоизмеримо меньше, чем, к примеру, персональный видеотерминал. И при этом гораздо функциональнее, а если сотрудник пользуется ноутбуком, то и мобильнее.

Во-вторых, стоит обговорить «срок жизни» решения. Ни для кого не секрет, что все аппаратные решения имеют определенный жизненный цикл, после которого их нужно менять, так как они устаревают по нормативам производителя и не подлежат обновлению. Модернизировать каждые несколько лет аппаратные решения, мягко говоря, дорого. Из-за этого многие, кто покупают подобные системы, предпочитают эксплуатировать их до полного выхода из строя. А это значит, что в будущем будет все сложнее обновить платформу. Или же она в самый неподходящий момент откажет в работе. Что дальше — замена или ремонт? Как долго ждать новое железо? Чем заменять налаженную видеосвязь? Проприетарное или специализированное оборудование из состава ПАК зачастую заменить чем-то другим невозможно. Сервис не функционирует, а он нужен для работы. Вам повезло, если вы относитесь к VIP-клиентам, число установленных устройств велико, компания регулярно оплачивает премиум-сервис поддержки производителю. Тогда есть хорошие шансы на оперативное решение вопроса. На практике же большинству заказчиков остается надеяться на то, что поддержка будет оказана оперативно и качественно, а логистика отработает необходимые вопросы максимально быстро. Кроме того, тонкий момент состоит в том, что все увязано на внутренние процессы в других компаниях, на которые повлиять достаточно сложно. Стандартных, «базовых» серверов или ПК на рынке очень много, и они всегда в наличии. То есть существует короткий путь решения задачи: оперативная закупка стандартизованного сервера или ПК для быстрого развертывания ключевой части системы. Уровень временных и денежных затрат в этом случае гораздо ниже, чем при форс-мажорной ситуации с заменой платного ПАК с системой.

В-третьих, в случае с аппаратными ВКС одиночный сервер с установленной системой не может полностью обеспечить надежную работу, если сервис, который он предоставляет, важен для компании. Для аппаратных решений это обычно обеспечивается докупкой резервных серверов, дополнительных лицензий, конфигурированием кластеров. Это весомый финансовый расход. Вместо одного сервера вы покупаете два, а то и три, плюс специальные лицензии для отказоустойчивых конфигураций. И еще потребуется соблюдение технических условий для корректной установки и работы кластера. Для программных платформ часть этого функционала могут обеспечить среды виртуализации. К тому же лицензирование для программных решений в ряде случаев предусматривает оплату не за количество серверов в виртуализованной системе, а за число пользователей или подключений. Это существенно упрощает и снижает стоимость обслуживания.

В-четвертых, если компания расширяется, встает вопрос о масштабировании системы видеоконференцсвязи. В готовом ПАК-решении вы «упираетесь» в тот ресурс, который заложил производитель в данную модель. Не всегда имеется бюджет для покупки еще одного сервера в целях расширения инфраструктуры или установки кластера. К тому же многие компании используют серверы с платформами виртуализации, и размещение в стойках дополнительных ПАК всего с одним решением — неэффективная эксплуатация

имеющихся мощностей. С программной платформой вы просто обновляете прошивки вашей виртуальной машины, попутно добавляя ресурсы для обеспечения роста системы и включения в нее нового функционала. Гораздо проще выделить дополнительные ресурсы в общую систему под виртуальную платформу, при этом оптимизируя общие расходы, чем каждый раз менять целый сервер под одно решение. Даже полная замена стандартных серверов (к примеру, в рамках общей модернизации инфраструктуры компании) обойдется дешевле, чем замена специализированных серверов под выделенные системы.

Также следует отметить ситуацию с переездом ресурсов. Если нужно перенести ресурсы решения с одной локации на другую, то гораздо проще перенести виртуальные машины или клиентскую установку с одного сервера/ПК на другой, нежели везти целый кластер серверов из одного конца страны в другой.

В итоге мы можем наблюдать следующую тенденцию: снижение количества продаж аппаратных решений, рост продаж программных решений и за счет этого снижение средней стоимости внедрения системы ВКС (согласно данным Gartner, Wainhouse Research, IDC и Forrester Research).

По данным опросов OSP Data, из тех компаний, что уже используют системы ВКС, в 2016 г. в РФ на аппаратные MCU (Multipoint Control Unit) приходится порядка 55%, а на программные — 32,5%. Но если учесть, что последние появились относительно недавно, то это серьезный тренд. Почти 2/3 респондентов пользуются программными клиентами для ПК, и почти треть — для мобильных устройств на Android и iOS. Кроме того, набирает популярность использование браузеров и технологии коммуникаций в реальном времени Web RTC (Real-time communications).

Другое, не менее важное направление в развитии систем видеоконференций – создание специализированных вертикальных решений, встраивание их в прикладные программные комплексы. Пример вертикального решения – система для организации дистанционного обучения. ВКС в такой системе уже не является самоцелью, а лишь одной из сервисных функций, обеспечивающей нужный уровень коммуникаций для учебных процессов. Одним из ярких представителей таких систем является Mirapolis Virtual Room – одно из наиболее развитых и современных решений для видеоконференцсвязи. Также на базе Mirapolis VR построена комплексная система дистанционного обучения и организации учебного процесса Mirapolis Knowledge Center.

Новая волна массового использования программных ВКС связана с появлением облачных сервисов видеоконференцсвязи. В первую очередь эти сервисы используются потребителями для проведения вебинаров и различного вида видеопрезентаций.

Каков принцип реализации облачных ВКС? Сервер ВКС, а также всю инфраструктуру, которая потребуется для организации сеансов ВКС, предоставляет провайдер или т. н. «облачный сервис», который сам контролирует и под-

держивает работу сервера видеоконференций, а терминалы ВКС находятся в сети заказчика. У себя заказчик устанавливает только клиентское приложение.

Производители систем ВКС активно ведут работу и над облачными решениями. В России компании TrueConf, SPIRIT являются первыми в реализации облачных сервисов. Компания Orange Business Services с 2011 года представила свой облачный сервис Open Videopresence, который ориентирован на стандарт H.323, позволяет применять H.323-совместимые терминалы разных производителей, таких, как Cisco, Polycom, Sony, Radvision. Сервис Open Videopresence поддерживает подключение к ВКС при помощи программного клиента, который возможно установить на ПК, ноутбук, а также на смартфоны и планшеты на базе iOS и Android.

Упомянутая уже система Mirapolis Virtual Room может успешно использоваться и в режиме облачного сервиса, позволяя строить частные и публичные облака, обеспечивающие требуемый функционал и уровень сервисов видеоконференцсвязи.

Из зарубежных компаний, работающих над облачными решениями ВКС, можно назвать LifeSize, Cisco. У Cisco реализован алгоритм масштабируемого кодирования SVC, дающий системе адаптировать качество видеосигнала в зависимости от характеристик имеющегося интернет-канала. Уже в 2012 году свою облачную стратегию анонсировала Polycom. В планах многих зарубежных компаний предоставление облачных сервисов и на Российском рынке.

Итак, облачное решение осуществления ВКС – это гибкое решение, предлагающее малым компаниям и частным лицам возможность не тратить время и ресурсы на контроль над собственной ВКС-инфраструктурой. Это довольно экономичное решение осуществления ВКС. Оно привлекательно для тех случаев, когда ценность передаваемой информации не столь велика или не представляет интереса для третьих лиц, так как уровень информационной безопасности облачных сервисов ВКС пока ещё вызывает сомнения.

Благодаря серьезным преимуществам программные решения в настоящее время развились до того уровня, когда уже составляют серьезную конкуренцию недавней гегемонии производителей аппаратных решений для ВКС. На программные решения стоит обратить внимание тем, кто подбирает себе систему или же планирует ее обновление, и взвесить все «за» и «против». Возможно, изучив новые решения на основе программной реализации, вы взглянете на системы ВКС иначе.

## Список литературы, использованной при подготовке пособия

1. Донни ОКвин. Допечатная подготовка. Руководство дизайнера.– М.: Вильямс, 2002. – 592 с.
2. Ефимов А.П. Психофизиология вещания. – М.: МТУСИ, 2004.–196 с.
3. Алексей Шадрин, Андрей Френкель. Color Management System (CMS) в логике цветowych координатных систем. [Электронный ресурс] // <http://www.rudtp.ru/articles.php?id=5> (дата обращения: 25.04.2016).
4. Г.П.Катунин. Аудиовизуальные средства мультимедиа. Учебное пособие/ СибГУТИ.– Новосибирск, 2009. – 742 с.
5. Мамчев, Г.В. Цифровое телевизионное вещание : учеб. пособие для вузов / Г.В. Мамчев.– М. : Горячая линия – Телеком, 2014 .– 449 с.
6. Мамчев Г.В. Устройства воспроизведения телевизионных и компьютерных изображений.– Новосибирск.: СибГУТИ, 2004.–258 с.
7. Б.Фрейзер, К.Мэрфи, Ф.Бантинг. Управление цветом. Искусство допечатной подготовки. Киев.: ТИД «ДС», 2003.– 464 с.
8. Что такое IT8? [Электронный ресурс] // <http://www.realcolor.ru/lib/it8-7/index.shtml> (дата обращения: 25.04.2015).
9. Давид Мзареулян. Неизвестный RAW. [Электронный ресурс] [http://www.hiero.ru/article.php?id= unknown\\_raw](http://www.hiero.ru/article.php?id= unknown_raw) (дата обращения: 25.04.2016).
10. Мамчев Г.В. Основы цифрового телевидения. Учебное пособие.– Новосибирск.: СибГУТИ, 2003.–248 с.
11. Виды компьютерной графики и форматы изображений. [Электронный ресурс] // [http://www.compbegin.ru/articles/view/\\_77](http://www.compbegin.ru/articles/view/_77) (дата обращения: 01.08.2016).
12. Турицын Андрей. Матрица фотоаппарата. [Электронный ресурс] // [www.64bita.ru](http://www.64bita.ru) (дата обращения: 03.01.2016).
13. Типы матриц фотоаппаратов. [Электронный ресурс] // [http://www.fotik-city.ru/articlereview/matrix\\_types](http://www.fotik-city.ru/articlereview/matrix_types) (дата обращения: 01.04.2016).
14. Типы цифровых фотоаппаратов. [Электронный ресурс] // <http://vasili-photo.com/articles/digital-camera-types.html#ixzz433nsJLpi> (дата обращения: 12.09.2016).
15. QWERTY – не приговор. Необычные раскладки клавиатуры, которыми пользуются земляне. [Электронный ресурс] // <http://neobychno.com/20226/> (дата обращения: 11.08.2016).

16. Основы мониторинга. [Электронный ресурс] // <http://podberimonitor.ru/article/articles/osnovy-monitorovedeniya-tipu-matric> (дата обращения: 20.09.2016).
17. Работа плазмы. [Электронный ресурс] // <http://rem-tv.net/publ/3-1-0-39> (дата обращения: 01.07.2016).
18. Михаил Крюков. Технология OLED: несбывшиеся надежды. История вопроса. [Электронный ресурс] // <http://www.avclub.pro/articles/av-likbez/> (дата обращения: 21.06.2016).
19. Мультимедийные технологии в образовании: Проекционное оборудование. Методические указания. Омск. Издательство ОмГТУ, 2010.
20. Устройство проекторов. [Электронный ресурс] // <http://www.thg.ru/display/> (дата обращения: 14.11.2016).
21. Устройство проектора LCD, DLP, CRT, D-ILA. [Электронный ресурс] // [http://leaterplus.com.ua/ru/arenda\\_docs/405/detail.php?ID=234](http://leaterplus.com.ua/ru/arenda_docs/405/detail.php?ID=234) (дата обращения: 22.03.2016).
22. Пико-проектор – кинотеатр, который всегда с тобой. [Электронный ресурс] // <http://elektrozon.ru/?p=109> (дата обращения: 25.02.2016).
23. Как выбрать проектор. Современные проекторы. [Электронный ресурс] // <http://www.viking.ru/info/projector.php> (дата обращения: 12.03.2016).
24. Принцип работы лазерного принтера. [Электронный ресурс] // <http://bestcom-sc.ru/?p=60133> (дата обращения: 11.04.2016).
25. 3D-печать. [Электронный ресурс] // [http://3dtoday.ru/wiki/3dprint\\_basics/](http://3dtoday.ru/wiki/3dprint_basics/)
26. Классификация 3D принтеров. <https://geektimes.ru/post/208906/> (дата обращения: 12.05.2016).
27. Глоссарий терминологии в трехмерной графике и видео. [Электронный ресурс] // <http://mason-music.ru/index.php/component/k2/item/431> (дата обращения: 14.06.2016).
28. Кодировка текста ASCII (Windows 1251, CP866, KOI8-R) и Юникод (UTF 8, 16, 32). [Электронный ресурс] // <http://ktonanovenkogo.ru/vokrug-da-okolo/> (дата обращения: 15.07.2016).
29. Комбинирование шрифтов теория и практика. [Электронный ресурс] // <http://arwix.net/combining-typedefaces/> (дата обращения: 16.04.2016).
30. Маскарад символов. [Электронный ресурс] // <https://хакер.ru/2010/11/08/53553/> (дата обращения: 16.04.2016).



31. Психология восприятия рекламы. [Электронный ресурс] // <http://login.ru/articles/psikhologiya-vozpriyatiya-reklamy/> (дата обращения: 17.05.2016).
32. Ликбез – современные музыкальные носители. [Электронный ресурс] // <http://www.hifinews.ru/advice/> (дата обращения: 13.10.2016).
33. Оpus и MP3: вместо или вместе? [Электронный ресурс] // <http://www.nestor.minsk.by/kg/2013/> (дата обращения: 01.09.2016).
34. Какой объем у звука. [Электронный ресурс] // <http://www.technofresh.ru/technology/poligon/surround-sound-formats.html> (дата обращения: 12.11.2016).
35. Форматы многоканального звука. [Электронный ресурс] // <http://www.avreport.ru/> (дата обращения: 14.11.2016).
36. PАЗ, ДВА... МНОГО! [Электронный ресурс] // <http://www.salonav.com/arch/2006/08/070-074.html> (дата обращения: 15.08.2016).
37. Что такое DTS:X, или Перестаньте считать колонки. [Электронный ресурс] // <http://stereo.ru/to/txee1> (дата обращения: 18.03.2016).
38. История развития форматов видеосжатия. [Электронный ресурс] // <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/133198/> (дата обращения: 24.09.2016).
39. Просто о SIF-e. [Электронный ресурс] // [http://mysif.ru/O\\_SIF.htm](http://mysif.ru/O_SIF.htm) (дата обращения: 22.09.2016).
40. Сущности MPEG. [Электронный ресурс] // <http://www.osp.ru/nets/2000/06/141187/> (дата обращения: 24.09.2016).
41. Видеоконференции и системы коллективной работы. [Электронный ресурс] // <http://www.intuit.ru/studies/courses/13858/1255/lecture/23974?page=3> (дата обращения: 01.08.2016).
42. Обзор технологий видеоконференций, видеотрансляций, вебинаров. [Электронный ресурс] // <https://k.psu.ru/centre/node/114> (дата обращения: 11.08.2016).
43. Видеоконференция. [Электронный ресурс] // <http://trueconf.ru/videokonferenciya.html> (дата обращения: 25.09.2016).
44. Михаил Чернецкий. Психоакустические процессоры – что это такое // Звукорежиссёр.–1999.– №8.
45. Сергей Алёхин. Общие принципы звукоусиления в концертных залах // Звукорежиссёр.–1999.– №1,3,4,7.
46. Семёнов Ю.А. Методы сжатия информации. [Электронный ресурс] // [book.iter.ru](http://book.iter.ru) (дата обращения: 25.12.2015).

Учебное издание

Г.П. Катунин

ОСНОВЫ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

Учебное пособие

Корректор: *Гончарова И.Л.*

---

Принято редакционно-издательским советом № 2 от 07.11.2017,  
подписано в печать 30.11.2017,  
п. л. 49,6, заказ № 149, 794 стр., электронная версия – 10,5 Мб

Редакционно-издательский отдел СибГУТИ  
630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, офис 105  
тел. (383) 269-83-56