

**С.И. Коробанов**

**О С Н О В Ы  
МУЗЫКАЛЬНОЙ  
ИНФОРМАТИКИ**

*Курс лекций*

2009

УДК 78:004.9(075.8)  
ББК 74.268.53р30с515я73  
К68

Автор: преподаватель кафедры теории музыки и музыкального инструмента УО «ВГУ им. П.М. Машерова», магистр искусствоведения **С.И. Коробанов**

**Р е ц е н з е н т ы:**

заведующий кафедрой хорового дирижирования и вокала УО «ВГУ им. П.М. Машерова», кандидат педагогических наук, доцент *С.А. Карташев*; инженер системных интеграций ЗАО «БелSoft» *С.В. Лакисов*

В данном учебном издании рассматриваются теоретические основы подготовки учителей к использованию музыкальных компьютерных технологий в школе. Курс лекций является учебным обеспечением дисциплины «Музыкальная информатика».

Предназначается для студентов дневной и заочной форм обучения, учителей музыки, руководителей творческих объединений школы и факультативов по музыкальной информатике.

УДК 78:004.9(075.8)  
ББК 74.268.53р30с515я73

© Коробанов С.И., 2009  
© УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2009

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
I. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МУЗЫКАЛЬНОМ ИСКУССТВЕ .....	6
1.1. Исторические предпосылки использования компьютер- ных технологий в музыкальном искусстве .....	6
1.2. Проблемы качества исполнения и обработки музыки средствами компьютерных технологий .....	12
1.3. Качество звучания: взаимодействие творческого замыс- ла, реализации и оценки слушателя .....	17
II. АППАРАТНАЯ ПОДДЕРЖКА РАБОТЫ СО ЗВУКОМ НА КОМПЬЮТЕРЕ .....	20
2.1. Традиционная или компьютерная студия: Pro e Contra ....	20
2.2. Общая конфигурация компьютера и устройства для до- машней студии .....	23
2.3. Классификация и элементы звуковых карт .....	25
III. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВНЕШНИХ МУЛЬТИ- МЕДИЙНЫХ УСТРОЙСТВ И НОСИТЕЛЕЙ .....	29
3.1. MIDI-клавиатуры – исполнительские ощущения и музы- кальные возможности .....	29
3.2. Микрофон: характеристики, функции, цели .....	33
3.3. Внешние звуковые модули, их виртуальные аналоги .....	35
3.4. Цифровой интерфейс .....	38
3.5. Стандартные носители звуковой информации .....	39
IV. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ СО ЗВУКОМ НА КОМПЬЮТЕРЕ .....	43
4.1. Проблемы классификации и оценки музыкальных про- граммных средств .....	43
4.2. Основные направления использования компьютерных музыкальных технологий .....	48
4.3. Краткая характеристика музыкальных программных средств	54
4.4. Подключаемые модули (plug-in) и их функции .....	62
4.5. Понятие интерфейса. Типы музыкальных файлов, их программная совместимость .....	64
V. ЗВУК И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ .....	69

5.1. Понятие звука и его параметров .....	69
5.2. Физические основы аналоговой звукозаписи .....	74
5.3. Звуковые стандарты .....	75
<b>VI. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ С ЦИФРОВЫМ ЗВУКОМ (digital audio) .....</b>	<b>83</b>
6.1. Понятие оцифровки и методов обработки звука .....	83
6.2. Понятие звукового синтеза .....	88
6.3. Семплирование: звуковая петля, огибающая .....	98
6.4. Фильтры и звуковые эффекты .....	102
<b>VII. ОСНОВЫ MIDI-ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>107</b>
7.1. Понятие MIDI-интерфейса .....	107
7.2. MIDI-сообщения как основной элемент технологии. MIDI-секвенция .....	110
7.3. Стандарты General MIDI, GS, XG .....	115
7.4. Возникновение и функциональные возможности MIDI- секвенсеров .....	118
<b>СПИСОК ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>122</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время компьютер является неотъемлемой частью жизненного уклада. Он доступен, не требует специальных знаний для управления им и позволяет решать различные прикладные задачи – работу с текстами и графикой, функции управления различными бытовыми приборами, переписка и доступ к Интернет, прослушивание и просмотр компакт-дисков, игры и, конечно же, работа со звуковой информацией. Значительной областью современных информационных технологий являются музыкальные компьютерные технологии, которые в настоящее время становятся одним из инструментов профессиональной деятельности учителя музыки.

Область музыкальных компьютерных технологий развивается стремительными темпами. Ресурсы Internet пестрят ссылками на страницы и форумы по работе со звуком, происходит появление и обновление существующих программ. Широкое многообразие музыкальных программ, отсутствие багажа специальных технологических знаний и умений в данной области ставит перед начинающим пользователем проблему поиска и отбора как программных средств для воплощения творческих замыслов, так и аппаратного обеспечения звуковой студии на базе компьютера. Кроме того, студенты музыкально-педагогических специальностей не являются специалистами в области информационных технологий, что также значительно затрудняет овладение основами музыкальных программных средств.

Данное учебное издание представляет собой попытку обобщения теоретических знаний о музыкальных программных средствах в виде курса лекций. Каждая лекция освещает наиболее значимые разделы музыкальных компьютерных технологий – исторические предпосылки их использования, аппаратное и программное обеспечение работы со звуком на компьютере, технологии цифрового звука и MIDI и т.д. В издании освещены как значительные изобретения в области музыкальных про-компьютерных технологий, так и их значение в появлении качественно новых категорий и понятий. Отмечены важнейшие аналоговые технологии и их последующая реализация на программном уровне, анализируются предпосылки возникновения целых классов программ, дается краткая характеристика оборудования и программного обеспечения музыкального творчества на компьютере. Также в издании проводится анализ проблем и основных вопросов развития музыкальных компьютерных технологий; предлагаются рекомендации по анализу, оценке и отбору программных средств для их изучения; дается краткая характеристика аппаратного и программного обеспечения.

Курс лекций будет способствовать систематизации знаний о музыкальных компьютерных технологиях, формированию ценностных ориентаций в области использования этих технологий, накоплению теоретического багажа для организации учебно-воспитательного процесса в соответствующей области в школе.

# I. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МУЗЫКАЛЬНОМ ИСКУССТВЕ

## 1.1. ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МУЗЫКАЛЬНОМ ИСКУССТВЕ

Технологические изобретения человечества дали толчок к появлению новой эры электричества, что дало возможность использовать в различных устройствах и приборах новейшие принципы взаимодействия элементов – электрический ток начал все больше вытеснять простейшую механику колеса и рычага. Новая эра повлияла и на такую нетехнологическую область человеческой жизнедеятельности, как искусство. Порой, использование электричества в искусстве носило хаотичный характер, а курьезные изобретения, зачастую, так и оставались некоей механической шуткой в истории. Однако, этот опыт помог музыкантам и инженерам по иному взглянуть на возможности этой новой технологии для решения традиционных задач искусства. Исторически сложилось несколько основных направлений, в русле которых делались попытки приспособить электричество к музыкальным задачам:

– **поиск новых звучаний** (синтез звука, история которого началась задолго до эры электричества);

– **поиск средств записи музыкальных произведений** (от фонографа и механических устройств записи и тиражирования нотных партитур);

– **поиск средств управления инструментами** (реализация вечной мечты – заменить оркестр одним человеком).

Многие удачные решения таких задач впоследствии нашли свое отражение в различных программных модулях.

Изобретение и использование электронно-механических музыкальных инструментов, на которых можно было извлечь новые, непривычные тембры, началось задолго до распространения компьютеров. К тому времени уже были изобретены «телармониум» Т. Кахилла (1900), «поющая дуга» В. Дуддела (1899), «гальваническая музыка» Ч. Пейджа (1837) и даже работающий на статическом электричестве «электроклавиесин» Ла Борде (1759). Но вот в 1919 году советский инженер и музыкант Лев Сергеевич Термен изобрел свой знаменитый инструмент «терменвокс», который принято считать *первым* элек-

*тромзыкальным инструментом, или по крайней мере – первым значительным изобретением в развитии электронной музыки.*

*Терменвокс предназначен для исполнения одноголосных мелодий с помощью движений рук в пространстве: приближение руки к вертикальной (расположенной справа) антенне вызывает повышение звука, а приближение к горизонтальной (левой) антенне – уменьшение его громкости. Как правило, терменвокс использовался для исполнения классических мелодий; до недавнего времени композиторы почти не писали музыку специально для этого инструмента, и не использовали по-настоящему его возможности. И только в последние годы они вспомнили об этом интересном инструменте, причем во многом благодаря исполнительнице и неординарному композитору Л. Кавиной.*

В 1928 году появился еще один эпохальный электронный инструмент – **траутониум**, изобретенный Ф. Траутвайном. В качестве устройства ввода здесь вместо клавиатуры использовались грифы. А в 1935 году Л. Хаммонд изобрел свой знаменитый **электроорган**.

В 1954 году американский инженер Роберт Муг (Robert Moog) написал статью о русских терменвоксах и получил тысячи заказов на создание этого инструмента. Будучи хорошим инженером, Р. Муг основывает фирму по изготовлению терменвоксов и потихоньку на его базе начинает изобретать свой инструмент. Наконец, в 1964 году появился знаменитый синтезатор Роберта Муга. Кстати, в современных компьютерных программах и цифровых инструментах до сих пор часто встречается имитация звучания этого синтезатора, который так и назывался – **Moog**.

В 1955 году появился аналоговый синтезатор RCA, в 1962 году Дональд **Букл** сконструировал бесклавиатурный синтезатор, обладающий широкими возможностями синтеза.

*Практическая работа с этим синтезатором заключалась в соединении различных модулей проводами и регулировке параметров с помощью обычных потенциометров.*

В СССР интерес к подобным изобретениям также не ослабевал. Вехами в истории музыкального синтеза здесь было создание двух эпохальных инструментов – **экводина**, изобретенного А. Володиным, и «оптического синтезатора» **АНС Е. Мурзина**.

*Экводин, созданный для имитации тембров акустических инструментов, обладал помимо всего прочего чувствительной клавиатурой, способной отрабатывать изменение давления на клавишу после ее нажатия (то, что потом назовут «aftertouch» – «послекасание»).*

В 1929 году Е. Шолпо создает первый в мире синтезатор **Вариофон**, на котором графическое изображение переводилось в звук. В 50-е годы инженером Е. Мурзиным был создан синтезатор **АНС**, названный в честь русского композитора А. Скрябина. Этот инструмент развивает идеи Е. Шолпо и до сих пор хранится в Московской консерватории.

*У АНСа входным устройством являлся своеобразный «графический планшет» из прозрачного материала с нанесенным на него слоем специальной незасыхающей мастики. С помощью особой палочки в слое этой мастики прорисовывались*

*точки и линии. Затем рисунок оптическими методами переводился в звук. Впоследствии эту идею неоднократно реализовывали в виде компьютерных программ перевода графики в звучание, например «Kandinsky Music Painter» (для MIDI-событий), система Яниса Ксенакиса «U-Pic» (уже работающая на уровне аудио).*

Как видим, первые синтезаторы практически не имели устройств ввода типа фортепианной клавиатуры. Целесообразность использования таких устройств в системах синтеза вообще ставилась под сомнение. А частота генераторов регулировалась с помощью ручек или движков. Появлялись и довольно оригинальные устройства ввода, например набор из металлических пластинок, прикосновение к каждой из которых вызывало изменение частоты генератора. Силой давления руки на пластинку можно было контролировать какой-либо другой параметр.

С появлением компьютеров, в истории звукового синтеза открылась новая страница, хотя поначалу это было не так очевидно. Никто, кроме работавших на больших машинах экспериментаторов, и не помышлял о создании музыки с помощью компьютера, тем более что звуковые возможности компьютеров, были сильно ограничены. Звук использовался как сигнал оповещения, например, при какой-либо ошибке системы или при завершении компьютером долгих подсчетов. Весьма показательно, что в большинстве языков программирования высокого уровня, как правило, не предусматривалось каких-либо возможностей для управления звуком (все ограничивалось подачей стандартного звукового сигнала вроде «beep»). Затем появились программы, произносящие вполне отчетливые слова и играющие отдаленное подобие музыки, слушаемой через водосточную трубу.

Так было, пока за дело не взялись разработчики компьютерных игр (вообще говоря, многие передовые компьютерные технологии были впервые разработаны именно для игр). Компьютерные игры довольно быстро научились даже при помощи встроенного громкоговорителя издавать что-то вроде выстрелов и взрывов. А вслед за производителями игр, которые пытались хоть как-то «разукрасить» свое произведение звучащей из «пищалки» одноголосной мелодией, некоторые энтузиасты начали создавать что-то вроде музыкальных редакторов. Ведь в большинстве случаев мы с вами слышим только те звуки, которые были, как говорится, заложены при разработке той или иной программы, а между тем многим хотелось гораздо большего. Все это было вполне возможно – при наличии требуемых аппаратных средств и/или программ, а главное – знаний о способах извлечения нужных звуков из такого вроде бы немзыкального устройства, как компьютер. В свое время появилась весьма популярная впоследствии программа для компьютера БК-0010, способная воспроизводить, пусть и недостаточно качественно, трехголосную музыкальную фактуру. Музыканты же, страстно желавшие «улучшить» звучание компьютера,



пытались управлять тембром с помощью языка программирования – ассемблер (рис. 1.1.1) или, позднее, C-Sound – музыкального языка

```

NOTA:  MOU    R5,R1
1#:    BIS    #200,@#177716
        SOB    R1,1#
        MOU    R5,R1
2#;    BIC    #200,@#177716
        SOB    R1,2#
        RTS    PC

NO1:   MOU    #127,R5
        JSR    PC,NOTA
        RTS    PC

NO2:   MOU    #176,R5
        JSR    PC,NOTA
        RTS    PC

NO3:   MOU    #240,R5
        JSR    PC,NOTA
        RTS    PC

```

программирования в чистом виде, который успешно применяется и по сей день.

Так на пользовательской ниве появилась благодатная почва для появления специальных звуковых устройств. В частности, для того же БК-0010 (кстати, довольно популярной в свое время машины) музыкант и программист Д. Жалнин разработал специальный шестиголосный синтезатор «Синти-6», собранный на основе двух тактовых генераторов.

*Это устройство присоединялось к внешнему разъему компьютера и к акустической системе и позволяло воспроизводить шестиголосную музыкальную фактуру довольно приятным (по сравнению со звуком*

Рис. 1.1.1. Управление звуком на БК-0010.

*стандартного динамика), хотя и примитивным тембром, отдаленно напоминавшим звук кларнета. Управляющая им программа было недостаточно удобна (рис. 1.1.2), хотя этот «язык» общения с компьютером стал музыкантам уже гораздо ближе.*

```

04,L4,C,ES,G,ES,L2,F,L4,ES,D,L2,G,F,L1,C,L4,ES,G,
B,B,05,L2,C,L4,04,B,AS,L1,G,L2,A,H,05,L4,D,C,04,L1,
G,L4,ES,C,G,F,L1,AS,L4,B,AS,L2,G,L4,F,ES,L2,G,F,L1,C

```

Рис. 1.1.2. Управление звуком на синтезаторе «Синти-6».

С появлением звуковых карт компьютер обрел способность звучать в полной мере. Появилась возможность записывать и воспроизводить любые звуковые фрагменты, работать с MIDI-последовательностями. Даже пользователи, не имеющие специального музыкального образования, стали использовать звуковую карту для игр и озвучивания различных событий Windows.

Наличие большого количества музыкантов-непрофессионалов, обладающих большим творческим любопытством и поиском новых звучаний с помощью компьютера и не только, а также определенное противоречие между «музыкальным техницизмом» и «музыкальностью», привели к появлению т.н. *концепции системы управления партитурой*. Все мы знаем, что музыкант-профессионал, вложивший уйму времени и сил в овладение техникой исполнения на каком-либо инструменте в совершенстве, часто испытывает затруднения в вопро-

се художественной интерпретации музыкального произведения. И наоборот, человек, не владеющий тем или иным инструментом в достаточной степени или вовсе не умеющий на нем играть, иной раз способен на собственное неординарное видение музыки. Однако донести свою исполнительскую концепцию до слушателей он никак не может из-за технических трудностей исполнения.

Чтобы помочь последним реализовать себя как исполнителя или даже композитора (людей, любящих музыку ведь гораздо больше, чем музыкантов-профессионалов), необходимым был некий «облегченный» вариант музицирования. С течением времени, в данной области музыкальной информатики определилось несколько основных направлений. **Первым** из них было создание независимых электромеханических устройств для создания-исполнения музыки, как упоминаемый выше терменвокс и аналоговые синтезаторы. Впоследствии появились устройства, работающие в связке с компьютерными ресурсами. Одним из ярких примеров является изобретение американского инженера, программиста и музыканта Макса Мэтьюза (*Max Matthews*), названное впоследствии «радиобатон».

*Визуально радиобатон представляет собой небольшой прямоугольный ящичек с MIDI-входом и выходом. Под верхней крышкой этого «ящичка» находятся пять датчиков (четыре – по углам и один в центре), которые следят за перемещением двух специальных палочек. С компьютера в «радиобатон» загружалась MIDI-партитура, в которой в особом формате определены параметры для их управления в реальном времени. С помощью двух палочек можно произвольно изменять во время исполнения шесть любых заранее заданных параметров: каждая палочка регулирует одновременно три параметра, перемещаясь в пространстве по трем осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ .*

Фактически, устройство М. Мэтьюза позволяло пользователю быть дирижером произведения, без необходимости иметь профессиональные навыки исполнения на музыкальном инструменте. Продолжением идеи Мэтьюза стала «управляющая перчатка» (*PowerGlove*) Ричарда Буланже. Здесь параметры MIDI-партитур можно регулировать не только перемещением руки в пространстве, но и сгибанием пальцев, причём каждый палец может контролировать отдельный параметр.

**Вторым** направлением стало программирование музыкального материала. В этом случае пользователь имел дело с минимумом «вложения», например, мог выбрать один аккорд, ритм или написать гармонический ряд с помощью буквенных обозначений. Остальное делала компьютерная программа или секвенсер: проигрывался или менялся ритм, раскладывались буквенные обозначения в звучащий музыкальный материал, текст песни расставлялся соответственно мелодии и т.д. В настоящее время примером такого программирования является функция автоаранжировщика, применяемая в огромном количестве музыкальных программных продуктов различного назначения.

В некоторых случаях программирование было продумано и реализовано настолько глубоко, что диалог «человек–машина» превращался во взаимодействие «человек–машина–человек», то есть в интерактивное музицирование. Здесь именно исполнитель, а не композитор становился главным «действующим лицом» музыкального произведения. Имея возможность выбора первоначальных звуков пьесы (которые могут быть, разумеется, до некоторой степени регламентированы композитором), исполнитель фактически строит композицию в соответствии со своим творческим видением.

*Например, существует и широко используется такая схема: исполнитель начинает играть на каком-либо инструменте; компьютер «реагирует» на его исполнение, исполняя соответствующие звуки; исполнитель, в свою очередь, отвечает на сыгранное компьютером и т.д. Каждый вариант исполнения такой пьесы может сильно отличаться от остальных, причем не только традиционными параметрами темпа, громкости отдельных звуков и т.п., но также и расположением и количеством звуков. В этом случае «твердую основу» композиции составляет не зафиксированный нотный текст, а алгоритм взаимодействия компьютера и исполнителя. В качестве примера можно привести программу МАХ, разработанную в парижском центре электронной музыки IRCAM.*

**Третьим** направлением «упрощенного» музицирования стала реализация идеи конструктора, когда из кирпичиков-кусочков музыкальных фрагментов пользователь мог выстроить целое музыкальное произведение. Здесь вообще не нужны были познания в музыкальной грамоте или в программировании, не было необходимости иметь какие либо дополнительные устройства, кроме компьютера, программы и банка музыкальных фрагментов-семплов. Ярким примером данного направления стал класс программ-семплеров, в простейшем случае – программ-дансмейкров.

Использование компьютерных технологий в музыкальном искусстве стало настолько значимым явлением, что для изучения данной области начали создаваться и работать ряд крупных студий и учреждений по всему миру. В 60-х годах при консерватории в Москве открывается Экспериментальная студия электронной музыки, в которой работали такие музыканты и композиторы, как Э. Артемьев, А. Волконский, А. Шнитке, С. Губайдулина, Э. Денисов, А. Немтин. Открываются специализированные кафедры и отделы в институтах и академиях музыки (Вычислительный центр в МГК им. П. Чайковского, Термен-центр, компьютерные классы Магнитогорской, Ростовской-на-Дону, Уральской консерватории и т.д.).

В настоящее время за рубежом работают крупнейшие центры по проблемам музыкальной информатики – Институт исследований и координации акустики-музыки при центре имени Жоржа Помпиду в Париже, Центр компьютерных исследований в музыке Стенфордского университета и Центр музыкального эксперимента Калифорнийского

университета в Сан-Диего. В области музыкальной информатики можно отметить работы таких деятелей, как Ж. Риссе (Франция), Л. Уиллер (США), Ч. Додж (США), М. Кёниг (Нидерланды), Р. Ружичка (Чехословакия), С. Цоллер, П. Живайкин, А. Загуменнов, Р. Петелин и Ю. Петелин, А. Павленко (Россия), сочетающих в себе качества ученых, музыкантов, композиторов и организаторов. Одной из ярких фигур является композитор, основатель центра математической и автоматической музыки в Париже Янис Ксенакис, который выдвинул идею приложения математических теорий в композиции и привлечения для этого средств информатики и вычислительной техники.

## **1.2. ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ИСПОЛНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МУЗЫКИ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Многие музыканты, привыкшие к работе на синтезаторах и аналоговых устройствах, с «живыми» акустическими инструментами, чаще всего с опаской приступают к работе с компьютерными музыкальными системами. На это есть ряд причин. **Во-первых**, последовательность действий и, отчасти, принципы работы с компьютерными системами отличаются от соответствующих параметров «обычной» работы. В частности, если у пользователя, например вчерашнего диджея школьной самодеятельности уже есть опыт работы с аналоговой аппаратурой, то наверняка он привык мгновенно «физически» реагировать на то или иное звучание, полагаясь на свою интуицию, а также каждый раз получать новый результат, совершенно непохожий на предыдущий. В этом случае, скорее всего, ему трудно будет перейти к визуально-цифровому описанию звука в компьютерной системе, а необходимость совершенно точно выверить параметры для каждого отдельно взятого участка музыки может поначалу его даже раздражать. На это можно ответить, что точный подбор параметров и четкая фиксация каждого промежуточного результата способны дать более качественный результат, причем, как правило, за более короткое время.

**Вторая причина** неохотного перехода на компьютерные системы – «недоверие» большинства традиционных музыкантов к компьютеру, которое происходит в большинстве случаев из незнания положения вещей на сегодняшний день. Даже признавая значимость компьютера в современной жизни, у многих музыкантов до сих пор бытует мнение, что «работа со звуком на компьютере – это что-то очень сложное и непонятное», и вообще для этого «необходимо программировать и знать технический иностранный язык». Конечно, существуют и системы музыкального программирования, но сегодня компьютер по управлению не сложнее многих бытовых приборов (музыкальных центров, телевизоров, СВЧ-печей и т.п.). Проблему иностранного

языка также нельзя сбрасывать со счетов, однако многие музыкальные программы достаточно наглядны и интуитивно понятны, поэтому все сложности, с которыми придется столкнуться, больше относятся к операциям со звуком вообще, а не к управлению компьютером.

Иногда «недоверие» музыкантов к компьютеру приобретает такие странные формы: «Компьютер портит звук... Звук что-то теряет, становится более сухим и т.д.». Все это – исключительно предрассудки. Конечно, строго говоря, звук «портит» любая звукозапись, в том числе и компьютерная, но магнитофонная пленка в свое время «портила» его гораздо сильнее.

Возможно, после записи в компьютер звук воспроизводился через другую акустическую систему и, соответственно, звучал по-другому (не обязательно хуже), но из-за общего недоверия к компьютерным системам музыкант сразу воспринял это изменение звучания как ухудшение. Ну и, наконец, может иметь место **третий** случай, когда музыкант «от кого-то слышал» мнение о недостатках «компьютерного звука». В этом случае можно рекомендовать только попробовать самому.

Компьютерные системы предоставляют музыканту гораздо большие возможности и удобство управления, чем традиционные средства, и поэтому позволяют за меньшее время достичь лучшего результата. В графу «против» поставить практически нечего, ну разве что старые привычки, нежелание учиться чему-то новому, а также необходимость поиска и настройки аппаратных и программных средств, от которых зависит качество звука.

В основном можно выделить пять технических (аппаратных) параметров качества:

**1. Точность имитации акустических инструментов при помощи электронных.** Это – самое слабое место в электронном исполнении музыки; удовлетворительного решения пока не найдено. Естественность звучания акустических тембров в синтезаторах зависит в основном от двух факторов: *подобия тембров* (спектральные характеристики звука) и *подобия динамических характеристик* (т.н. исполнительские воздействия – щипок струны гитары или арфы, касание смычком струн виолончели, перегиб грифа и т.п.), причем последние психоакустические исследования показывают, что даже великолепно оцифрованный инструмент без свойственных ему исполнительских воздействий звучит неестественно, а плохая оцифровка или даже имитация тембра, имеющая характерные признаки игры на данном инструменте воспринимается слухом, как гораздо более похожая. В большинстве случаев наиболее полную информацию о характере звучания несет фаза *атаки звука* (момент взятия звука на инструменте), на которой сильнее всего отражается применяемый при игре способ звукоизвлечения. Когда оцифровка инструментов выполняется полностью (от

начала атаки) – полученное звучание уже несет в себе примененный при записи метод звукоизвлечения. При этом отдельные звуки звучат достаточно естественно, однако они всегда имеют характер однажды записанного инструмента и с трудом поддаются изменению, отчего приходится иметь множество оцифровок с разным характером звукоизвлечения, как отдельных звуков, так и целых музыкальных фраз.

**2. Ощущение «живого» исполнения. Определяется свойствами инструмента и тщательностью проработки партитуры.** Когда оцифровка сделана в так называемой *стационарной фазе* (после прохождения атаки), звучание отдельной ноты уже не будет таким похожим на исходный инструмент, как бы качественно не была выполнена сама запись. Этот метод рассчитан на имитацию исполнительского воздействия средствами MIDI – параметрами инструмента и контроллерами управления громкостью, высотой, модуляцией, фильтрами. Такой подход более трудоемок, однако дает возможность создавать на основе имеющегося стационарного тембра множество тембров со свойствами различных инструментов.

*Например, для имитации игры на щипковых струнных инструментах синхронно с началом атаки вставляется небольшое быстро спадающее повышение тона, имитирующее более высокое звучание струны в момент щипка; для имитации духовых – постепенно снижающаяся по мере расходования запаса воздуха в легких громкость звучания и т.п.*

Средства MIDI-интерфейса позволяют, с достаточной точностью, записать тонкости игры исполнителя на электронном клавишном инструменте, однако с гораздо меньшей – на адаптированных электронных (гитаре, скрипке или духовых инструментах). Поэтому «живость» клавишного исполнения передается весьма точно, а для прочих инструментов – заметно хуже. Тем не менее, многие MIDI-партитуры с правильно сделанной имитацией исполнительских воздействий звучат даже на синтезаторах среднего класса субъективно более естественно, чем «чистые» партитуры – на сложных профессиональных аппаратах.

**3. Возможности электронных инструментов, управляемых компьютером, и степень их поддержки используемым программным обеспечением.** Например, многие синтезаторы имеют развитые средства управления процессом синтеза звука и его артикуляцией, однако распространенные секвенсоры не позволяют удобно и эффективно их использовать, требуя развития специфических навыков.

**4. Качество искусственных звуковых эффектов.** Прежде всего, это касается эффекта реверберации, для получения которого моделируется многократное отражение звука от стен помещения. Для получения естественной реверберации необходимо точно смоделировать все нюансы помещения, поглощение звука и т.п.

*Во многих популярных студийных аппаратах для расчета эффектов используются «фирменные» идеи и алгоритмы, неизвестные за пределами фирмы-производителя – именно они сообщают полученному звуку свойственное им особое звучание. В компьютерных же звуковых редакторах и генераторах эффектов из-за недостатка вычислительной мощности нередко используются упрощенные алгоритмы и ограниченная точность вычислений, что зачастую не позволяет получить качество и глубину эффектов на уровне качественной студийной аппаратуры.*

**5. Общие параметры звука** – уровень шума и искажений, «прозрачность» и натуральность звука – целиком определяются теми блоками системы, через которые он проходит в процессе создания, записи или обработки. Например, компьютерные звуковые карты и недорогие внешние синтезаторы не обеспечивают качества звучания на уровне профессиональной студийной техники, внося в него заметные искажения и шумы. Происходит это потому, что компьютерная карта во многом является зависимым устройством, получая питание от источника компьютера и находясь под влиянием разнообразных помех и наводок от прочих компьютерных компонент. Сами по себе параметры цифрового звука мало что значат, поскольку многое зависит от качества ЦАП/АЦП, аналоговых участков тракта, разводки и экранировки печатных плат, системы электропитания, соединительных разъемов и кабелей и многого другого. Кроме этого, большинство компьютерных карт умышленно разрабатывается с заниженным качеством, чтобы не создавать конкуренции дорогому профессиональному оборудованию.

С другой стороны, при любой обработке цифрового звука, кроме простого монтажа, его качество неизбежно страдает от ограниченной точности вычислений и применения математических алгоритмов, не всегда соответствующих задаче. Для достижения приемлемой точности параметры обработки звука должны соответствовать определенным стандартам. В простых же компьютерных звуковых редакторах реализована обработка с упрощенными алгоритмами; исключения составляют лишь мощные редакторы – Adobe Audition, WaveLab и им подобные.

Рынок компьютеров и компьютерных систем сегодня стремительно развивается. Постоянно появляются новинки, как аппаратные, так и программные, падают цены на прежние модели аппаратуры и версии программ. В отличие от этого рынка, рынок синтезаторов и оборудования для традиционных студий весьма консервативен. Используя привычку музыкантов к традиционным системам, производители поддерживают цены на соответствующую аппаратуру на высоком уровне так, будто конкуренции с компьютерными системами не существует.

Конечно, и здесь появляются новинки, но при этом цены на старые модели падают очень медленно. В результате мы получаем **парадокс № 1**: сегодня за традиционную систему с теми же (или даже меньшими) возможностями при меньшем удобстве в управлении мы, как правило, должны заплатить большую цену, чем за компьютерную,

хотя цены на компьютерные системы продолжают падать. Несмотря на это традиционные системы тоже развиваются, причем в сторону «компьютероподобности». На синтезаторах уже давно появились дисплеи с окнами, напоминающими GUI (графический интерфейс пользователя), а в операционных системах организуются контекстные выпадающие меню, для управления встраиваются джойстики и трекболы, в компьютерных программах появляются элементы, напоминающие традиционные средства – виртуальные круглые ручки управления и ползунковые регуляторы, изображения рэковых панелей управления и пр.

В войне за сердца музыкантов производители часто указывают на несовершенство в воспроизведении и обработке звука с помощью такого главного устройства звукорежиссера, как «звуковая карта» пользовательского (непрофессионального) уровня. Примерно такая же картина складывается с параметрами компьютерных синтезаторов: к недостаткам собственно в качестве звука добавляется ограниченность тех или иных возможностей, которые в автономных профессиональных аппаратах представлены более полно. Нередко богатые аппаратные возможности синтезатора не поддерживаются должным образом его программным обеспечением, а для пользователя-музыканта это равнозначно их отсутствию. Чрезвычайно скудна документация, часто не освещающая до конца всех возможностей – особенно в сравнении с пухлыми томами описаний профессиональных инструментов.

Таким образом, возникает **парадокс № 2**: главное преимущество компьютерных карт – их сравнительно низкая стоимость по отношению к возможностям – с лихвой компенсируется явно недостаточным по сегодняшним меркам качеством звука аппаратных возможностей по его обработке, уровнем программного обеспечения. К тому же, многие серьезные производители – Roland, Ensoniq, Yamaha – вполне умышленно ограничивают качество и возможности выпускаемых ими компьютерных карт по сравнению с самостоятельными изделиями.

Однако, при всех неурядицах, парадоксах и предубеждениях, развитие современной компьютерной техники позволяет практически любому музыканту иметь персональную виртуальную студию, максимально приближающуюся к качеству студийной аппаратуры. Представим себе художника, который вынужден арендовать время в студии вместо спокойного творчества в своей мастерской. Сможет ли творец создать произведение искусства за отведенные часы? Вдохновение редко к кому приходит без опозданий. Но почему-то нас уже почти не удивляет тот факт, что современный музыкант «обязан уметь творить в условиях конвейера». Такой парадокс, скорее всего, сложился потому, что раньше технологии профессиональной звукозаписи были очень дороги и поэтому не могли быть массовыми. В настоящее время высокое быстродействие компьютеров и наличие многофунк-



циональных программ превращают PC в **Digital Audio Workstation** – цифровую рабочую аудиостанцию (PC DAW), которая практически не нуждается в дополнительных специализированных аппаратных средствах и позволяет пользователю создать свою *персональную* (домашнюю) студию.

Таким образом, персональный компьютер в настоящее время является максимально надежной и эффективной базой, ядром для организации звукозаписывающей студии. Он обеспечивает большую гибкость и более высокое соотношение «производительность/цена», чем специализированные устройства. Сегодня домашняя студия на базе PC DAW позволяет достичь профессионального конкурентоспособного звучания. Правда, начинающему звукорежиссеру стоит тщательно подойти к выбору дополнительных аппаратных устройств, определить, какая часть обработки будет производиться виртуально, а какая с помощью «железа». Ну а для тех, кто уже решился на создание домашней студии, но мечется в сомнениях и поисках «самого мощного» компьютера, «самой крутой» звуковой карты и вообще всего «самого-самого», хочется сказать:

Никакое оборудование не заменит МАСТЕРА (талантливому музыканта, творческого звукорежиссера)! Помните о том, КАКИМИ примитивными инструментами пользовались художники и музыканты прошлых веков. У них не было ни Фотошопа, ни цифровых студий, но они создавали шедевры, которыми мы восхищаемся и по сей день. Вот именно об этом мы поговорим дальше.

### **1.3. КАЧЕСТВО ЗВУЧАНИЯ: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТВОРЧЕСКОГО ЗАМЫСЛА, РЕАЛИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ СЛУШАТЕЛЯ**

Часто начинающий музыкант не задумывается над теоретическими проблемами, он просто «творит». И правильно, ну для чего ему теория музыки и гармония? Кому нужны рассуждения о возможностях отдельных инструментов, штрихах и прочей мелочи? Какая разница, в каком диапазоне будет звучать труба или виолончель? Ну и что с того, если вдруг тромбоны заиграют аккордовые пассажи в низком регистре? Автор на все имеет право. Это, конечно, правильно, но есть еще и слушатель. В конечном счете, если необходимо выразить свою мысль публично, то выразить ее нужно на каком-то определенном языке, который имеет свои правила орфографии, синтаксиса и т.д. Иначе данное музыкальное произведение просто не поймут. Казалось бы, ну что особенно сложного в том, чтобы «набрать» музыку в одном из музыкальных конструкторов типа Dance Machine или ему подобных? Это, на самом деле, достаточно просто. Вот только возникает во-

прос, какое отношение имеет данное действие к музыке? Скажем определенно – никакого. Вообще программы подобного типа существуют для того, чтобы составлять мелодико-ритмические композиции для определенных целей. Или, как принято говорить, «музыку для ног».

*Хотя надо заметить, что серьезную танцевальную музыку назвать «музыкой для ног» нельзя и пишут ее в совершенно других программах очень серьезные и грамотные музыканты.*

Давайте рассмотрим качество звучания через призму эстетического и психоакустического восприятия. Для того чтобы определить, что же такое качество звучания, воспользуемся результатами исследований известного специалиста в области аудиоаппаратуры Анатолия Марковича Лихницкого. Он предлагает для тестирования оборудования класса Hi-End использовать **граммофонные записи начала XX века**.

*Он говорил: «Мы убедились, что метод тестирования, использующий старые грамзаписи с их ограничением полосы частот, плохим отношением "сигнал/шум" и искажениями, обладает большей разрешающей способностью, чем метод тестирования, при котором используются современные записи».*

Оказалось, что старые грамзаписи позволяют лучше замечать качественные изменения как в аналоговой, так и цифровой части записывающего оборудования. Отмеченная способность главным образом объясняется исключительным богатством музыкального содержания старых записей. Без этого содержания, как утверждает автор, аудио-экспертиза не просто дает менее надежные результаты, но и вообще утрачивает смысл. В основе концепции А. Лихницкого лежит предположение, что удовлетворение от прослушивания музыки складывается из трех компонентов:

1. **Достоверность** – *иллюзия* реальности звуковой картины, созданной звуковоспроизводящим аудио-оборудованием. Чем сильнее иллюзия, тем выше достоверность.

2. **Комфортность** – степень отсутствия раздражающих факторов, таких, как шумы, трески, искажения и т.д. Причем подчеркивается, что комфортность определяется *субъективной* глубиной дискомфорта вследствие концентрации внимания слушателя на этих раздражающих факторах.

3. **Музыкальность** – концентрация внимания слушателя на самой музыке, вовлеченность в процесс прослушивания. При этом делается важный вывод, что слушатель *готов пожертвовать достоверностью и комфортностью, если он получает эстетическое наслаждение от самой музыки*, по-настоящему вовлечен в прослушивание. В этом случае слушатель обратит внимание на дефекты записи только при разрушении ими здания музыки, нарушения ее содержания.

Нельзя не согласиться с этими утверждениями. Тем более, что они подтверждаются современными поговорками музыкантов, вроде

«мы слушаем музыку, а не качество звучания», «музыку портят не байты и биты, а композиторы» и т.п.

Музыкальный продукт должен быть качественно выполнен на всех этапах: композиции, исполнения и записи. Более того, запись должна МУЗЫКАЛЬНО звучать на любом носителе: по радио, по телевидению, на магнитофонах и музыкальных центрах разного класса и т.д. Именно этим и объясняется А. Лихницким выбор граммафонного материала, не удовлетворяющего современным требованиям с инженерной точки зрения, зато обладающего высокой эстетической ценностью с точки зрения музыкальности.

*Благодаря работам А.М. Лихницкого, становятся понятными парадоксы современности: когда старые записи (например, записи Beatles, сделанные в 1960-х годах) БОЛЬШЕ вовлекают в прослушивание, чем многие современные – выполненные на технике последнего поколения, главным (и, пожалуй, единственным) критерием качества которой стали следующие параметры: 24 бит/96 кГц/56-битная обработка аппаратными эффектами.*

Так что сами по себе технические параметры оборудования не гарантируют высокого качества фонограммы во всех трех составляющих: достоверности, комфортности и музыкальности. Загадочная, с точки зрения инженера, составляющая – музыкальность – вообще остается за пределами области технических измерений. Но она, как ни странно, и является наиболее значимой величиной с точки зрения успеха записи у слушателя (по крайней мере, это можно предположить). Музыка должна увлекать за собой в первые три секунды с начала произведения. Если этого не происходит, значит, что-то не так. Как бы не начиналась композиция – с барабанного брейка, гитарного рифа, клавишной партии или сразу с вокала – вступление должно за первые 2–3 секунды приковать к себе внимание и настроить сознание слушателя на нужную волну. Если удалось, то следующая задача – это удержать с таким трудом пойманное внимание на протяжении всего произведения. Таким образом, основная задача, которую способен решить музыкант в своей персональной компьютерной студии, формулируется так: **создание фонограммы, вовлекающей в прослушивание.**

### **Вопросы для повторения:**

1. Задачи и предпосылки использования электромеханических устройств в музыкальном искусстве.
2. Значительные изобретения в области электромеханических устройств для музыкального синтеза.
3. Концепция системы управления партитурой: сущность, направления, реализация.
4. Проблемы и парадоксы соотношения «живой» и «компьютерный звук».
5. Аппаратные параметры качества звука.
6. Качество звучания: концепция А. Лихницкого.

# II. АППАРАТНАЯ ПОДДЕРЖКА РАБОТЫ СО ЗВУКОМ НА КОМПЬЮТЕРЕ

## 2.1. ТРАДИЦИОННАЯ ИЛИ КОМПЬЮТЕРНАЯ СТУДИЯ: PRO E CONTRA

Какой же компьютер нужен музыканту, и для каких целей? Действительно, ведь если музыкант купит себе компьютер, не соответствующий его задачам и требованиям, то он, скорее всего, просто навсегда разочаруется в возможностях компьютерной техники и впоследствии уже ими не воспользуется, даже если ему вдруг придется, скажем, в 2040 году переписывать оркестровые партии вручную.

Существуют различные типы компьютеров – это и ноутбуки, и карманные (т.н. КПК), даже многие электронные устройства вобрали в себя черты компьютера – возможность программирования, разветвленная система команд, широкая функциональность. Среди распространенных типов компьютера на сегодняшний день есть и наш «информационный друг» РС (Personal Computer). Сегодня словом «РС», как правило, обозначают компьютеры, работающие на процессорах фирмы Intel или совместимых с ними. Существуют и другие аппаратные платформы. Например, многие пользователи, работающие с компьютерной графикой, предпочитают компьютеры Macintosh (Mac). Эти компьютеры работают на процессорах, использующих другую систему команд, и производятся в основном компанией Apple.

Практическое значение всего сказанного заключается в том, что **компьютерные программы могут действовать только на одной аппаратной платформе**. Например, если взять программу, работающую на РС, переписать ее и попытаться запустить на Macintosh, то она откажется работать. Хотя иногда компании, выпускающие программное обеспечение, пишут несколько вариантов своей программы для различных аппаратных платформ, например, есть Microsoft Office для Windows и Microsoft Office для Mac, которые на вид очень похожи, но их программные коды в корне различны.

*Кстати, в некоторых случаях файлы данных (тексты, рисунки, музыкальные файлы и т.д.) могут быть перенесены с одной аппаратной платформы на другую. Например, музыку, написанную в MIDI-редакторе Cubase на компьютере Atari, вполне можно записать на дискету, затем открыть ее на РС и продолжить работу.*

Помимо выбора собственно компьютера музыканту могут понадобиться многие сопутствующие устройства или их программные аналоги. Можно многое говорить по поводу эффективности виртуальных и традиционных студий, мы же рассмотрим простой пример, который наглядно демонстрирует преимущество компьютерных систем по соотношению цены и возможностей (и служит доводом у любителей «компьютеризации»). Представьте себе компьютерную систему звуковой обработки и многоканального сведения, работающую на основе программ Sound Forge и Adobe Audition (бывшей Cool Edit Pro). Ее состав и приблизительная стоимость (на уровне 2008 г.) даны в правой колонке приведенной ниже таблицы, а левая колонка содержит приблизительный эквивалент при наполнении такой студии «традиционными» средствами.

<b>Аналоговая система</b>	<b>Цифровая система</b>
профессиональный графический эквалайзер (\$400); экспандер (\$300); энхансер (\$300); модулятор (\$100); два (как минимум) ревербератора (\$900); дистошн (\$40); компрессор-лимитер (\$300); флэнджер (\$40); вау-вау (\$20); гейт (\$200); гармоайзер (\$300); декликер (\$100); устройство шумопонижения (\$600); два 32-канальных профессиональных микшерских пульта (\$4000); три 24-канальных магнитофона (\$6000).	компьютер на основе Pentium IV (\$600), монитор (\$300); цифровой интерфейс (\$200); внешняя звуковая карта с профессиональными возможностями (\$900); программа звуковой обработки и монтажа Sound Forge с подключаемыми модулями (\$1500); программа многоканального сведения и звуковой обработки Adobe Audition (\$45).
<b>Итого:</b> \$13600	<b>Итого:</b> \$3545

Компьютерное решение кажется более выигрышным. Вдобавок к компьютерной системе прилагается синтезатор, секвенсер с большим количеством треков, цифровой интерфейс, конвертор каналов, временное сжатие/расширение, специальные эффекты, сборщик компакт-дисков, преобразователь моно в стерео и т.д. (еще приблизительно 30 функций). Кроме того, к компьютеру пользователь получает более удобное управление и большие возможности по редактированию. Управление звуком, эффектами, инструментами обычно обеспечивается сопутствующим программным обеспечением, причем обычно такое управление гораздо более наглядно и интуитивно понятно. Чаще всего, при обработке звука мы имеем дело не с рядом цифр, а с

подробным графическим изображением звуковой волны, хотя редактирование цифровых массивов тоже встречается достаточно часто, особенно при работе с MIDI. И конечно же, пользователь получает возможности самого компьютера: работа с текстами, графикой, игры и т.д.

Разумеется, здесь речь идет лишь о приблизительном соответствии компонентов из правой и левой колонок. Однако в целом такая таблица наглядно иллюстрировала соотношение «традиционных» и компьютерных систем по ценам и возможностям. Такое положение привело к тому, что в настоящее время большинство современных студий активно используют компьютерную обработку звука. И, несмотря на существующие пока недостатки в этой сфере и консерватизм многих музыкантов, через 5–10 лет все студии станут компьютерными: все цифровые модули либо интегрируются в компьютер, либо будут полностью им управляться, а аналоговые приборы (например, микшерские пульта) превратятся в экзотические экспонаты.

*Кстати, при выборе аналогового оборудования, необходимо, чтобы все составные части были примерно одного класса. В частности, качественный микрофон бессмысленно включать через плохой микшер. При работе же с программными модулями проблем совместимости становится гораздо меньше.*

Говоря о преимуществах компьютерной студии перед традиционной, необходимо также упомянуть о разделении аппаратной и программной частей. В отличие от «традиционного» синтезатора, в компьютере программа управления существует отдельно от модуля исполнения и, если что-то не устраивает, всегда можно поискать другую программу.

Таким образом, в современном процессе работы со звуком и музыкой без компьютера не обойтись – кроме чисто акустической музыки, исполняемой «живьем». Другое дело – нужно правильно определить место компьютера в этом процессе. Было бы неверно полагать, что можно полностью заменить *профессиональную* студию с кучей серьезной и дорогой аппаратуры и звукоинженеров одним *недорогим* бытовым компьютером с *недорогой* же звуковой картой. Однако с их помощью можно *начать* делать то, что традиционно делалось только в «серьезных» студийных условиях – изучить и освоить возможности синтезатора, эффект-процессора, приемы воздействия на звук, научиться записывать и создавать собственные звучания, подготавливать и сводить фонограммы.

Для любителя и даже профессионала, не требующего сверхвысокого качества звука, даже этого может оказаться вполне достаточно. Остальные же довольно скоро почувствуют ограниченность простой конфигурации и смогут заменить ее на более сложную и качественную, причем чаще всего с гораздо меньшими потерями, чем при работе только с самостоятельными аппаратами. Кроме этого, многие используют компьютер для создания т.н. «домашних заготовок». В условиях дороговизны аренды студийного времени нередко оказывается более выгодным спокойно подготовить дома «черновик», не

обращая особого внимания на несоответствие уровня шумов, прозрачность звука и т.д., а затем уже принести его в студию, где опытные специалисты быстро подберут аналогичные режимы работы «серьезной» аппаратуры, которая исполнит то же самое с «настоящим студийным качеством». Такой подход позволяет наиболее оптимально организовать разделение труда, оставив музыканту работу собственно над музыкой, а звукоинженеру – над ее сведением и записью.

## **2.2. ОБЩАЯ КОНФИГУРАЦИЯ КОМПЬЮТЕРА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОМАШНЕЙ СТУДИИ**

Применение компьютера в музыке может быть весьма разнообразным. Поэтому требования к компьютерной системе могут быть весьма различны, и зависят от тех задач, которые эта система должна будет выполнять. Если пользователь собирается заниматься исключительно набором нот, то ему, как минимум, необходима система, включающая Pentium 333 MHz, 32 Мбайт ОЗУ, видеоадаптер, поддерживающий частоту обновления 75 Гц при разрешении 800×600 и 32-битной глубине цвета, 15-дюймовый монитор, жесткий диск «условным» объемом 1 Гбайт, звуковая карта или встроенный кодек (хотя бы для «звуковой» проверки набранного).

Меньше всего ресурсов потребуется тем, кто собирается использовать компьютер для работы с MIDI. Минимально для этого был необходим компьютер с процессором 486 DX2-66 MHz, 8 Мбайт ОЗУ, видеоадаптером с поддержкой частоты 60 Гц при разрешении 640×480 и 256-цветной палитре, 14-дюймовым монитором и 1-гигабайтным жестким диском, а также звуковой картой (да, такие «старички» еще существуют на свете!). В принципе, для MIDI-секвенсера как такового можно было использовать еще менее мощный компьютер, однако здесь учитывалось, что в качестве операционной системы использовались как минимум Windows 95, 98. А вот при работе с MIDI на Windows 3.1 вообще можно было обойтись, например, конфигурацией 386 SX-33 MHz, 4 Мбайт ОЗУ, монохромный («черно-белый») видеоадаптер, 12-дюймовый монитор, жесткий диск 200 Мбайт. В настоящее время большинство MIDI-секвенсоров поддерживают и обработку аудио, отсюда повышаются и требования к аппаратной составляющей домашней студии.

Если предполагается заниматься звуковым синтезом и обработкой, то потребуется как минимум Celeron или Pentium 2500+ MHz и 128 (рекомендуется 512-1024) Мбайт оперативной памяти, видеоадаптер с поддержкой частоты обновления 100 Гц при разрешении 1280x1024, 21-дюймовый монитор, системный блок (корпус) с большим количеством портов USB или FireWire и 40-гигабайтный жесткий

диск. Как-никак, графика есть графика, музыка есть музыка, и при работе с ними используются файлы большого объема, для которых и необходим достаточно большой жесткий диск. Как видим, требования к компьютерной системе резко возрастают, если предполагается проводить такие виды работ, как многоканальное сведение, обработка в реальном времени или совмещение многоканального аудио и MIDI с видео (создание клипов и роликов). В этих случаях рекомендуется иметь очень быструю систему. При работе с многоканальными системами данные приходится считывать с жесткого диска прямо в реальном времени (например, воспроизведение ролика или наложение одной из аудиодорожек). В этом случае при достаточно быстрой системе эффективность зависит в основном от скорости чтения данных с жесткого диска, а также от скорости записи на него.

Помимо данных устройств необходимы и те, с помощью которых осуществляется диалог «человек–машина», а именно – устройства ввода, вывода и обработки какой-либо информации. Они не входят в системный блок компьютера и называются внешними, или периферийными.

Одними из основных устройств ввода информации являются компьютерная **клавиатура** и **мышь**, однако для ввода именно музыкальной информации требуются **MIDI-клавиатура** и **микрофон**. Разумеется, это только минимальные внешние устройства, а вот для полноценной работы с музыкой на компьютере может понадобиться и другая аппаратура. В частности, MIDI-клавиатура может быть заменена клавишным или скажем, даже аналоговым синтезатором, тонгенератором и т.п. При работе с нотными партитурами пользователю может понадобиться **сканер** для ввода графических изображений. К микрофону профессиональные звукорежиссеры рекомендуют приобрести **микрофонный предусилитель**. Выходное напряжение микрофонов обычно составляет единицы, в лучшем случае – десятки милливольт. Сигнал этот весьма слаб, и качество его при передаче по длинным кабелям сильно ухудшается. В последнее же время запись исходных фонограмм осуществляется без какой-либо коррекции вообще. При этом предпочтительнее осуществлять запись, вовсе минуя микшерный пульт и подавая сигнал на звуковую карту компьютера непосредственно с выходов микрофонных предусилителей (прямая запись, или «direct recording»). Этим значительно сокращается путь сигнала – от микрофона до рекордера – и создаются лучшие условия для передачи тончайших нюансов звучания.

До недавнего времени необходимость наличия в домашней студии **микшера** даже не оспаривалась, однако уже многие звукорежиссеры предпочитают использовать не эти громоздкие ящики, а соответствующее ПО. Практически каждая многофункциональная программа, тем более программа звукозаписи, имеет модуль виртуального микшера, визуально повторяющего внешний вид зачастую знакомого ана-



логового устройства. Разрабатываются отдельные программы-виртуальные микшеры, качество которых улучшается с каждым днем.

Для того, чтобы компьютер мог каким-либо образом «сообщить» пользователю результат своей работы, необходимо иметь устройство вывода информации. В современных компьютерах необходимыми для музыканта устройствами являются **монитор**, **внешняя акустическая система** (при этом лучше сразу забыть о пластмассовых компьютерных динамиках), **цифровой интерфейс** для записи результатов работы на Mini-Disk (на современных компьютерах данный интерфейс часто встроен прямо в материнскую плату), **цифровой рекордер** (собственно т.н. «MD-дека»). Помимо них могут использоваться различные звуковые модули и модули обработки, например гейт, компрессор, лимиттер, эксайтер и т.д.

И, наконец, основным устройством для создания, записи и обработки звуковой информации является **звуковая карта** (*sound-card*), специальный процессор, о котором мы поговорим ниже.

### 2.3. КЛАССИФИКАЦИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ЗВУКОВЫХ КАРТ

Для того, чтобы придать своему компьютеру звуковые возможности необходимо, прежде всего, определить круг задач, которые будут на него возложены, а звуковая карта понадобится для решения большинства из них. Здесь необходимо пояснить один важный момент. Если обработка звука или музыки происходит в реальном времени – необходима карта с возможностью обработки именно в реальном времени. Если же обработка выполняется над записанным звуком, то в этом случае нагрузка ложится только на сам компьютер, а карту имеет смысл выбирать, исходя из соображений качества записи.

Конечно, со звуком можно работать и без карты, со встроенным в материнскую плату кодеком, например AC'97, реже – CMedia, Crystal ESS. Однако, звуковые карты существенно разгружают центральный процессор, что особенно актуально при использовании многоканального звука (более 2-х), также они имеют соответствующие преобразователи звукового сигнала и выигрывают по сравнению с AC'97 по таким параметрам, как ширина динамического диапазона, равномерность амплитудно-частотных характеристик, уровень шумов, коэффициенты искажений и т.д.

Звуковые карты бывают как *внутренние*, так и *внешние*, но все они могут быть условно разделены на **четыре группы**:

- **Чисто звуковые** – простейшие карты, предназначенные для утилитарных целей и озвучивания простейших игр. Эти карты содержат только основную систему записи/воспроизведения звука, выполненную с различным качеством, уровнем шумов и искажений. Многие модели содержат простой музыкальный синтезатор, работающий по

принципу имитации реальных инструментов т.н. методом частотной модуляции (*FM*), а также 16-разрядный ЦАП/АЦП.

- Ко второй категории относятся так называемые **полупрофессиональные** карты. На них при желании (проявив фантазию и настойчивость) можно работать с материалом профессионального уровня, но все же иногда будет ощущаться некоторая нехватка ресурсов. Такие карты обычно имеют достаточно качественный синтезатор/сэмплер, построенный по технологии WT (Wave Table – таблично-волновая) и основанный на использовании записанных звучаний реальных инструментов, блок эффектов, 18- или 20-битный ЦАП/АЦП, могут присутствовать также специальные устройства для трехмерного позиционирования звука и пр. Стоят они приблизительно от 35 до 500 у.е. К этой же категории можно отнести и т.н. **комбинированные**, или звуко-музыкальные, объединяющие звуковую карту и WT-синтезатор.

- Наконец, к третьей категории можно отнести **профессиональные** системы, ориентированные на работу со звуком, как правило, в реальном времени. Иногда для работы с подобными системами необходимо специальное ПО. Порой бывает даже трудно сказать, приобрел ли пользователь-музыкант программу с «железом» в придачу или наоборот. Цена такой системы может на порядок превышать стоимость всех остальных компонентов компьютера, вместе взятых. По этой причине подобные системы, как правило, используются только в профессиональных студиях. Эти карты обеспечивают «бесперебойную» многоканальную запись-воспроизведение, для чего снабжены специальными DSP (цифровыми сигнальными процессорами), а также многочисленными звуковыми разъемами. Карты этого класса обычно не имеют встроенного синтезатора/семплера, зато позволяют отправлять MIDI-информацию на 3–4 независимых MIDI-выхода и, таким образом, увеличить возможное количество одновременно звучащих «инструментов» до 48–64.

*Для расширения возможностей таких карт часто используют т.н. музыкальные дочерние платы. Они содержат WT-синтезаторы различной степени сложности и выполнены в виде дополнительных плат, «надеваемых» на специальный 26-контактный разъем основной карты, отчего получается своеобразный «бутерброд».*

### **Элементы звуковых карт**

Выбор звуковой карты является для музыканта ключевым моментом, от которого зачастую зависят результаты его дальнейшей деятельности, качество, скорость и удобство выполнения работы. Конечно, многое в этом смысле зависит и от других факторов – конфигурация всей системы, установленное ПО, умение с ним работать и т.д. Однако правильный выбор звуковой карты наверняка поможет в дальнейшем сэкономить много времени и сил. Именно звуковая карта в большинстве случаев является основным инструментом для работы музыканта. Поэтому к выбору звуковой карты для работы нужно подойти со всей ответственностью и пониманием – какие именно функции действительно необходимы.

Что же представляет собой звуковая карта? Внешне все выглядит очень просто: большинство компонентов реализовано в виде микросхем, впаянных в плату. На внешней стороне карты расположены обычно 3 или 6 звуковых разъемов типа «мини-джек» (как правило, это линейный вход, микрофонный вход, выход для наушников и т.д.). Там же расположен 15-контактный разъем или прямоугольный разъем USB для подключения MIDI-устройств и/или джойстика (*MIDI/Game Port*), цифровой выход для подключения внешних цифровых устройств (встречается только на достаточно дорогих картах) и цифровой вход (еще реже, чем цифровой выход). На некоторых картах можно заметить несколько внутренних разъемов расширения, о которых речь пойдет ниже.

#### ***Блок цифровой обработки сигнала (кодек)***

Одним из основных компонентов звуковой карты является цифро-аналоговый и аналого-цифровой преобразователи (ЦАП/АЦП). Их важнейшие характеристики – разрядность и качество фильтров. Чем выше разрядность преобразователя (16, 24, 32-бит ...), тем качественнее результат, но больше объем файла и дольше процесс обработки.

#### ***Синтезатор/Семплер***

Практически на любой звуковой карте имеется встроенный звуковой модуль, управляемый с помощью MIDI. Как правило, он представляет собой FM-синтезатор или WT-синтезатор, причем последний сейчас встречается чаще. К тому же WT-синтезатор теперь снабжают возможностью семплирования или загрузки семплов с внешнего носителя. Качество звучания WT-синтезатора часто зависит от объема ПЗУ или ОЗУ *звуковой карты*. С другой стороны, у многих современных звуковых карт есть возможность использовать для загрузки «инструментов» оперативную память компьютера, что является наиболее гибким и универсальным вариантом.

#### ***Блок эффектов***

В современные звуковые карты обычно встраивают так называемый блок эффектов, или *эффект-процессор*. Он позволяет применять к общему звучанию реверберацию, «трехмерность», хорус и другие эффекты. Важным моментом здесь является возможность применения «своего» эффекта на каждый MIDI-канал в отдельности.

#### ***Микшерный блок***

В звуковых платах микшерный блок обеспечивает регулировку уровней сигналов с линейных входов, уровней с MIDI входа и входа цифрового звука, уровня общего сигнала, панорамирования и тембра.

#### ***Интерфейсный блок***

Данный блок обеспечивает передачу данных по различным интерфейсам. Помимо внешних разъемов, рассмотренных выше, на звуковой карте могут быть расположены несколько внутренних разъемов расширения. Прежде всего, это разъемы для подключения стандартных или нестандартных модулей памяти. Данная память обычно используется для

загрузки «инструментов» с внешних носителей. На некоторых картах можно заметить специальные разъемы для подключения дочерних звуковых карт, не имеющих ЦАП/АЦП и некоторых других компонентов.

Обычно на звуковых картах имеется также специальный аудиовход для подключения CD-дисковода, поскольку качество ЦАП самого привода гораздо хуже, чем карты. На хороших картах присутствует и цифровой вход SPDIF, который обычно используется для цифрового подключения CD-ROM'a. Кроме перечисленных, на карте могут присутствовать дополнительные разъемы для внутреннего подключения таких устройств, как модем, плата видеомонтажа или TV-тюнер и пр.

Помимо наличия данных элементов, выбор звуковой карты должен основываться и на реализации таких важнейших параметров, как **максимальная частота дискретизации** (*sampling rate*), **максимальный уровень квантования** или **разрядность** (*max. quantization level*) в режиме записи и в режиме воспроизведения, параметры установленного синтезатора. Одной из важных характеристик является возможность одновременного воспроизведения и записи звуковых потоков. Особенность карты одновременно воспроизводить и записывать называют *полнодуплексной (full duplex)*. Есть еще одна характеристика, которая зачастую играет решающую роль при покупке звуковой карты – **отношение сигнал/шум** (*Signal/Noise Ratio, S/N*), влияющий на чистоту записи и воспроизведения сигнала. Отношение сигнал/шум – это отношение мощности сигнала к мощности шума на выходе устройства, этот показатель принято измерять в дБ. Хорошим можно считать отношение 80–85 дБ; идеальным – 95–100 дБ.

В заключение нужно сказать, что даже не очень дорогие музыкальные карты и дочерние платы нередко обладают не меньшим потенциалом, чем «серьезные» инструменты; основная разница заключается в том, что если хороший и дорогой инструмент содержит качественные аналоговые цепи, имеет тщательно подобранные наборы тембров, сопровождается подробной документацией и т.п., то большинство карт содержит минимальный набор тембров, цепи среднего качества и достаточно бедную документацию. Дополнительные тембры, программы и описания нужно либо приобретать отдельно, либо искать или изготавливать самостоятельно.

### **Вопросы для повторения:**

1. Проблемы баланса между финансовыми затратами и возможностями домашних звуковых студий.
2. Место компьютера в процессе создания музыкальных композиций.
3. Основные устройства ввода, вывода и обработки звуковой информации.
4. Зависимость общей конфигурации компьютерной системы от пользовательских задач.
5. Краткая характеристика элементов звуковых карт.

# III. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВНЕШНИХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ УСТРОЙСТВ И НОСИТЕЛЕЙ

## 3.1. MIDI-КЛАВИАТУРЫ – ИСПОЛНИТЕЛЬСКИЕ ОЩУЩЕНИЯ И МУЗЫКАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Если мы планируем заниматься какой-либо музыкальной работой с помощью компьютера, то MIDI-клавиатура нам совершенно необходима. По существу, **MIDI-клавиатура** – это устройство, преобразующее определенный физический процесс в поток из набора цифровых команд. Под физическим процессом можно подразумевать все что угодно – начиная от нажатия пальцем на клавишу и заканчивая поворотом ручки громкости. Все это может передаваться в компьютер, аппаратные семплы, синтезаторы или внешние секвенсеры и там определенным образом расшифровываться. С помощью такой клавиатуры производится запись на дорожки MIDI-редакторов, намного упрощается работа по набору нот и т.п. Даже для работы исключительно с аудиоматериалом, и то в некоторых случаях бывает очень удобно воспользоваться MIDI-клавиатурой. Конечно, производители музыкального ПО, как правило, учитывают вариант, когда MIDI-клавиатура у пользователя отсутствует. Например, в любом MIDI-редакторе есть возможность добавлять MIDI-события по одному в список или рисовать «ноты» графически. Существуют и утилиты (мини-программы), позволяющие передавать MIDI-сообщения с обычной алфавитно-цифровой клавиатуры PC, например Virtual Piano. В программах нотного набора всегда предусмотрена возможность вводить ноты с помощью мыши или обычной клавиатуры ПК. Даже в комплекте со звуковыми картами часто поставляются различные «замены» MIDI-клавиатур. Однако, такие способы, как правило, куда менее удобны и отнимают гораздо больше времени, а уж о невозможности «живого исполнения» при записи музыкального голоса на дорожку MIDI-редактора и говорить нечего.

В качестве MIDI-клавиатуры, вообще говоря, может использоваться любой внешний звуковой модуль (синтезатор/семплер), имеющий собственно клавиатуру и MIDI-выход (разъем *MIDI OUT*). Однако производители таких звуковых модулей, как правило, уделяют основное внимание звуку как таковому и его параметрам, а потому клавиатура остается малофункциональной. Намного удобнее пользо-

ся MIDI-клавиатурами, выполненными в виде отдельного устройства (без звукового модуля). Такая клавиатура ничего не играет «сама по себе» и предназначена *только* для передачи MIDI-сообщений на компьютер или звуковые модули, (возможностей по пересылке таких сообщений в реальном времени у нее намного больше, чем у внешних звуковых модулей). Например, «электронный» музыкант, ди-джей, которому не нужна фортепианная клавиатура для двуручной игры, может найти себе малоформатный двух-, трехоктавный вариант с оптимальным количеством настроек и возможность перепрограммирования кнопок и слайдеров (фейдеров\*) для управления в той или иной программе. Для требовательных профессионалов существуют устройства с большим количеством возможностей фортепианной клавиатуры. Они конечно дороже, чем простые модели, но все-таки дешевле клавишных синтезаторов высокого класса. К тому же, программное обеспечение сейчас достигло больших высот, освоило эмуляцию (программную имитацию) практически всех старых моделей аналоговых синтезаторов, семплеров за все время их существования и сейчас находится на стадии развития синтеза с использованием физического моделирования. Струнные и духовые инструменты, синтезированные человеческие голоса звучат на PC очень натурально. И вряд ли можно найти полноценную замену такому варианту в лице оригинальных современных синтезаторов.

MIDI-клавиатура, по своему названию и прямому назначению, является одним из главных устройств ввода (передачи) MIDI-данных. Эти данные весьма многочисленны и сложны (попробуйте описать физический процесс нажатия на клавишу вначале фортепиано, затем рояля, а потом составить общий алгоритм для компьютера – и вы меня поймете), поэтому, помимо традиционных клавиш, производители внедрили в конструкцию MIDI-клавиатуры различные дополнительные регуляторы. Например, такой параметр, как изменение давления на клавиатуру, может передаваться в зависимости от реальной силы физического давления на клавиши, а может быть и «виртуальным» – передаваться с помощью специального колеса или ползункового регулятора (фейдера). Такой способ управления оказался довольно популярен, особенно когда была реализована возможность программирования данных регуляторов.

В соответствии с «исполнительским ощущением» MIDI-клавиатуры можно условно разделить на **три категории**: легкие, утяжеленные и механические (в другой классификации – с невзвешенной, полувзвешенной и взвешенной, т.е. динамической механикой). Все музыканты знают, что для полного нажатия на клавишу фортепиано нужно приложить некоторое усилие, чтобы преодолеть естественное сопротивление молоточкового механизма. Регулируя это мышечное

усилие, музыкант может слегка изменять тембровую окраску звука фортепиано (и, разумеется, громкость). Поэтому характер прикосновения к клавиатуре фортепиано (его называют французским термином – *туше*) играет большую роль в исполнительском искусстве.

Если же мы имеем дело с электронной клавиатурой, то при нажатии на клавишу сопротивление молоточкового механизма отсутствует (в *легких* клавиатурах). Для музыкантов, привыкших к фортепиано, это большое неудобство: ведь усилие, достаточное для нажатия на клавишу, здесь настолько незначительно, что регулировать его степень становится зачастую просто невозможно, особенно человеку, привыкшему к значительным усилиям. Однако в некоторых случаях «легкость» клавиатуры из недостатка превращается в достоинство, например при исполнении длинного произведения моторного характера (где не нужны тонкие нюансы в туше, зато быстро накапливается утомление мышц руки) или партии нефортепианной направленности.

Для того чтобы музыкант мог быстрее адаптироваться к электронной клавиатуре, некоторые производители выпускают клавиатуры второго типа – *утяжеленные*, которые стоят несколько дороже обычных (при прочих равных параметрах). С помощью особого приспособления сопротивление при нажатии клавиши здесь увеличивается. Игра на утяжеленной клавиатуре по ощущению больше напоминает игру на фортепиано, однако она все равно не способна передать все тонкости «отдачи» молоточкового механизма, к которым так привыкла рука музыканта.

Поэтому выпускаются электронные клавиатуры и третьего типа – *механические*. В них встраивается некое подобие молоточкового механизма (как ранее делалось в «немых» клавиатурах). Несмотря на то, что до полного «совершенства» (то есть имитации фортепианной клавиатуры) и здесь далеко, механические клавиатуры по исполнительскому ощущению наиболее близки к фортепиано (во всяком случае, в нюансах от *mp* до *ff* – от «не очень тихо» до «очень громко»). Однако такие устройства обычно стоят намного дороже обычных клавиатур, да и весят намного больше.

Что касается обычных клавиатур, у них есть еще одна «изменяемая» физическая характеристика – ширина клавиш. Выпускаются клавиатуры как с клавишами стандартной ширины, так и с узкими – на них едва помещается палец. В целом на узких клавишах играть гораздо менее удобно, однако появляется возможность взятия широких интервалов и аккордов, кроме того, экономится место на столе. Да и цена устройств с узкими клавишами обычно отличается в лучшую сторону.

Как же выбрать MIDI-клавиатуру? Существует ряд параметров, по наличию и реализации которых можно оценить **функциональность клавиатуры**:

➤ **Количество октав** (клавиш). Наиболее дешевыми являются низкобюджетные клавиатуры до 4-х октав (49 клавиш) с обычной синтезаторной клавиатурой. Этого обычно хватает для работы с обычным ПО, внешними семплерами и синтезаторами на самом примитивном уровне.

➤ **Тип механики клавиш**. Как уже говорилось, есть три категории клавиатур по исполнительским ощущениям – легкие, утяжеленные и механические. Хорошая имитация фортепианных клавиш применяется в клавиатурах рояльного типа (88 клавиш), при этом нередко можно встретить варианты с настоящим молоточковым механизмом (*hammer-action*), с использованием функции «послекасания» (*aftertouch*). Хотя существуют и менее дорогие смешанные варианты, которые вбирают в себя некоторые функции из дорогих моделей. Обычно это малые и средние по размерам клавиатуры с утяжеленной механикой и режимом послекасания.

➤ **Контроллеры Pitch** (изменение высоты) и **Modulation** (модуляция). Данный стандарт уже прижился, но используется не во всех моделях. В целях экономии пространства названные функции могут переноситься на программируемые фейдеры или ручки контроллеров.

➤ **Разъемы для подключения педалей**. В профессиональных клавиатурах обычно устанавливаются три разъема для подключения педалей, за каждой из которых можно закрепить определенную функцию типа громкости, модуляции и прочего. В низкобюджетных (дешевых) устройствах используются перепрограммируемые педали.

➤ **Количество настраиваемых контроллеров** (крутящиеся ручки, кнопки, слайдеры (фейдеры)). Интерфейс может предусматривать определенное количество контроллеров, за каждым из которых можно закрепить управление определенной функцией, что особенно удобно для работы с программным обеспечением.

➤ **Возможность запоминания пользовательских пресетов** (шаблонов), наличие промышленных пресетов.

➤ **Наличие драйверов** под современные операционные системы.

➤ **Способ коммутации**. В отличие от 15-штырькового разъема, новые MIDI-клавиатуры часто оснащаются выходом USB, FireWire, что значительно упрощает соединение MIDI-устройств, позволяет передавать кроме обычных MIDI-данных и аудио. Благодаря этому, сравнительно портативные клавиатуры стали превращаться в аудио/MIDI-гибриды и замещать обычные звуковые устройства.



## 3.2. МИКРОФОН: ХАРАКТЕРИСТИКИ, ФУНКЦИИ, ЦЕЛИ

Если необходимо записать голос или какие-либо акустические инструменты, то, прежде всего, потребуется **микрофон** (*microphone*) – *электроакустический преобразователь, который реагирует на звуковые волны и вырабатывает эквивалентные электрические сигналы*. Для того, чтобы содержащаяся в звуке информация не претерпевала заметных изменений, микрофон должен отвечать следующим **требованиям**:

- при рабочих уровнях звука микрофон должен вырабатывать электрический сигнал, в достаточной мере превышающий уровень собственных электрических шумов;
- вырабатываемый сигнал не должен иметь существенных искажений;
- микрофон должен практически без изменений передавать все звуковые частотные составляющие, содержащиеся в сигнале в пределах частотного диапазона аппаратуры, к которой он подключен.

Микрофоны отличаются по способу преобразования колебаний звукового давления в колебания электрические.

К **основным характеристикам и параметрам микрофонов**, определяющим их качество, относятся следующие:

- **чувствительность** – отношение напряжения на выходе микрофона к воздействию на него звуковому давлению (насколько быстро и адекватно микрофон реагирует на звуковой сигнал);
- **динамический диапазон** – разность между уровнями предельного звукового давления и собственных шумов (диапазон между шумом собственной работы микрофона и максимальной силой звука, которую способна ощутить мембрана);
- **характеристика направленности** – зависимость чувствительности микрофона от угла между его акустической осью и направлением на источник звука;
- **частотная характеристика** (ЧХ) – рабочий частотный диапазон.

Уровень собственных шумов и выходное сопротивление являются важными параметрами для микрофона (хороший – значит малошумящий). Выходное сопротивление микрофона должно соответствовать входному сопротивлению аппаратуры, к которой он подключен.

Характеристику пространственной направленности микрофона графически изображают в полярных координатах в виде диаграммы направленности в горизонтальной плоскости (своего рода схема, показывающая, с какого направления микрофон «способен» воспринимать определенный сигнал без искажений).

**По виду характеристики направленности** микрофоны делят на три основных типа: *ненаправленные, двусторонние и односторонние*

направленные. В первом приближении считается, что ненаправленные микрофоны одинаково воспринимают звук с любого направления. Рабочей областью ненаправленного микрофона является сфера, а его диаграмма направленности представляет собой окружность. Двусторонне направленные микрофоны обладают одинаковой чувствительностью как с фронтальной, так и с тыльной стороны. Односторонне направленные микрофоны чувствительны только к звуковым волнам, приходящим с фронтального направления. Кроме направленных микрофонов существуют еще и остронаправленные.

Важно то обстоятельство, что диаграмма пространственной направленности несколько идеализированное понятие. Важно понимать, что реальные характеристики направленности близки к идеализациям только в пределах узкого диапазона частот. Особенно сильно сказывается зависимость диаграммы направленности от частоты для ненаправленных микрофонов. Чем выше частота сигнала, тем меньше телесный угол, в пределах которого ненаправленный микрофон воспринимает звуковые волны. Пренебрежение подобными реалиями может привести к грубым ошибкам. Например, если запись группы вокалистов производится одним ненаправленным микрофоном, то исполнителей с более высокими голосами следует размещать так, чтобы микрофон был нацелен на них фронтальной стороной. В противном случае, будет нарушено соотношение громкостей и отдельные голоса будут подвержены амплитудно-частотным искажениям.

Наряду с диаграммой направленности, другой не менее важной характеристикой микрофона является его частотная характеристика. Принципиальным требованием к частотной характеристике является ее равномерность (микрофон обладает одинаковой чувствительностью ко всем полезным частотам сигнала). Чем равномернее ЧХ микрофона, тем правильнее он передает тембр голоса певца или инструмента. При использовании микрофона в системе звукоусиления концертного зала неравномерность ЧХ микрофона является одной из причин возникновения неприятного для ушей публики эффекта самовозбуждения акустической системы. Небольшую неравномерность ЧХ можно до некоторой степени скорректировать при обработке сигнала многочастотными узкополосными фильтрами с управляемыми параметрами эквалайзерами. Такие фильтры, реализованные программным способом, имеются в составе многих звуковых редакторов.

Вообще говоря, без учета условий применения при решении конкретных задач нельзя утверждать, что микрофон с теми или иными характеристиками хуже или лучше. Не для всех параметров также справедливо утверждение: «Чем значение выше, тем лучше». Например, микрофон с высокой чувствительностью хорош в подслушивающем устройстве для записи звука с большого расстояния. Но тот же

микрофон малопригоден в руке солиста, поющего в сопровождении оркестра, так как он будет воспринимать не только голос певца, но и искаженные при распространении звуки музыкальных инструментов. Для правильной передачи звучания басовых музыкальных инструментов не обязательно использовать микрофон с высокой верхней граничной рабочей частотой. Хотя, чем шире рабочий диапазон частот, тем универсальнее микрофон.

Не существует также идеального вокального микрофона. Каждый исполнитель, каждая песня требуют индивидуального подхода. В то же время, есть определенные рекомендации, от которых надо отталкиваться при выборе микрофона. Так, динамические микрофоны характеризуются меньшим количеством высоких частот, но обладают большей стойкостью к перегрузкам. Для вокалистов с очень мощным голосом этот тип микрофонов может быть единственным приемлемым вариантом. Но чаще для записи вокала используются все-таки конденсаторные микрофоны, причем микрофоны с большой мембраной – наиболее частый выбор для студийной записи сольного вокала. Конденсаторные микрофоны с малой мембраной дают менее окрашенный звук, который хорош при записи подпевок. Если записывать самого себя, то не следует слушать микрофон «живьем», лучше записать процесс и прослушать потом.

*Некоторые модели микрофонов, часто использующиеся для записи голоса: конденсаторные с большой мембраной – Neumann U 87, AKG C 414, Neumann TLM 193, Audio-Technica AT 4050; динамические – Shure SM 58, Sennheiser MD 421, Electro-Voice RE 20. Также используются микрофоны линейки Rode.*

Кроме того, надо помнить, что качество записи будет зависеть не только от качества микрофона, но и от того, как его использовали. Для записи большинства сольных инструментов и, тем более, ансамблей одного микрофона недостаточно – как правило, требуется два микрофона и более. В каждом конкретном случае, в зависимости от расположения музыкантов и акустических характеристик помещения, необходимо выбрать оптимальное расположение и даже марку микрофонов. Если у вас нет в этом опыта, перед записью лучше проконсультироваться с профессиональным звукорежиссером.

### **3.3. ВНЕШНИЕ ЗВУКОВЫЕ МОДУЛИ, ИХ ВИРТУАЛЬНЫЕ АНАЛОГИ**

Часто при работе с MIDI музыканты применяют наряду со звуковыми картами **внешние звуковые модули**. Более того, для использования таких модулей наличие звуковой карты вовсе не обязательно, поскольку существуют MIDI-интерфейсы, позволяющие направлять MIDI-информацию прямо через последовательный или параллельный порты компьютера! В качестве внешних модулей могут использовать-

ся семплы и синтезаторы, как рэковые, так и клавиатурные. Один из клавиатурных модулей можно при этом использовать для управления MIDI-информацией вместо MIDI-клавиатуры. Если музыкант строит систему внешних звуковых модулей, компьютер исполняет роль удобного секвенсера. При этом используется обычно лишь одна секвенсерная программа. Если же эта программа обладает возможностью записи аудиодорожек, то при наличии звуковой карты компьютер может играть роль не только секвенсера, но и студийного «многоканальника».

При построении системы внешних звуковых модулей желательно также наличие **микшерского пульта**, который будет суммировать их звуковые сигналы (тогда также звуковая карта в компьютере не требуется). Если же компьютерная система достаточно мощная и имеется профессиональная звуковая карта с несколькими аудиовходами, роль пульта также может выполнять компьютер (в этом случае его нужно оснастить программой звукового сведения). Строя подобную систему, следует особо позаботиться о **MIDI-коммутации**. Отдельно нужно продумать и **звуковое соединение**. Необходимо точно представлять, что с чем потребуется соединить, и приобрести или спаять нужное количество необходимых кабелей.

Если в системе используются внешние звуковые модули, они обычно дополняются **модулями обработки** звукового сигнала. Это могут быть линии цифровой задержки, ревербераторы, компрессоры-лимитеры, экспандеры и эксайтеры, эквалайзеры и пр. Ниже представлена краткая характеристика некоторых из них.

### ***Эксайтер***

С момента своего появления в конце 70-х годов эксайтер был и остается самым популярным в мире психоакустическим процессором. Эксайтер придает прозрачность, четкость любому звучанию, при его включении звук как бы «раскрывается». Значительно улучшаются проработка и восприятие мельчайших нюансов звукового сигнала, звук становится живым и естественным, начинает «дышать». Вокал после обработки его эксайтером приобретает повышенную четкость и полетность, ударные инструменты начинают звучать лучше, чем «живые».

### ***Денойзер***

Денойзер (шумоподавитель), так же, как и эксайтер, является стандартным и обязательным элементом технического оснащения любой студии и большинства концертных залов. Как известно, нешумящих источников не бывает. Шумит все – микрофоны, синтезаторы, усилители, «примочки», пленки... Вот для борьбы именно с такими шумами, на слух воспринимаемыми как «шипение», и служит денойзер. Он обеспечивает улучшение отношения сигнал/шум в обрабатываемом сигнале в среднем на 20...30 дБ, необходим при первичной звукозаписи (для «очистки» источников), при сведении, при масте-

ринге фонограмм для записи на CD, при реставрации старых записей и во многих других случаях.

### ***Компрессор-лимиттер***

Данное устройство сокращает динамический диапазон (разницу между самым тихим и самым громким звуком), автоматически уменьшая громкость звука после того, как она превысит определенный уровень. Компрессор позволяет записанной музыке казаться громче, чем она есть на самом деле. Это применимо как к отдельным инструментам, так и ко всей записи в целом. Компрессирование до записи позволяет получить лучшее соотношение сигнал/шум. Компрессоры не только изменяют уровень звука, но и его «оггибающую». Таким образом, звук можно сделать, например, более плотным.

### ***Экспандер***

Это устройство работает точно также, как компрессор, только наоборот. Там, где компрессор уменьшает динамический диапазон, экспандер его увеличивает. Когда уровень сигнала становится больше порогового уровня, экспандер увеличивает его еще больше, таким образом увеличивая разницу между громкими и тихими звуками. Подобные устройства часто используются при записи барабанной установки, чтобы отделить звуки одних барабанов от других.

### ***Гейт***

Это устройство работает так: как только уровень звука становится меньше порогового, прохождение сигнала прекращается. Полная тишина. Используется для подавления шума в паузах. На некоторых моделях можно сделать так, чтобы звук не прекращался полностью при достижении порогового уровня, а медленно затухал.

При увеличении количества внешних компонентов системы и коммутационных кабелей возрастает вероятность появления шумов, фоновых звуков, паразитных сигналов и т.п. Поэтому рекомендуется не перегружать систему внешними модулями, а напротив, максимальное количество модулей заменить компьютерными ресурсами. Например, многие внешние модули обработки можно с успехом заменить программными DirectX-модулями реального времени. При этом надо только не забывать, что для одновременной обработки нескольких звуковых сигналов необходимо иметь достаточно мощный процессор и объемное ОЗУ, иначе система может начать «тормозить» (как обычно, в самый неподходящий момент). Кстати, если это все же произошло, посмотрите, нельзя ли «разгрузить» систему «с другого боку», например, закрыв ненужные в данный момент фоновые приложения (антивирус, мониторинг системы и т.д.)? Часто система может «не успевать» за звуковым сигналом из-за прорисовки слишком большого количества информации на экране. В этом случае надо уменьшить экранное разрешение и количество цветов (для звуковых

программ вовсе не нужна, к примеру, палитра TrueColor, то есть 232 или  $22^2$  цветов (ее вполне можно уменьшить до 216 (HighColor) или даже до 256 цветов). Также можно уменьшить количество визуальных эффектов экрана.

### 3.4. ЦИФРОВОЙ ИНТЕРФЕЙС

Как известно, носители музыкальной информации (то есть результаты вашей работы) в последнее время, как правило, являются цифровыми – например, компакт-диск, цифровая пленка DAT, мини-диск. Считывая результат работы на компьютере через линейный выход звуковой карты, мы подвергаем его цифро-аналоговому преобразованию, а направляя его на линейный вход цифрового устройства – аналого-цифровому преобразованию. В результате этих двух преобразований в наш музыкальный результат вносятся значительные искажения. Для того чтобы этого избежать, логичнее было бы цифровой сигнал, полученный в компьютере, в точности передать на записывающее устройство. Имея цифровой интерфейс, мы можем быть уверены, что полученный нами сигнал записывается на внешний носитель почти без искажений и шумов. Правда, несовершенство существующих интерфейсов не позволяет обойтись здесь без слова «почти»: при передаче сигнал все-таки может искажаться (наиболее распространенный тип искажений называется «джиггер»). Однако эти искажения пренебрежимо малы по сравнению с искажениями, возникающими при аналого-цифровом и цифро-аналоговом преобразованиях.

#### *Типы цифровых интерфейсов*

Для передачи звукового сигнала из компьютера на цифровой носитель и обратно были разработаны несколько типов интерфейсов. Наиболее распространенным из них является интерфейс **S/PDIF** (несмотря на то, что именно он вносит наибольшее количество искажений в исходный сигнал).

Обычно цифровой интерфейс располагается на отдельных PCI-картах. Иногда один или несколько цифровых интерфейсов располагаются на картах для многоканальной записи/воспроизведения. А в последнее время цифровой интерфейс все чаще устанавливается на обычную звуковую карту или даже на корпус компьютера, неоснащенного звуковой картой. В некоторых случаях, цифровой интерфейс выполняется в виде небольшой дочерней платы. Кроме S/PDIF существуют и другие типы цифровых интерфейсов. Например, многие звукорежиссеры предпочитают интерфейс **AES/EBU**, однако они распространены гораздо менее, чем S/PDIF.

### 3.5. СТАНДАРТНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

История сохранения реального звука насчитывает чуть больше одного столетия, что конечно очень мало, если сравнивать ее, например, с буквенно-пиктографической записью событий тысячелетней давности. Со времен создания Т.А. Эдисоном в 1877 г. первого фонографа, использовавшего в качестве источника воспроизведения восковый валик, иглу и резонансную мембрану, технология хранения звука постоянно совершенствовалась, хотя и значительно медленней, чем, скажем, транспортная техника. Еще многие наши родители видели и пользовались грамофонами, десятки тысяч виниловых пластинок и ферромагнитных лент долго были (и продолжают быть) хранителями ценной для человечества звуковой информации. Но все имеет свое развитие, и на смену устаревшим технологиям приходит цифровая запись. Недостатком ранних форм хранения и записи звука – пластинок, лент – является слабая помехоустойчивость. Многократное прослушивание и перезапись приводят к накоплению большого количества звуковых помех, шумов и прочего. После активного использования в течение нескольких лет виниловые пластинки можно просто выбрасывать – на них уже ничего не слышно или невозможно слушать что-либо. То же самое происходит и с магнитными лентами.

Цифровая запись позволяет хранить звуковую информацию значительно дольше и без больших искажений. При написании музыки на компьютере, что называется «с нуля», в музыкальную информацию не вносятся акустические помехи, а многократная перезапись абсолютно ничего не меняет в звуке.

*Единственным источником помех, если так можно назвать, могут являться технические нарушения в дисководов во время записи на съемные носители. Кроме того, в процессе конвертирования стандартных аудио файлов в сжатые форматы наблюдается изменение частотных характеристик звука, однако оно не играет существенной роли для слушания музыки.*

Для хранения результатов музыкального творчества пользователя необходимо специальное устройство – накопитель информации. Основные накопители информации располагаются в корпусе системного блока. Они монтируются отдельно от материнской платы и соединяются специальными кабелями («шлейфами») с разъемом того контроллера, для которого предназначены (IDE, SCSI, SATA). Еще бывают так называемые внешние накопители, которые не монтируются внутрь системного блока, а имеют собственный корпус. В этом случае они иногда могут подключаться к порту USB. Самый распространенный вид накопителя – это жесткий диск, а точнее – накопитель на жестких магнитных дисках (НЖМД, он же **винчестер**). Этот накопитель наиболее быстр в работе и может содержать очень большое количество информации (современные винчестеры обычно имеют

объем от 40 до 360 Гбайт). На жесткий диск устанавливается операционная система, необходимая для работы пользователя на компьютере. Недостатком НЖМД является то, что он монтируется в корпусе компьютера достаточно жестко, и чтобы легко перенести данные с него на другую машину, приходится пользоваться сменными видами накопителей. Однако в последнее время уже существуют съемные внешние жесткие накопители, вмещающие данные до 1 терабайта и выше.

Для того чтобы звуковой результат проделанной работы можно было проигрывать *вне* пределов данной компьютерной студии, его необходимо записать на какой-либо традиционный носитель звуковой информации. Используя линейный выход звуковой карты, можно записать результат работы на любой **аналоговый**, а через цифровой интерфейс – на **цифровой носитель**. Правда, запись на аналоговый носитель уже устарела из-за неизбежных потерь качества в результате цифро-аналогового преобразования и последующих «издержек» хранения на таком носителе (зашумление и пр.). Носителей цифрового аудио на сегодняшний день существует немало – есть из чего выбирать. Все они по-своему хороши, хотя у каждого есть и некоторые недостатки. Какой из них больше подойдет именно вам, лучше определить самостоятельно, по возможности попробовав хотя бы некоторые из них.

*Для записи на цифровой носитель желательно иметь цифровой интерфейс, поскольку при записи на цифровой носитель через линейный выход двойное преобразование неизбежно внесет в исходный сигнал немалые искажения (хотя и цифровые интерфейсы не гарантируют их полное отсутствие).*

Один из самых распространенных (хотя и устаревающий на глазах) сменных накопителей – это флоппи-дисковод (накопитель на гибких магнитных дисках) – **дискета**. Сейчас в компьютерах или некоторых синтезаторах используются дисководы, позволяющие записать на одну дискету 1,44 Мбайт информации. Разновидностью дискеты является так называемая флеш-карта, которая представляет собой все тот же флоппи-диск, но вмещает гораздо больше информации (до 1–8 Гбайт). Кроме сравнительно малого объема, флоппи-диски обладают еще двумя недостатками – низкой скоростью чтения/записи и невысокой надежностью.

Среди других видов накопителей, прежде всего, выделяются дисководы **CD-ROM**. Если еще в 1993 году они были экзотикой, то уже сейчас пользователи считают их морально устаревшими и отдают предпочтение более совершенному дисководу – DVD-ROM. Многие производители «железа» прилагают к своим устройствам драйверы, записанные на CD-ROM, вместо традиционных флоппи-дисков.

По своим размерам, материалу и прочим «физическим факторам» диск CD-ROM ничем не отличается от обычного музыкального компакт-диска. Только вместо музыкальных произведений на нем могут быть записаны произвольные данные, объем которых может дос-



тигать 700–800 Мбайт. С помощью дисковода CD-ROM можно прослушивать и обычные музыкальные компакт-диски. Кроме того, обычно есть возможность работать и с другими CD-стандартами. Для возможности записи информации были предусмотрены специальные стандарты CD-R (т.е. *CD recordable*) – записываемый CD, на который информацию можно записать однократно, а затем работать с ним как с CD-ROM) и CD-RW (*CD rewritable*) – перезаписываемый CD – информацию на который можно записывать многократно, как на обычную дискету.

Следующей разновидностью накопителей для цифрового звука является формат **SACD** (Super Audio Compact Disk). Несмотря на большой объем (4,7 Гб) этот накопитель вмещает всего 74 или 109 минут звучания. Благодаря высокому качеству оцифровки, сигнал становится гораздо ближе к аналоговому оригиналу, чем у традиционного CD. Также, стандарт CD все более вытесняется новым стандартом – DVD (Digital Versatile Disk), хотя его распространение и продвигается гораздо медленнее, чем предполагалось вначале.

Накопитель **DVD**, который выпускается пока что в основном в соответствии со стандартом DVD-ROM, внешне практически не отличается от дисковода CD-ROM, да и носитель информации имеет примерно такой же вид, по размерам полностью совпадая с CD. Накопители DVD обладают обратной совместимостью с CD, то есть все CD-диски могут быть, как правило, использованы и с дисководом DVD. Что же касается собственно DVD-дисков, то их основное преимущество перед CD – гораздо больший объем. На двустороннем двухслойном DVD-диске может быть записано более 16 Гбайт информации. Весной 1998 года был выпущен первый дисковод DVD-RAM, позволяющий многократно перезаписывать данные, что намного облегчает работу пользователя.

Вскоре после появления CD фирма Sony предложила другой носитель оцифрованного звука – **DAT** магнитофон и DAT кассету (Digital Audio Tape). Наряду с некоторыми улучшениями в области технических характеристик (стандартная частота дискретизации DAT магнитофонов – 48 кГц, у CD – 44,1 кГц), DAT магнитофоны записывают звук на ленту при помощи вращающейся головки. Разработанные в свое время для потребительского рынка, они не получили широкого распространения, но на некоторое время стали стандартным способом записи мастера в студиях как профессиональных, так и домашних.

В свое время разгорелась битва еще между двумя потребительскими цифровыми форматами. Участвовали фирмы Sony и Philips, речь шла о ленте и диске, но на этот раз Philips поставил на ленту, выпустив **DCC** (Digital Compact Cassette – Цифровая Компакт Кассета), а Sony – на диск, предложив **MD** (MiniDisc – Минидиск). Массовый пользователь отдал свой голос последнему.

**MD** (MiniDisk) – компактное магнитооптическое устройство – уже стал одним из стандартов цифровых носителей информации. Запись на MD аналогична записи на DAT, но пользоваться MD намного удобнее, и он менее подвержен внешним воздействиям (в частности, записанный MD, в отличие от DAT, можно смело подвергать воздействию магнитных полей – а их вокруг нас не так уж мало). Есть, правда, и небольшой минус: при записи на MD звуковые данные сжимаются с использованием алгоритма ATRAC. При этом в сигнал не вносятся почти никаких искажений – по результатам экспериментов, только в 0,9% случаев эксперты на слух правильно отличили запись одного и того же материала на DAT и на MiniDisk (результат анализа – 50,9 правильных ответов на 49,1 неправильных). Однако факт использования алгоритма сжатия сам по себе часто отпугивает профессиональных музыкантов.

Хотя практически все форматы оптических носителей информации несовместимы между собой, технологии всюду очень похожи: используется лазер, который каким-то образом модифицирует поверхность диска, в результате записывается информация. Так было и с CD, который долгое время остается невероятно популярным, и с DVD, и с новыми форматами, которые в ближайшем будущем, возможно, заменят два первых – речь идет о Blue Ray Disc и его ближайшем конкуренте – HD-DVD. Емкость Blue Ray диска с односторонней записью достигает 27 Гб, хотя ее можно удвоить до 54 Гб, сделав диски двусторонними. При этом сам диск по своим размерам остается примерно таким же, как и обычный CD. Запись такого большого количества информации стала возможной благодаря использованию в Blue Ray и HD-DVD голубого лазера с длиной волны 405 нм, что позволяет фокусировать его с большей точностью и, следовательно, считывать и прожигать на поверхности диска больше отсчетов (питов) на единицу площади. В обычных же приводах CD и DVD для чтения и записи используется красный лазер с длиной волны 785 нм и 650 нм соответственно. Хотя новые диски появились совсем недавно, на них уже имеется стандарт звукозаписи, чего не было при появлении CD и DVD.

### **Вопросы для повторения:**

1. MIDI-клавиатуры как инструмент музыканта. Разновидности MIDI-клавиатур.
2. Критерии оценки MIDI-клавиатур.
3. Функции и характеристики микрофонов.
4. Краткая характеристика наиболее распространенных модулей обработки.
5. Значение и типы цифрового интерфейса.
6. Носители звуковой информации. Их возможности и недостатки.

# IV. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ СО ЗВУКОМ НА КОМПЬЮТЕРЕ

## 4.1. ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ И ОЦЕНКИ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Область музыкальных компьютерных технологий развивается стремительными темпами. Ресурсы Internet пестрят ссылками на страницы и каталоги музыкальных программ, происходит постоянное обновление банка существующих программ – появление новых версий и выход оригинальных. Широкое многообразие музыкальных программ ставит перед начинающим пользователем проблему поиска и отбора программных средств для воплощения будущих творческих замыслов. Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует единая классификация программ в области музыки. Авторы популярных изданий рассматривают музыкальные технологии в контексте частных программных средств, объединенных узко направленной деятельностью, ключевыми алгоритмами, материалом обработки и т.д.

Например, П. Живайкин включает в свою *классификацию* мультимедиа-плееры, автоаранжировщики, MIDI-секвенсоры, нотные редакторы, музыкальные конструкторы (программы-конструкторы, использующие MIDI-технологии и программы-конструкторы, использующие аудио файлы); многодорожечные цифровые аудиостудии; программы редактирования и цифровой обработки звука; виртуальные синтезаторы; эмуляторы звуковых модулей и синтезаторов; программы работы с MIDI-устройствами; программы для ведения фонотеки (программы создания промежуточных аудиофайлов для фонотеки MPEG или CD и собственно программы для ведения фонотеки); мультимедийные файл-менеджеры; обучающие и тестирующие музыкальные программы (обучающие программы для начинающих, программы по истории музыки и музыкальной литературе, программы для обучения вокалу и игре на фортепиано и гитаре); программы конвертирования звука (программы конвертирования аудиофайла в MIDI, в MIDI-файлы и ноты, программы конвертирования печатного нотного текста в MIDI, программы конвертирования форматов аудио файлов); программы записи CD; встраиваемые модули – Plug-ins.

С одной стороны, такое перечисление показывает всю широту функциональных особенностей и возможностей музыкальных компь-

ютерных технологий, с другой же – может вызвать затруднения у начинающего пользователя при выборе необходимого какого-то отдельного программного средства из группы аналогичных. Необходим частный критерий группировки программных средств по определенному ключевому признаку (по материалу обработки, особенностям интерфейса и т.д.). Например, С. Цоллер предлагает классификацию программных средств, исходя из целей звукорежиссерской и композиторской деятельности.

Ставя перед пользователем конкретную цель (получение музыкальной композиции), С. Цоллер рассматривает музыкальное программное средство (далее – МПС) с точки зрения технологической цепочки процесса ее создания – от записи/синтеза первичного звукового материала до формирования мастер-копии и записи готового музыкального продукта на CD. Например, синтезированный в программесемплере или записанный через микрофон музыкальный отрывок является первичным материалом обработки в аудио редакторе. Ряд обработанных отрывков, в свою очередь, становится первичным материалом в программах сведения и мастеринга, а законченная композиция проходит окончательную обработку и запись на CD для дальнейшего использования и тиражирования. Таким образом, исследователь выделяет следующие *типы программ* – *программы создания первичного звукового материала* (программы записи, синтезаторы, семплеры), *программы редактирования и цифровой обработки звука*, *программы сведения* (многодорожечные аудиостудии) и *программы мастеринга*.

Разумеется, программ какой-либо определенной направленности, становится с каждым годом все меньше, происходит взаимопроникновение функций одного МПС в другое, вчерашние узкоспециализированные продукты становятся такими программными монстрами, значительно расширяя свои возможности. Кроме того, существует класс *вспомогательных программ*, хоть и часто используемых в работе со звуком, но с трудом поддающиеся классификации. Среди них можно назвать программы:

- *распознавания нотного текста* – распознает сканированный нотный текст и превращает его в стандартный MIDI-файл;

- *служебные (сервисные)* – драйвера и программы для работы с конкретными моделями звуковых плат, синтезаторов и устройств многоканальной записи, программы для создания караоке; являются простым расширением интерфейса различных внешних синтезаторов и семплеров, не добавляют ничего нового к их функциям, а только делают управление ими более удобным;

- *медианпрограммы*, встроенные в операционную систему Windows;

- *записи звуковых компакт-дисков*;

➤ *обучения музыке* – таких программ существует довольно много, и каждая из них, как правило, предоставляет пользователю набор упражнений. Большинство подобных программ предназначено для начинающих – они обучают элементарному сольфеджио (*Ear Power*). Гораздо реже встречаются программы по гармонии, полифонии и другим, более сложным дисциплинам (*Musition*), большая часть их написана для Macintosh;

➤ *перевода графики в звучание* – их вряд ли можно отнести к чисто музыкальным средствам, однако они, как правило, довольно эффективны и потому достаточно популярны;

➤ *эмуляции синтезаторов и семплеров* – программы, превращающие компьютер в имитацию какого-либо известного аппаратного синтезатора или семплера. Подобные программы довольно часто имеют характерный для данного инструмента интерфейс, чтобы привыкший к тому или иному аппарату пользователь мог забыть, что перед ним компьютер, а не его любимый инструмент.

### ***Система оценивания программ***

Разнообразие МПС и проблема выбора того или иного частного программного продукта при прочих равных условиях требует выработки определенных критериев оценки. Существуют разные подходы к оценке программных средств. Для выбора того или иного программного продукта, авторы советуют использовать такие критерии оценки, как: *функциональность* (глубина настроек, соотношение размера файла/области решаемых задач, возможности программы (все ее функции) и количество важных, профессионально значимых функций (существенных для деятельности пользователя в конкретной области); *дизайн*, *эргономика* и т.д. Тут надо отметить, что данные критерии оценки имеют обобщенный характер, поскольку разрабатывались применительно к различным типам программных средств. В сфере же музыкальных компьютерных технологий наблюдается ряд особенностей, которые нужно учитывать при разработке учебных курсов, школьных факультативов и выборе частного программного средства в целом:

➤ ряд программ, выпущенных несколько лет назад и считающихся морально устаревшими, в силу функциональности успешно решают большинство задач начинающего пользователя (нотный редактор *Encore*, аудио редактор *Sound Forge*, проигрыватель *WinAmp* и т.д.);

➤ существует ряд программ, несовместимых с определенными операционными системами, аппаратным и программным обеспечением конкретного компьютера.

*Так, например редактор Encore 4.0. несовместим с ОС Windows XP; для работы с семплером семейства Dance необходимо наличие у компьютера привода CD-ROM или виртуального диска, что поднимает проблему наличия свободного места на жестком диске компьютера; некоторые современные музыкальные программы имеют относительно высокие требования к видеокарте и т.д.*

Таким образом, начинающему пользователю мы советуем выбирать МПС, опираясь на следующие **критерии**:

1. **Функциональность** (соотношение размера файла/области решаемых задач, возможности программы, количество важных функций).

2. **Эргономика** (удобство в использовании, возможность быстрого доступа к необходимым функциям).

3. **Расширяемость** (возможность подключения дополнительных модулей).

4. **Сопутствующая документация** (наличие справки и дополнительных материалов по работе с программой).

5. **Локализация** (перевод интерфейса и справочного материала по программе).

6. **Субъективная оценка** (мера удобства работы, психологический комфорт).

7. **Совместимость с программным и аппаратным обеспечением** (совместимость с операционной системой, легкость в установке (инсталляции) программы на компьютер, характер взаимодействия файл/ОЗУ/свободная область на жестком диске, графические требования программы к видеокарте компьютера).

8. **Функциональная дополняемость** (совместимость функций специализированной направленности МПС (согласно ведущей технологии) и функций, аналогичных узко прикладным программам).

Несколько расшифруем последний критерий. Например, программа Encoqe (ведущая технология – нотный редактор) позволяет осуществлять нотный набор с помощью компьютерной клавиатуры, прослушивать файлы аналогично программе-плееру (Winamp), сохранять нотную партитуру в файлах, совместимых с нотным редактором Finale и любым midi-секвенсером. Sound Forge (ведущая технология – цифровая обработка звука), помимо множества сугубо редакторских функций, позволяет записывать аудио файлы с любого источника. Данные файлы могут обрабатываться в программах-конструкторах, программах сведения и мастеринга. С помощью CakeWalk Pro Audio (ведущая технология – midi-секвенсер) возможна запись и редактирование файлов midi, сведение и конвертирование midi и аудио треков, импортирование и редактирование файлов нотных редакторов и караоке-плееров и т.д. Такая совместимость оказывается достаточно важным критерием отбора программных средств, особенно для начинающего пользователя, который уже «загорелся» идеей писать музыку на компьютере, но еще не обзавелся мощным и быстродействующим компьютером, позволяющим установить на нем большое количество разнофункциональных программных средств.

### ***Общие и профессионально значимые функции***

Выше мы уже говорили о функциях программ и о наличии профессионально важных для пользователя функций. Попробуем разделить и уточнить эти понятия. Как правило, никто не пользуется абсолютно всеми возможностями той или иной профессиональной программы (не имеются в виду микропрограммки с тремя кнопками и парой решаемых задач!). Многие функции программ реализованы не всегда так, как хотелось бы пользователю. К тому же, профессиональные редакторы часто обладают десятками, сотнями функций, разобратся в которых начинающему пользователю очень и очень сложно. По этому поводу можно привести один анекдотический вопрос: «Если Windows обладает интуитивно понятным интерфейсом, то почему фирменное руководство к ней написано на 400 листах?». Та же ситуация наблюдается и в музыкальных программах. И поэтому мы часто ищем другие программы, где нужная нам функция была бы легка и понятна в управлении, и делала именно то, что нужно **именно нам**.

Именно эти функции и называются **профессионально значимыми** (мы ведь начинающие профи-звукорежиссеры, не так ли?). Например, во всех нотных редакторах есть шаблоны создания партитуры. Однако в Encore всего 4 шаблона, а Finale обладает значительно большим количеством вариантов и возможностью их комбинирования. Естественно, для наборщика, работающего с оркестровыми партитурами, эта возможность является очень важной и как следствие, пользователь выберет программу Finale. А вот для человека, не имеющего MIDI-клавиатуры, важной профессионально значимой функцией будет возможность Encore делать нотный набор с клавиатуры компьютера. В Finale тоже есть такая функция, однако она реализована не очень удобно.

Другой вариант – в Finale есть возможность «выдирания» партии отдельного инструмента из всей партитуры, что очень удобно для руководителя оркестра (не надо отдельно набирать партию), но абсолютно безразлично для наборщика фортепианных произведений. Или, например, есть функция автоаранжировщика, которая будет чрезвычайно интересна начинающим аранжировщикам, но абсолютно безразлична, к примеру, для дирижера, работающего с авторским текстом. Список можно продолжать долго, однако пользователь всегда сам выбирает, какие функции для него станут профессионально значимыми. Единых рецептов здесь нет.

## 4.2. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Наличие звуковой карты в компьютере сегодня уже, конечно, не является предметом роскоши или излишеством. Но самое главное, что с появлением профессиональных и полупрофессиональных звуковых карт (а также цифровых интерфейсов) компьютер превратился в универсальную музыкальную рабочую станцию, на которой возможно создание музыкальных произведений, нотный набор и многое другое. Все зависит от того, кому именно нужен компьютер – композитору, дирижеру, музыковеду, контрабасисту и т.д.

Попытаемся обобщить некоторые **основные направления использования компьютерных музыкальных технологий**. Прежде всего, это нотно-издательская деятельность, подготовка цифровых фонограмм (и видеоклипов), реставрация старых записей, звукорежиссерская работа, создание аранжировок и оригинальных композиций с использованием программ-секвенсеров, синтез звука и электронная музыка, интерактивные исполнительские системы, системы алгоритмической музыки, системы управления партитурой в реальном времени, создание и использование музыковедческих баз данных, обучение в музыкальных школах и училищах и т.п.

Разумеется, отдельно взятый музыкант никогда не использует все перечисленное выше, а ограничивается тем, что так или иначе близко к его специализации. К тому же, возможности музыкального программного обеспечения сейчас стремительно расширяются, так что приходится следить за новостями на этом фронте, чтобы не пропустить появления того, чего не хватает именно сейчас.

Теперь же мы конкретизируем все вышесказанное с примерами программных средств, используемых в том или ином направлении.

– **Запись, редактирование и печать нотных партитур** общего назначения. Партитура может вводиться вручную – при помощи мыши или клавиатуры, либо с листа – при помощи сканера и программ распознавания (например, MIDIScan, SharpEye, PianoScan). Из редакторов партитур наиболее известны программы Finale, Sibelius и Encore; они могут также проигрывать партитуру через звуковую карту или внешний синтезатор. Указанные программы предназначены в первую очередь для подготовки партитур к печати, поэтому в них реализованы функции для точного оформления партитур, однако управление нюансами исполнения под управлением компьютера в них достаточно примитивно.

– **Запись, редактирование и исполнение партитур для электронных инструментов** – компьютерных звуковых карт или внешних синтезаторов, подключенных с помощью интерфейса MIDI. Такие



программы называются MIDI-секвенсорами и оперируют в первую очередь терминами MIDI-сообщений, допуская, однако, редактирование нотной части MIDI-партитуры в традиционном нотном виде. Партитура может вводиться вручную или путем прямой записи MIDI-потока с клавиатуры или другого секвенсора; нотная часть партитуры может распознаваться с листа при помощи MIDISCAN. Наиболее известные секвенсоры – Cakewalk, Cubase, MidiSoft Session, Logic, Mu-tools Luna Free, GuitarPro.

– **Запись, редактирование и исполнение музыкальных модулей**, содержащих в себе партитуру и оцифрованные звуки исполняющих ее инструментов. Редакторами и одновременно исполнителями модулей являются программы-трекеры; в них принята запись отдельных голосов на вертикальных колонках, где для каждого голоса записываются ноты и команды управления. При воспроизведении трекер фактически выполняет таблично-волновой синтез звука из имеющихся оцифровок, смешивает их и подает на звуковую карту для преобразования в звук. При наличии звуковой карты с WT-синтезатором большинство трекеров пользуется его каналами для синтеза звучания инструментов. Существуют также FM-трекеры, использующие FM-синтезатор звуковой карты вместо оцифрованных инструментов. Наиболее известные трекеры – Fast Tracker, Impulse Tracker, Scream Tracker, Adlib Tracker II (для DOS и Windows), Ace Tracker (ОС Atari), Aldrin (для GNU/Linux) и т.д.

– **Гармонизация и аранжировка готовой мелодии** с применением выбранных музыкальных стилей, законов и правил. Результат выдается в формате MIDI с возможностью его дальнейшей обработки. Наиболее известные программы автоаранжировки – Jammer и Band-In-A-Box.

– **Сочинение мелодий на случайной основе** путем последовательного выбора музыкальных звуков в пределах лада. К таким программам можно отнести Wind Chimes.

– **Стилистическая обработка MIDI-партитур с приданием им выразительных свойств «живого» исполнения** в выбранном исполнительском стиле. Это достигается смещением начала нот относительно метрических долей, варьированием их длительности, акцентированием громкости в ключевых местах музыкальных фраз, имитацией исполнительских приемов (щипок, арпеджио, вибрато, тремоло, глиссандо) при помощи средств MIDI, внесение в партитуру элементов случайности и т.п. Среди таких программ наиболее известны Style Enhancer и SSEYO Koan Pro, некоторые плагины.

– **Управление звучанием электронных инструментов** – как настройка до начала исполнения, так и модификация параметров звука во время его. Основное управление по интерфейсу MIDI осуществляют все программы-секвенсоры, однако для ряда электронных инст-

рументов и звуковых карт существуют дополнительные программы настройки режимов и загрузки оцифрованных инструментов в память синтезатора.

– **Запись партий акустических инструментов и голосового сопровождения в цифровом формате** с последующим их хранением на компьютерных носителях и обработкой в программах-редакторах звука. Это позволяет монтировать запись, накладывая на нее различные звуковые эффекты, а затем воспроизводить – самостоятельно или синхронно с исполнением MIDI-партитуры на электронных синтезаторах. Из звуковых редакторов чаще всего используются Adobe Audition, Sound Forge, Wave Lab, Audacity.

– **Программный синтез** новых звучаний при помощи математических алгоритмов – физического моделирования, аддитивного, разностного, частотно-модуляционного или таблично-волнового. Полученное звучание, как и записанный звук реального инструмента, может быть обработано в звуковых редакторах, после чего либо загружено в память внутреннего или внешнего синтезатора, либо воспроизведено под управлением самой программы-синтезатора. Некоторые программы-синтезаторы снабжены встроенным секвенсором, позволяющим организовать из созданных звуков басовый или аккордовый аккомпанемент для музыки, исполняемой другими средствами. Среди программ этого класса наиболее известны Rebirth, Virtual Waves, Absynth, Neuron VS, Prosoniq Morph.

– **Управление внешним звуковым и световым оборудованием** посредством интерфейса MIDI, который является стандартным для оборудования этого типа (в последнее время для управления световым оборудованием больше применяется интерфейс DMX). Так делается согласование работы комплекса аппаратуры в студиях, на концертах или в дискотеках – вплоть до управления прожекторами и выдачи на отдельные мониторы партитур для исполнителей на акустических инструментах. Такими программами являются Ots CD Scratch (студия для начинающего диджея), Solo Performer Show Controller, Atomix Virtual DJ. Помимо этого программы-диджеинга могут работать и как плагин в секвенсере, например Image Line Deckadance VSTi. В последнее время даже появились разработки, делающие успешную попытку вообще заменить человека-диджея электронной программой, например DJ, I Robot.

– **Мастеринг и запись звуковых компакт-дисков** при помощи CD и DVD-рекордеров. Для этого достаточно подготовить набор файлов с цифровым звуком, полученным любым из описанных способов. Программами данного класса являются WaveLab, T-RackS и Waves L3-Multimaximizer (мастеринг), Sony Pictures Digital Vegas 5.0, Nuendo, Sony Vegas 6.0+DVD, Cubase SX (работа со звуком 5.1).

– **Реставрация старых фонограмм.** С развитием новых технологий мы получаем возможность записи все более качественных фонограмм. Сам по себе этот факт не может не радовать, однако возникает вопрос: а что делать со старыми пленками и грампластинками, на которых зачастую записаны замечательные интерпретации музыкальных произведений, которые, к сожалению, уже еле-еле слышны из-за постоянного шума, фона и треска, щелчков и нелинейных искажений сигнала?

Если на традиционной аппаратуре устранение всех этих помех представлялось совершенно невозможным, то с развитием компьютерных технологий положение в корне изменилось. Средства цифровой фильтрации и обработки фонограмм дают звукорежиссеру возможность «лепить» практически новое звучание по его усмотрению. Для этого специально разработаны мощные средства. Однако обратной стороной их «мощности» является сложность в обращении, и, как правило, необходимость в специальных аппаратных средствах.

– **В помощь музыковеду.** Средства, помогающие в работе музыковеда, не относятся к собственно музыкальным возможностям ПК, однако в контексте данной главы нельзя не упомянуть о тех широких возможностях, которые компьютер предоставляет музыковедам.

*Во-первых*, это ведение музыковедческих баз данных, которые позволяют легко ориентироваться в океане накопленной информации. Вместо «перерывания» многочисленных бумажек, карточек и тетрадей с записями и пометками теперь достаточно нажать кнопку поиска или, в более сложном случае, сформировать запрос по имеющимся таблицам данных. Правда, прежде чем сделать запрос, необходимо наличие, а иногда и создание этих информационных таблиц.

*Во-вторых*, это совмещение визуальной и звуковой сторон любого сценического произведения, от лекции-концерта до эстрадного шоу. Звуковая композиция, сделанная с помощью соответствующих редакторов; программа презентации Power Point, входящая в состав Microsoft Office + стандартный компьютерный проектор.

*В-третьих*, музыковеду часто может помочь автоматический перевод иноязычных материалов.

– **Компьютер и музыкальное образование.** Эта область применения компьютеров также, наверное, относится не столько к музыкальным возможностям компьютера, сколько к области педагогики. Однако умение педагога-музыканта применять новые информационные технологии в своей профессии скоро, очевидно, станет совершенно необходимым. Компьютер с успехом поможет педагогу в выполнении рутинных операций (например, проигрывание музыкального диктанта и его проверка), позволит увлечь ученика яркими игровыми формами взаимодействия, которые могут быть легко достигнуты при разработке соответствующих приложений. Причем педагог может

разработать такие приложения сам, учитывая специфику своей методики преподавания, так как для этого не требуется каких-либо глубоких знаний системного программирования. Достаточно хотя бы немного владеть мультимедийными средствами разработки типа Macromedia Director или такими простыми стандартными средствами, как HTML и JavaScript.

– **Компьютер как инструмент композитора.** Приблизительно три века назад считалось, что работа композитора, в конечном счете, заключается в компоновке элементов различной высоты, продолжительности и громкости (то есть комбинация семи нот в целостное произведение). Другими словами, считалось не столь важным, на каком инструменте будет исполнен составленный композитором нотный текст, какой тембр будет иметь тот или иной звук. Затем, где-то со времен композитора Г. Берлиоза стала очевидной вполне понятная современному человеку истина, что тембровая окраска музыки часто играет более значительную роль при восприятии ее характера, чем мелодия! Действительно, одна и та же мелодия в исполнении трубы и скрипки будет воспринята слушателем по-разному: другой тембр – другое ощущение. Иногда музыканты говорят: «Мелодия имеет вокальную структуру и характер» или «инструментальный характер мелодического движения». А если композитор слышит с другой, более сложной точки зрения, например «имеет хоровое (фортепианное, скрипичное и т.д.) мышление»?

Отсюда оставался только один шаг до появления мелодий, имеющих именно тембровую основу, мелодий, где музыкальный образ заключался не в комбинациях мелодических мотивов, а собственно в окраске звучания инструмента в том или ином регистре. Тембр звука постепенно отделялся от звуковысотности и в XX веке это привело к значительному обогащению музыкального языка, к появлению различных стилей, использующих разного рода колористические звучания, а в сфере музыкальной информатики – к появлению термина «спектр звука».

Симфонический оркестр, вплоть до нашего времени, по праву считался «инструментом» с наиболее богатыми выразительными возможностями. В то же время, тембровый набор инструментов достаточно статичен. Чтобы хоть как-то обойти это ограничение, приблизительно с начала прошлого века композиторы стали придумывать различные тембровые миксты (смешения). Вначале выбирались наиболее естественно сливающиеся инструменты, а впоследствии стали появляться все более необычные сочетания, разрабатывались необычные исполнительские приемы. Некоторые композиторы для расширения тембровой палитры пытались использовать различные звучащие предметы, например, набор «настроенных стаканов».

При создании же музыкальных композиций с помощью компьютера композитор даже в простейшем случае имеет в своем распоряжении набор тембров, предоставляемый звуковой картой и/или внешним звуковым модулем, может не только редактировать имеющиеся у него тембры, но и синтезировать «с нуля» совершенно новые, абсолютно неповторимые тембры. Показательно, что тембр в наше время начинает играть все большую роль в качестве выразительного средства. Чем сложнее тембр отдельно взятого звука, тем менее существенной становится роль высотной и ритмической компоновки самих звуков. При этом понятие «звук» отделяется от понятия «ноты» как таковой и начинает жить собственной жизнью. Причем изменяющийся во времени звуковой спектр может стать настолько сложным, что для целой композиции будет вполне достаточно взятия одной «ноты» – звука с очень сложным спектром.

Попытки редактирования и создания тембров и целых «тембровых» композиций не раз предпринимались еще до повсеместного развития компьютерных технологий. Создавались аналоговые синтезаторы, использовались различные «трюки» с магнитофонной лентой и т.п. Однако все это было достаточно громоздко и неудобно в обращении. Зачастую композиции создавались исключительно ради того или иного технологического фокуса, не оставляя места собственно творчеству. Так, по признанию одного из «отцов» немецкой электронной музыки Карлхайнца Штокхаузена (*Karlheinz Stockhausen*), во время создания «Электронного этюда № 1» он часами резал и склеивал частички магнитофонной ленты, совершенно не представляя себе заранее звуковой результат. Вернее, результат этот оказывался весьма непохожим на то, к чему он стремился.

Весьма показателен и тот факт, что авторами такой музыки нередко становились инженеры, а не профессиональные музыканты. Для каждой музыкальной задачи в процессе создания тембра сплошь и рядом могло потребоваться совершенно разное оборудование, и это ограничивало творческий процесс, пожалуй, даже в большей степени, чем необходимость пользоваться строго заданным набором тембров, что и отталкивало профессиональных музыкантов.

При работе с компьютером композитор имеет сегодня под рукой все необходимые средства для сочинения, быстро переключаясь от одного к другому в случае надобности. А наличие удобного и дружелюбного пользовательского интерфейса дает возможность сосредоточиться на творчестве, не слишком отвлекаясь на чисто технологические вопросы.

### 4.3. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

#### *Дискуссия о нотных редакторах*

Проблема быстрой нотной записи музыкального произведения уже многие столетия волнует людей, так или иначе связанных с профессиональной музыкальной деятельностью. По сведениям музыковедов, многие композиторы отмечали, что ручная нотная запись часто не успевает за творческой мыслью и та может бесследно исчезнуть, так и не воплотившись. Рост компьютерных технологий в настоящее время дает возможность практически мгновенной записи музыкальной мысли без какой-либо потери. Для такой записи необходимо наличие определенного программного обеспечения и минимального технического оборудования в виде MIDI-клавиатуры, подключенной к компьютеру. Следует отметить, что практически во всем мире нотный набор осуществляется именно таким способом. В таких условиях музыкант получает возможность записать любую возникшую у него мысль, мгновенную импровизацию, которая потом могла и не повториться, не вспомниться. Однако не всегда музыкант имеет возможность работать на такой клавиатуре и, чаще всего, главным средством для нотного набора остается стандартная компьютерная клавиатура и мышь. В некоторых случаях можно использовать обычный клавишный синтезатор, также подключенный к компьютеру.

Программы нотного набора широко применяют в издательских центрах и коммерческих предприятиях, специализирующихся на выпуске нотной литературы. Среди профессиональных музыкантов необходимо выделить студийных и эстрадных исполнителей, для которых нотная запись имеет вспомогательное значение, выполняет функцию черновика для последующей работы. Также к этой группе относятся учителя музыки, в частности, руководители хоров и инструментальных ансамблей, где уже проблема нотной записи, аранжировки партитуры для ансамбля определенного состава и уровня подготовленности стоит довольно остро. Последнюю и наименьшую группу составляют частные пользователи.

В настоящее время существует много программ нотного набора, и их выбор определяется задачами пользователя, уровнем материальной обеспеченности и личными предпочтениями. Среди признанных лидеров в области программного обеспечения нотной записи можно назвать Finale и Sibelius. Программа Encore считается несколько устаревшей, однако ее материальная и техническая доступность, легкость освоения и работы с нотами являются ценными качествами среди пользователей начального уровня. Редактор Sibelius также довольно популярен у пользователей среднего звена за свою доступность и про-

стоту работы. На форумах Intertnet, посвященных данной проблематике, нередко признания, что в «отличие от других редакторов типа Finale, где приходится много думать, прежде чем что-либо сделать, в Sibelius просто садишься и делаешь». Программа Finale используется чаще всего в предприятиях издательского направления. Этому способствуют огромные функциональные возможности данного редактора, высокое качество нотного отображения и печати, возможность прослушивания нотной партитуры с применением всех музыкальных инструментов MIDI-стандарта и т.д. Главным «недостатком» Finale, если так можно сказать, пользователи считают именно ее сложность. Множество функций программы отразилось в большом количестве команд и меню. Для выполнения практически каждой задачи есть свое окно и группа команд, что часто приводит в растерянность и раздражает «не-терпеливых» пользователей.

И Finale, и Sibelius поддерживают дополнительные встраиваемые модули (Plug-In'ы), так что их возможности можно расширять, не дожидаясь выхода новых версий. Что же касается еще одного важного аспекта – вывода на печать – то здесь лидер, без сомнения, Sibelius. Если набирать одни и те же ноты в Finale и Sibelius – разница будет очевидной. В Sibelius ноты выглядят так, как будто они были напечатаны в нотном издательстве. Кстати, многие издательства за границей сейчас используют Sibelius. Однажды провели независимый тест – сравнение программ Finale и Sibelius. Было поставлено 10 сложных задач. В Sibelius'e были решены все, а в Finale – только 7 из 10.

Помимо целенаправленных программ, существует ряд музыкальных редакторов, где также реализованы функции нотного набора. Среди них можно отметить MIDI-секвенсер Cakewalk Pro Audio; Cubase – виртуальная музыкальная студия для профессиональных музыкантов и т.д. Встроенные модули нотного набора (т.н. **нотаторы**) в этих программах имеют вспомогательное значение, хотя с помощью некоторых команд можно сравнительно быстро, при помощи клавиатуры компьютера и мыши, набрать или скорректировать нотную партитуру, распечатать ее для дальнейшей работы.

### ***Midi-секвенсеры***

**Секвенсер** – это устройство (аппаратное или программное), которое запоминает последовательность действий исполнителя и временные промежутки между ними. Преимущество секвенсера перед магнитофоном состоит в том, что в любой момент можно внести необходимые изменения в аранжировку, не перезаписывая заново измененную партию. Как правило, все современные синтезаторы имеют в своем составе многотрековый (многоканальный) секвенсер с более или менее развитыми возможностями редактирования.

В функции программного секвенсера входит запись и воспроиз-

ведение MIDI-партитур, отображение их в различных форматах, различное редактирование как нот (транспонирование (*transposition*), квантование-выравнивание (*quantization*), сдвиг фрагмента (*sliding*) и т.п.), так и управляющих событий – смены инструментов, генерации серий значений контроллеров, имитирующих движение регуляторов, вставки системных сообщений SysEx и т.п. Профессиональные секвенсоры позволяют также присоединять к партитуре WAV-файлы, которые будут воспроизводиться вместе с нею в нужные моменты времени.

Наиболее известны секвенсоры Recording Session, Cakewalk, Cubase, Logic и др. Многие из секвенсоров работают также и с аудио-файлами, что значительно расширяет возможности пользователя. Например, помимо работы с MIDI, программа Cubase имеет возможность записи, редактирования и воспроизведения оцифрованного звука с частотой дискретизации до 96 кГц и разрядностью до 32 бит; поддержку VST и DX плагинов; многоканальных форматов звука (*surround*) вплоть до формата 5.1; возможность автоматизации любого параметра воспроизведения, обработки и синтеза звука; импорт и экспорт цифрового звука в различных форматах; воспроизведение цифрового видео; микширование сигналов и управление студийным оборудованием; практически неограниченное число уровней отмены операций редактирования и т.д.

#### ***Программы для обработки и сведения звука***

Популярными программами в различных сферах звуковой обработки являются Adobe Audition, Sound Forge, Samplitude, Software Audio Workshop (SAW32), WaveLab, Nuendo, Reason и другие. Они дают возможность записывать и редактировать звук, просматривать осциллограммы обоих стереоканалов, прослушивать выбранные участки, делать вырезки и вставки, амплитудные и частотные преобразования, звуковые эффекты (эхо, реверберацию, фленжер, дисторшн), наложение других оцифровок, изменение частоты оцифровки, генерировать различные виды шумов, синтезировать звук и т.д. Программы содержат спектральный анализатор, отображающий спектр выбранного участка оцифровки, могут накладывать эффекты и управлять ими в реальном времени при помощи виртуальных панелей. Многие из них позволяют сводить подготовленные оцифровки, задавая для них положение, уровень и панораму в виртуальном микшерском пульте; загружать и сохранять оцифровки в различных форматах, что дает возможность преобразовывать файлы из одного формата в другой и разделять стереоканалы.

Для примера, редактор Sound Forge радуется обилием поддерживаемых форматов файлов и имеет уникальные возможности для совместной работы с семплерами. Способность программы использовать плагины и работать с операционной системой Windows для процессоров Alpha, MIPS и PowerPC также не имеет конкуренции.



В качестве более простой для освоения программы, чем Sound Forge, можно предложить звуковой редактор Dexter. Программа поддерживает большинство современных звуковых форматов, имеет большое количество разнообразных звуковых настроек и фильтров, обладает интуитивно понятным интерфейсом (для человека хоть немного владеющего английским языком).

WaveLab отличается в качестве программы для мастеринга CD, поскольку может работать с 24-разрядными файлами и имеет специальные возможности для подготовки CD. Программа способна производить обработку в реальном времени. WaveLab обладает высоким качеством алгоритмов и высокой скоростью обработки.

Хочется уточнить, что данные программы являются универсальными редакторами. Существуют также специализированные программы, предназначенные для выполнения какой-то определенной обработки (например, программы реставрации звука DART Pro и D-Noise). Тут необходимо помнить, что чем проще программа (за редким исключением), тем более простые алгоритмы обработки в ней используются, что и оказывает порой негативное влияние на конечный результат.

### ***Программы-семплы***

Нужно сказать, что программ-семплов в чистом виде уже практически нет. Семплы получили возможность синтеза звука, а синтезаторы стали использовать семплы как материал для последующей обработки. Кроме того, даже в аудиоредакторах, например Sound Forge, внедряются программные возможности для создания и редактирования **семплов** – оцифрованных фрагментов звука, иногда даже целых музыкальных мотивов.

В простейшем варианте семплы существуют в виде так называемых программ-дансмейкеров – программ для создания танцевальной музыки и виртуальных драм-машин, где вся музыка укладывается в составление партии ударных инструментов – барабанов, тарелок, бубна и так далее. Реальные «железные» драм-машины были весьма популярны среди музыкантов, поэтому их компьютерных аналогов появилось тоже немало. Такие программы основаны на идеологии детского конструктора «лего» (музыкальная композиция собирается из заранее подготовленных фрагментов-кирпичиков), поэтому пользователю можно обойтись совсем без знания музыкальной грамоты. Из семплов такого типа можно выделить программы семейства e-Jay (Dance, Dance Machine, Techno Machine), Music Maker и драм-машины Drumstation, HammerHead Rhythm Station, Band-n-Vox и другие.

Некоторые программы-семплы, постепенно усложняясь, как например FruityLoops, превращались в некие виртуальные студии, с возможностями, на порядок превосходящими возможности первых семплов. Такими программами являются FL Studio, Sony ACID и другие.

### ***Программы звукового синтеза***

Для синтеза звука (имитация естественных звуков, инструментов, получение новых звучаний) существует множество программ, в частности Rebirth, Virtual Waves, SimSynth, KarmaFX, Korg Legacy Collection Digital Edition и др. Однако флагманом данного направления многие считают два программных продукта – синтезатор Absynth от компании Native Instruments и Neuron vs от Hartman Music GmbH.

*Кстати, с программами Native Instruments работает очень много известных музыкантов (группы Depeche Mode, Yello Linkin Park, композиторы фильма «Матрица: Перезагрузка»).*

Оба эти синтезатора выполняют почти идентичные задачи – создание современных звуковых текстур и новых инструментов для озвучивания игр и кино. Absynth – один из немногих синтезаторов, позволяющих работать в рамках многоканальных систем (до 8.0, а вот Neuron vs лучше работает в стерео); использует различные виды синтеза; обладает прекрасной графической частью в области управления процессами и настройками, интерактивностью дизайна.

Neuron является программным воплощением аппаратного синтезатора NEURON, использующего уникальную технологию ресинтеза звука, и выполнен в виде плагина (plug-in) для платформ PC и Mac. Яркой особенностью данного синтезатора является технология разбиения звучания на две ключевые группы параметров – первая относится к источнику звука (материал инструмента, размер, вибрация и т.д.), вторая – к параметрам, влияющим на окраску (тембр) звука. Благодаря различному совмещению параметров от различных источников звука, становится возможным эффект **морфинга**, когда инструмент сохраняет свой тембр, но ведет себя по правилам другого. Например, совместив человеческую речь и тембр любого инструмента, скажем гитары, можно добиться иллюзии, что инструмент разговаривает.

Еще одной интересной разновидностью данного типа программ являются *синтезаторы вокала*. В частности, программа Phonotron позволяет менять ноты в вокальной партии, выравнивать по высоте «грязное» пение, растягивать звуковые фрагменты. Синтезатор VirSyn Cantor позволяет создавать вокал на основе многочисленных параметров и работает как в самостоятельном режиме, так и в виде плагина. Компания Zero-G, использовав разработку Yamaha Vocaloid, создала три программных продукта – Vocaloid Leon (синтез мужского голоса), Vocaloid Lola (женского) и Vocaloid Miriam (ресинтез вокала известной певицы Miriam Stockley). Работа с данными редакторами больше всего напоминает процесс написания трека в MIDI-секвенсере, где за каждой нотой стоит определенный слог. Vocaloid может заменять слоги, регулировать вибрато и управлять динамикой, выполнять транспонирование и т.д. На базе этого синтезатора можно создать фирменную бэк-вокальную

«пачку», при этом не нужно заботиться о точном попадании в ноты, харизме голосов, эффекте живого присутствия – все это есть.

Говоря о программных синтезаторах и, выше, семплерах, нельзя не упомянуть очень своеобразный продукт, который, по заверениям разработчиков, является связующим звеном между реальным инструментом и программным семплером, а также фактически «убивающим» рынок синтезаторов и семплеров. Программа SampleRobot позволяет записывать как внешние инструменты, так и виртуальные – ноту за нотой, звук за звуком, создавая таким образом библиотеки звуков какого угодно количества. Тем самым, отпадает необходимость в покупках банков инструментов, а пользователь получает возможность использовать созданные библиотеки семплов во множестве семплерного ПО.

Синтезаторы делятся на *три основные группы*.

- **Аналоговые синтезаторы**, которые реально синтезируют звук с помощью устройств, называемых *генераторами*. Несмотря на то, что такие инструменты уже давно сняты с производства, музыканты всего мира продолжают использовать их в своей работе. В первую очередь это объясняется тем, что подобные инструменты обладают очень теплым и глубоким звуком и огромными возможностями по созданию новых, необычных тембров. Очень важное преимущество этих инструментов заключается в том, что с их помощью можно управлять синтезом звука в реальном времени, т.е. в процессе исполнения, что, конечно, привносит большое разнообразие в исполняемую партию.

- **Синтезаторы типа sample playback**. Это цифровые синтезаторы. Они работают по типу воспроизведения семплов, которые хранятся в их постоянной памяти (ROM). В эту память записаны реальные звуки живых и электронных инструментов, которые воспроизводятся с разной высотой с помощью клавиатуры. Синтезаторы такого типа являются мультитембральными, т.е. могут одновременно воспроизводить звучание многих инструментов. Разновидностью данного типа можно считать программы-семплеры. От предыдущего типа они отличаются тем, что вместо постоянной памяти у них установлена оперативная память большого объема, в которую можно записать любые звуки, а потом воспроизвести их с разной высотой при помощи клавиатуры. Семплеры – наиболее реальные имитаторы живых инструментов.

- **Программные синтезаторы** используют передовые технологии, большинство известных методов звукового синтеза и семплинга, часто являются цифровой эмуляцией (подобием) известных аналоговых синтезаторов. В настоящее время происходит естественное сближение и даже слияние последних двух типов. Программные синтезаторы приобретают оперативную память, в их генераторы можно загружать семплы любых форм волны, в том числе и обычные wav-файлы. Семплеры же часто имеют развитые синтезаторные способы

формирования звука, а иногда и специальную перезаписываемую постоянную память (*flash ROM*), в которую возможно загружать данные, как и в оперативную.

### ***Программные плееры***

Наиболее распространенным программным плеером для ОС Windows, работающим с аудиофайлами различных форматов является **WinAmp**. В нем есть функции загрузки, как отдельного файла, так и каталога, гибкая система сортировки файлов, возможность записи списка произведений (так называемый плей-лист) в отдельный файл. В наличии также традиционные кнопки воспроизведения, остановки, перемотки, регулятор панорамы, эквалайзер (если есть нормальная акустическая система, то лучше регулировать частоты именно на ней, а не средствами WinAmp – будет меньше искажений) и т.д.

В отличие от программ обработки звука, плеер может работать как в полном окне, так и в свернутом (пишите письма в интернет и наслаждайтесь музыкой одновременно!). Для пользователей, особо требовательных к внешнему виду программы, WinAmp предлагает разные графические оболочки – так называемые «скины». Кроме того, многие окна программы можно закрыть, для освобождения полезного пространства монитора.

В противоположность предыдущему, плеер **JetAudio** можно рассматривать многофункциональный медиакомбайн, чьи возможности на порядок превосходят традиционный WinAmp. Среди задач, успешно решаемых этой программой, можно назвать работу с аудио, DVD и Video-дисками; понимание всех распространенных аудио и видеоформатов; возможность настройки объемного звука; управление питанием (для пользователей ноутбуков); возможность конвертирования и записи дисков. JetAudio обладает спектрографом, достаточно хорошим эквалайзером, настройками визуальных эффектов, способностью управления скоростью воспроизведения. Также с помощью JetAudio можно создать свою интернет-радиостанцию.

### ***Программы конвертирования аудиофайлов***

Большинство этих программ предназначено для конвертирования файла одного звукового формата в файл другого формата, поскольку в компьютерной технологии применяются десятки форматов. В то время как существуют целевые программные средства для конвертирования звуковой информации, подобные встроенные функции присутствуют во многих аудио-редакторах. Выбор программы конвертации, за редким исключением, больше зависит от личных предпочтений пользователя, чем от технических характеристик. Программы такого типа можно условно разделить на следующие категории:

➤ **Программы захвата** или «аудиограбберы» (англ. «*grab*» – захватить), позволяющие конвертировать (пересчитать) треки аудио компакт-дисков в звуковые файлы wav, ra, raw, mp3 и т.д.: CDGRAB, Audiograbber, CDex и т.д. Здесь необходимо отметить, что не каждая программа работает с любым CD-ROMом. Поэтому прежде, чем применять ее, лучше ознакомиться со списком устройств, для которых она предназначена

➤ **Программы двухстороннего кодирования форматов mp3 и wav** – Producer, MP3enc, Lame, BladeEnc, SoloH Mpeg Encoder, Pulse MP3 Master и т.д.

➤ **Программы-конверторы для банков и инструментов** различных синтезаторов и звуковых модулей. Многие синтезаторы позволяют сохранять параметры своих тембров в виде файлов. Эти файлы имеют разную структуру и не могут быть непосредственно прочитаны синтезатором другой фирмы. Для того, чтобы решить эту проблему, и были созданы программы-конверторы этого типа, например, Convert, S-Converter.

➤ **Программы преобразования wav-файлов в формат MIDI** – TS-AudioToMidi, Baston, Sound2Midi, Recogn, AutoScore и др. Эти программы позволяют «разложить» чистое звучание в нотную запись, что чрезвычайно помогает в расшифровке гармоний и мелодии, а также создание «минусовок» на их основе. Некоторые такие программы обладают более широкими возможностями, как например, WinGroove – достаточно старый конвертор MIDI-файлов в формат wav. Однако, это еще и самостоятельный программный синтезатор, изначально предназначенный для улучшения звучания инструментальных файлов MIDI.

Нужно сказать, что в принципе задача конвертирования wav в MIDI невозможна, поскольку это абсолютно разные технологии. Данные программы решают *частные* случаи такой конвертации, которая сводится к распознаванию большого числа сложных звуковых образов и требует очень большого количества ресурсов. И только для предельно простого случая (одноголосное исполнение тембром с выраженной звуковысотностью) возможны распознавание высоты отдельных нот и генерация партитуры (программы).

Также можно отметить такие программы, как Goldwave – универсальный звуковой редактор, который может читать файлы всех известных форматов, включая РС – несовместимые, преобразуя их в стандартный аудио файл; Mp3 To Exe – преобразование файлов mp3 в исполняемые файлы формата exe, благодаря чему не требуется наличия mp3-проигрывателя для их воспроизведения.

#### 4.4. ПОДКЛЮЧАЕМЫЕ МОДУЛИ (PLUG-IN) И ИХ ФУНКЦИИ

Разработку профессиональной программы, особенно виртуальной студии, можно сравнить с постройкой большого многофункционального здания. Здесь и жилой блок на десять этажей, и торговый комплекс, и даже компьютерный магазин и сотни других уголков! Но вот здание построено, началась эксплуатация. А со временем начались робкие вопросы типа: «А можно ли здесь?..». Не то чтобы плохое здание, но человек, обживая место, всегда ищет возможность что-то где-то улучшить. Что делать? Не ломать же здание? Правильно, можно его модернизировать. Скажем, стену пробить, другую систему вентиляции поставить и т.д. И сразу становится всем хорошо.

В чем же преимущества и недостатки дома под названием «виртуальная студия»? Основное достоинство – это компактность и относительно дешевизна при серьезном качестве звука. С первыми двумя утверждениями согласится любой музыкант или звукоинженер. А вот последнее утверждение (о серьезном качестве звука) вызывает, как правило, некоторые сомнения, особенно после прослушивания мастер трека начинающего звукорежиссера.

Еще недавно эти сомнения были довольно основательны. Музыкальные программы, обладая сотнями функций, не всегда решают наши задачи так, как нам бы хотелось. То эквалайзер шум добавляет, то на фрагмент забыл эффект поставить и поэтому приходится заново открывать программу-редактор. Платы цифрового ввода-вывода звука и внешние преобразователи в свое время сняли проблему качественной оцифровки, однако программная обработка не выдерживала критики по двум позициям: отсутствие возможности «управлять» звуком «на ходу» в приложениях, имеющих качественные алгоритмы; некачественный звук, производимый модулями обработки, действующими в реальном времени. Были, конечно, и исключения, но такие решения, во-первых, были «закрытыми» – программа поддерживала только «железо» своей фирмы, а, во-вторых, стоили сравнительно дорого. Остальное же годилось разве что для мультимедийных проектов и записи демо.

За последнее время произошли очень серьезные перемены. Стремительный рост производительности процессоров, безусловно, не мог не оказать влияния на бурное развитие программного обеспечения, предназначенного для профессиональной обработки аудио данных. Не в меньшей степени этому способствовала и разработка компанией Microsoft программного интерфейса **DirectX**, предназначенного для упрощения написания программ для работы с графикой и звуком, в том числе и в реальном масштабе времени. В результате, два этих фактора, объединившись, произвели своего рода небольшую революцию в области обработки звука в реальном времени и бум виртуальных студий на

IBM-совместимых компьютерах. DirectX позволяет, имея базовую программу, до бесконечности наращивать возможности студии путем приобретения подключаемых модулей **plug-ins**, реализующих те или иные функции обработки и действующих в реальном времени.

*Некоторые из них пишутся под конкретную программу (например, все плагины M-Audio предназначены для аудиостудии SAW32), другие используют возможности технологии, скажем, DirectX (как плагины фирм Sonic Foundry или SakeWalk) и, следовательно, будут встраиваться в любое приложение, которое поддерживает эту технологию. Это необходимо помнить и при выборе плагина обязательно учитывать, какой стандарт он поддерживает или для какой программы был написан.*

Для работы с модулями эффектов, прежде всего, необходимо иметь программное обеспечение, предназначенное для обработки аудио и имеющее поддержку интерфейса DirectX. Выпускаемые модули в большинстве случаев не являются самостоятельно работающими продуктами, для них необходима базовая программа-носитель (аудиоредактор, виртуальная студия, секвенсер и т.д.)! Теперь, имея какой-нибудь встраиваемый дополнительный модуль эффектов (*plug-in*), по окончании его установки можно вызывать данный эффект в любой из программ, поддерживающих данный интерфейс. Благодаря такой технологии появляется возможность пользоваться широким набором самых разнообразных аудио эффектов, не покидая любимейшей программы редактирования звука! Характерной особенностью DirectX эффектов является то, что все они работают в реальном времени – достаточно лишь нажать на кнопку Preview (предварительное прослушивание), и можно отстраивать все параметры выбранного эффекта прямо в процессе воспроизведения выбранного звукового фрагмента. Также, преимуществом DirectX модулей перед традиционно использовавшейся программной обработкой звука является полная совместимость с всевозрастающим количеством программ обработки.

Помимо модулей DirectX были разработаны и другие. Например, интерфейс **VST**, для компьютерных платформ PC и Mac (Макинтош). Нужно заметить, что VST является в некотором роде конкурентом DirectX, так как специально был разработан фирмой Steinberg в качестве альтернативной платформы для поддержки эффектов реального времени. Также существуют плагины для интерфейсов **AU**, **RTAS** (также на Mac), **ASIO**, **ReWire**. С увеличением количества подключаемых модулей и повышением качества, разработчики программных продуктов стали внедрять возможность использования сторонних плагинов. Так появились программы, поддерживающие несколько интерфейсов. Например, Cubase VST, WaveLab или Logic Audio (германской фирмы Emagic) поддерживает DirectX и интерфейс VST, программа CakeWalk Sonar – DX и ReWire и т.д. Также происходит значительное пополнение библиотеки модулей – даже те производители, которые на

протяжении долгого времени выпускали модули эффектов для одних систем, объявляли об их переносе на новые платформы.

Процесс обработки звука в любом звуковом редакторе требует подключения различных звуковых эффектов Plug-ins. На самом деле их существует великое множество, но далеко не все являются удачными. В качестве примера, можно привести плагины Replicant (для оживления и разнообразия ударных партий) и Ronin (мультиэффект-процессор!) от компании Audio Damage; Gearbox от Line6, где на физическом уровне (см. Метод физического моделирования) были смулированы ВСЕ(!) привычные для гитаристов «примочки» и эффекты; плагин от Пола Харвея для стандарта VST – Extra Boy (спектральное или пространственное удаление вокала); Inspector, позволяющий проанализировать фонограмму на наличие ошибок и баланса; плагин Noise Reduction для Sound Forge, который позволяет эффективно подавлять шумы и прочие помехи из сигнала и т.д.

#### **4.5. ПОНЯТИЕ ИНТЕРФЕЙСА. ТИПЫ МУЗЫКАЛЬНЫХ ФАЙЛОВ, ИХ ПРОГРАММНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

В ранних моделях компьютеров пользователю приходилось оперировать с программами и данными, «общаясь» с компьютером напрямую на его «языке» (обычно в двоичном коде). Для того чтобы облегчить ему работу, принято в качестве «переводчика» между человеком и компьютером использовать специальную программу, называемую **операционной системой** (ОС). При помощи операционной системы пользователь может легко оперировать программами и данными, пользуясь понятными ему командами или с помощью визуального изображения объектов на экране.

Практически для каждой модели компьютера была написана своя операционная система, причем в большинстве случаев не в единственном «экземпляре». Это привело к тому, что некоторые программы, написанные для данной аппаратной платформы, могли выполняться на ней лишь под управлением определенной ОС, а при ее отсутствии выполнялись неправильно или неожиданно завершались в самый неподходящий момент. Сейчас принято, чтобы программа, в том числе и музыкальная, в самом начале своего выполнения проверяла наличие необходимой ОС и в случае ее отсутствия сразу завершала свою работу с выводом сообщения о необходимости ее установки. Таким образом, сегодня ОС является необходимым элементом всей компьютерной системы.

Различных операционных систем существует довольно много, и одно из основных их отличий – **пользовательский интерфейс** (*interface*) – способ обмена информацией между программой и пользо-



*вателем.* Интерфейсом вообще называют то, что обеспечивает обмен информацией между различными аппаратными или программными средствами. Это может быть и какое-либо физическое устройство, и программный элемент, и целый комплекс, содержащий и то, и другое, причем зачастую не в единственном числе.

*Например, обмен данными в большинстве современных систем обычно осуществляется с помощью интерфейса USB; между компьютером и сканером – с помощью SCSI, а программные приложения ОС Windows часто взаимодействуют с помощью программного интерфейса приложений (API).*

Различают два основных типа пользовательского интерфейса – консольный и графический. **Консольный интерфейс** предлагает пользователю набор команд, «понимаемых» программой. Пользователь должен вводить эти команды с клавиатуры. Чтобы запустить программу в ОС с консольным интерфейсом, пользователь должен набрать имя ее исполняемого файла с указанием полного пути, а в некоторых ОС – команду запуска, например: `run mzl: tet.sav`. Для той же операции в ОС с **графическим интерфейсом** достаточно щелкнуть мышью на соответствующем объекте на экране (кнопке, панели, фейдере и т.д.). Практически все программы для Windows обладают графическим интерфейсом.

#### ***Типы музыкальных файлов. Их программная совместимость***

На жестких дисках современного компьютера (а также на других накопителях) обычно находится одновременно много различной информации, представленной в двоичном коде. Для того чтобы получить доступ к той или иной информации, а также для запуска программ, записанных на диске, требуется указать, с какого конкретно места на диске следует считывать данные, то есть указать номер сектора диска, номер дорожки и т.п. Эти данные принято объединять в поименованные последовательности, называемые **файлами**, а в начальном секторе диска хранить информацию об именах этих файлов и их физическом расположении на диске. Файлом может являться и программа, и текст, набранный пользователем, и оцифрованный звуковой фрагмент.

Когда пользователь начинает работу с каким-либо файлом, системе необходимо «знать», с помощью какой программы его можно открыть и в каком формате он записан. Например, если файл содержит обычный текст, то он может быть прочитан в любом текстовом редакторе (Блокнот, Word Pad и т.п.), если это звуковой фрагмент – то в Универсальном проигрывателе или каком-нибудь звуковом редакторе (Sound Forge, WaveLab и т.п.). Если же попробовать открыть текстовый файл в звуковом редакторе, то последний выдаст сообщение об ошибке (неверный формат файла), а если вы откроете звуковой файл в виде текста, то увидите на экране полную бессмыслицу.

Для того чтобы программы и операционные системы могли «с первого взгляда» определить тип файла, принято к имени файла добавлять так называемое расширение. От самого имени файла расширение отделяется точкой и состоит обычно из трех символов.

В Windows, а также в ряде других ОС и в Интернете принят ряд стандартных расширений (типов) имен файлов. Каждый пользователь, занимающийся записью и обработкой звука на компьютере, имеет дело с большим количеством аудиофайлов различных типов и форматов. Их выбор зависит от особенностей использования в различных программных средствах, операционных системах, от способов кодирования и т.д. Среди множества типов и форматов наиболее употребляемыми являются **\*.wav**, **\*.mp3**, **\*.mid**, **\*.ogg**, **\*.cda**, **\*.aiff**, **\*.wma**, **RealMedia** и т.д.

В настоящее время основным стандартом являются два формата: Microsoft RIFF (*Resource Interchange File Format* – формат файлов передачи ресурсов), Wave (**.WAV**) и SMF (*Standard MIDI File* – стандартный MIDI-файл) (**.MID**). Первый содержит оцифрованный звук (моно/многоканальный звук, 8...32 бит, с разной частотой оцифровки), второй – «партитуру» для MIDI-инструментов (ноты, команды смены инструментов, управления и т.п.). Поэтому WAV-файл на всех картах, поддерживающих нужный формат, разрядность и частоту оцифровки звучит совершенно одинаково (с точностью до качества преобразования и усилителя), а MID-файл в общем случае – по-разному.

Как правило, все редактирование звука, для большинства программных средств, осуществляется в рамках формата **\*.wav**. Единственной проблемой **wav**-файлов является их большой объем – минута звучания занимает на жестком диске около 10 Мб. После процесса редактирования звуковую информацию конвертируют, «сжимают» в другие форматы, в зависимости от использования в определенных проигрывателях, программных средствах или просто в целях увеличения свободного места на винчестере. Наиболее распространенным из них является сжатый формат **\*.mp3** (Mpeg Layer 3). В его основе лежит обрезание тех частот, которые человеческое ухо не улавливает или улавливает, но плохо, резервирование информации, по которой потом восстанавливаются высокие частоты и т.д. За счет специальных алгоритмов компрессии достигается сжатие оригинального **wav**-файла в 10–12 раз, причем результирующий звук считается на уровне качества аудио-CD. Еще одним распространенным расширением является формат **\*.cda**, используемый в компакт-дисках и представляющий собой особый ярлык к **wav**-файлу (по объему в несколько байт), что часто приводит к распространенной ошибке у начинающих пользователей. Обычное копирование файлов **\*.cda** с компакт-диска на компьютер бессмысленно! Чтобы скопировать «истинные» файлы, нужно вос-

пользоваться специальной программой конвертации, в результате чего на жестком диске появятся файлы с расширением **\*.wav** или **\*.mp3**.

Конечно, существует очень большое количество всевозможных расширений и типов файлов. Дело в том, что каждая вновь создаваемая программа может использовать как уже имеющийся стандартный тип для своих рабочих файлов, так и свой собственный. Так, графический редактор Adobe Photoshop может работать со стандартными форматами рисунков (bmp, jpg, tif и пр.), но в то же время имеет свой собственный файловый формат (psd). MIDI-секвенсер Cubase может работать со стандартными MIDI-файлами (mid), но при работе с ним чаще используется несколько оригинальных форматов. Тяга разработчиков ПО к оригинальности в форматах кодирования и сжатия аудио часто приводит к определенным казусам. Операционная система не всегда правильно определяет программу, в которой был создан тот или иной файл. Например, при открытии рисунка в формате psd операционная система загружает как рисунок, так и соответствующую программу, т.е. Photoshop. А вот файл со стандартным расширением wav часто открывается через Универсальный проигрыватель (Проигрыватель Windows Media), а не через тот же Sound Forge, где он был создан. Во избежание подобных ошибок рекомендуется вначале загрузить программу, в которой вы намереваетесь работать, а уж потом через нее открывать нужный файл!

*Есть и другой способ, однако он не всегда срабатывает. Надо щелкнуть по имени файла правой клавишей мыши, из контекстного меню выбрать «Открыть с помощью...». В появившемся окне надо выбрать программу, в которой будут открываться все файлы такого расширения, и поставить галочку в окошке «Использовать ко всем файлам такого типа».*

Любителям компьютерных игр иногда хочется посочувствовать. В играх часто встречается замечательная музыка, которую хочется сохранить на компьютере. Однако разработчики, в целях сохранения авторских прав, часто кодируют звуковые файлы в свои, только им известные форматы. Попытка воспроизвести эти файлы через какую-нибудь музыкальную программу не приводит к успеху. Совсем отчаявшимся можно посоветовать либо искать саундтреки этих игр, либо (более сложный и также часто не срабатывающий способ) искать в том же Интернете программу-распаковщик данных игровых файлов.

Наличие различных типов файлов приводит к появлению проблемы их совместимости в той или иной программе. Конечно, большинство музыкальных программ поддерживает стандартные расширения файлов. Однако, что делать, если надо одновременно работать с файлами различных расширений? Здесь есть ряд особенностей. Например, каждый музыкальный редактор может сохранять звуковой файл в формат, отличный от исходного (через команду «Сохранить как»). Также, большинство программ поддерживает функции импорта

и экспорта файлов. Тот же MIDI-секвенсер может импортировать (загружать) аудио файлы; нотный редактор – экспортировать (конвертировать) набранную партитуру в формат другой нотной программы, нотный текст можно экспортировать и в midi-файл для загрузки в MIDI-секвенсере и т.д. Кроме того, существует множество специальных программ-конвертеров, позволяющих «переделать» звуковой файл в формат, нужный для пользователя.

### **Вопросы для повторения:**

1. Проблемы классификации музыкальных программных средств.
2. Критерии оценки музыкальных программных средств.
3. Общие и профессионально значимые функции программного средства.
4. Основные направления использования музыкальных компьютерных технологий.
5. Краткая характеристика программ нотного набора, MIDI-секвенсеров, семплеров и плееров.
6. Краткая характеристика программ синтеза, обработки, сведения и конвертирования звука.
7. Подключаемые модули: их значение, функции, платформы.
8. Наиболее распространенные типы музыкальных файлов. Их программная совместимость.

# Ч. ЗВУК МЕТО ХАРАКТЕРИСТИКИ

## 5.1. ПОНЯТИЕ ЗВУКА И ЕГО ПАРАМЕТРОВ

Необходимо сказать, что среди музыкальных компьютерных технологий существуют две тесно связанные между собой, но совершенно различные технологии – цифровое аудио и MIDI. Различные варианты работы с цифровым аудио также можно условно разделить на два направления – запись/обработку готовых звуков и синтез звука «с нуля», хотя и они тоже тесно связаны между собой. Именно эти две технологии и будут рассматриваться в дальнейшем, поскольку они являются наиболее значимыми для использования музыкальных возможностей ПК. Но прежде вспомним, что такое звук вообще, и какие он имеет свойства.

Из курса физики известно, что любой предмет, совершающий возвратно-поступательные движения (камертон, струна рояля или гитары, наши голосовые связки и т.д.), вызывает в воздухе попеременное уменьшение или увеличение плотности. Движения одних молекул воздуха передаются другим молекулам, в результате чего в пространстве распространяются *периодически повторяющиеся зоны увеличения и уменьшения плотности*. Они-то и представляют собой **звуковую волну**. Барабанная перепонка нашего уха под действием воздушных колебаний также начинает колебаться, а информация о характере этих колебаний передается в мозг, который воспринимает их в виде звука. Таким образом, в феномене восприятия звука есть **три главных компонента** – тело, как источник колебаний; упругая среда (вода, воздух, металлическая конструкция и т.д.), передающая эти колебания; и приемник колебаний (слуховой аппарат, устройство записи и т.д.). Без какого-либо из этих компонентов говорить о звуке можно только условно, например, согласно классическому вопросу дзен: «Как звучит хлопок одной ладони?».

Звуковые колебания несут в себе информацию о таких свойствах звука, как высота, длительность, громкость, пространственную локализацию и, с некоторыми оговорками, тембр.

*Количество колебаний воздуха в секунду* называется **частотой звука**. Частота измеряется в Герцах (Гц): 1 Гц = 1 колебание в секунду; или килогерцах (кГц): 1 кГц = 1000 Гц. **Высота** звука представляет

собой *восприятие мозгом частоты колебаний*. Далеко не любые колебания будут восприняты нами как звук. Волны с разной частотой воспринимаются нами как звук разной высоты: волны с малой частотой воспринимаются как низкие, басовые звуки, а волны с большой частотой – как высокие.

*Например, комар совершает в секунду от 300 до 500 полных взмахов крыльями, то есть совершает колебания с частотой 300–500 Гц, которые и воспринимаются нами в виде надоедливого писка.*

Большинство людей способно воспринимать звуковые колебания с частотой от 20 до 18 000 раз в секунду (от 20 Гц до 18 кГц). Именно этот диапазон волн называется **звуковым диапазоном**. Самое же простое явление, не требующее дополнительных объяснений – это **длительность звука**, которое представляет собой *восприятие продолжительности колебаний*.

Любая звуковая волна, которая распространяется в пространстве, может оказывать на встречающиеся препятствия (в том числе и на наши барабанные перепонки) некое давление. Люди, которые бывали на рок-концертах и стояли около мощных колонок не понаслышке знают, что оно может быть и очень сильным. Мы субъективно воспринимаем изменение давления звуковых волн в виде ощущения изменения громкости звука. Максимальное изменение давления в воздухе при распространении звуковых волн, по сравнению с давлением при отсутствии волн называется звуковым давлением. Но в акустике, при оценке интенсивности звуковых волн чаще применяется другое понятие – **сила звука**. Оно показывает *поток звуковой энергии, который каждую секунду проходит через квадратный сантиметр условной плоскости, расположенной перпендикулярно направлению распространения волны*. Сила звука описывает энергетические свойства самой волны и измеряется в ваттах/кв. сантиметр (Вт/кв.см). Математически, сила звука = звуковое давление в квадрате.

Для того, чтобы мы смогли услышать тот или иной звук, его сила должна быть больше определенного уровня. Этот уровень называется **порогом слышимости**. То есть, если звуковая волна имеет малую интенсивность – ниже этого порога, мы просто не воспринимаем ее, и нам кажется, что вокруг стоит полная тишина, хотя на самом деле воздух вокруг колеблется. Точно также дело обстоит и со звуками большой интенсивности – мы слышим звук только до определенного уровня, который называется **болевым порогом**. Если сила звука больше этого уровня, то мы испытываем боль в ушах. Разница между уровнями болевого порога и порога слышимости называется **динамическим диапазоном** слуха. Мы способны воспринимать изменения силы звука в огромных пределах: сила звука болевого порога превосходит силу звука порога слышимости в тысячу раз!

Теперь давайте более подробно поговорим о **громкости звука** – нашем субъективном ощущении от звуковых волн, имеющих разный уровень давления, силы. Наше ощущение громкости во многом зависит от частоты звука. Высокие и низкие звуки, имеющие одинаковый уровень, субъективно воспринимаются нами как звуки разной громкости. А значение уровня звука и субъективно слышимой громкости совпадают только на частоте 1000 Гц. На основании исследований человеческого слуха были построены графики, которые известны каждому звукорежиссеру как **кривые равной громкости**. Исследователи доказали, что мы гораздо лучше слышим на средних частотах. А вот на низких и высоких частотах чувствительность слуха притупляется.

Из графика кривых равной громкости следует важный для практической деятельности вывод. Оказывается, при уровнях громкости 80–90 дБ наши уши **наиболее** адекватно передают звуковую картину. Поэтому любые работы по корректировке звучания фонограмм лучше всего делать при достаточно высокой громкости звука в акустических системах – 80–90 дБ (примерно такой же уровень имеет шум в вагоне метро или звучание гитары на расстоянии 40 см). При работе со звуком меньшего уровня вероятность ошибки возрастает – ведь восприятие низких и высоких частот будет притупляться.

Здесь еще есть некоторые нюансы. Единицей измерения громкости является **децибел**, однако, это величина относительная. Существуют две наиболее распространенные **шкалы громкости**. Согласно **первой** из них, абсолютной, за ноль децибел принимается уровень громкости, находящийся на пороге слышимости:

Звук	Интенсивность, мкВт/м <sup>2</sup>	Уровень звука, дБ
Порог слышимости	0,000001	0
Спокойное дыхание	0,00001	10
Шум спокойного сада	0,0001	20
Перелистывание страниц газеты	0,001	30
Обычный шум в доме	0,01	40
Пылесос	0,1	50
Обычный разговор	1,0	60
Радио	10	70
Оживленное уличное движение	100,0	80
Поезд на эстакаде	1000,0	90
Шум в вагоне метро	10000,0	100
Гром	100000,0	110
Порог ощущений	1000000,0	120

Однако в звукорежиссерской деятельности пользуются в основном **другой шкалой**, согласно которой ноль децибел – это максималь-

ный уровень громкости, который данное звукозаписывающее устройство может отобразить без искажений. Таким образом, при записи звука в компьютер 0 дБ соответствует *максимальному значению амплитуды*, а все более тихие звуки имеют отрицательное значение амплитуды (например, уровень шума на компакт-кассете составляет приблизительно –60 дБ). Положительный входной уровень громкости является перегрузкой, т.е. будет записан неправильно, и при его воспроизведении мы услышим характерные высокочастотные искажения. Особенно ярко это проявляется в цифровой записи.

Если ухо человека воспринимает одновременно два или несколько звуков различной громкости, то более громкий звук заглушает (поглощает) слабые звуки. Происходит так называемая маскировка звуков, и ухо воспринимает только один, более громкий звук. Сразу после воздействия на ухо громкого звука снижается восприимчивость слуха к слабым звукам. Эта способность называется **адаптацией** (приспособлением) слуха.

Звуковые колебания, в которых присутствует всего одна частота, называются синусоидальными. Дело в том, что если мы изобразим их графически в амплитудно-временной развертке (по горизонтальной

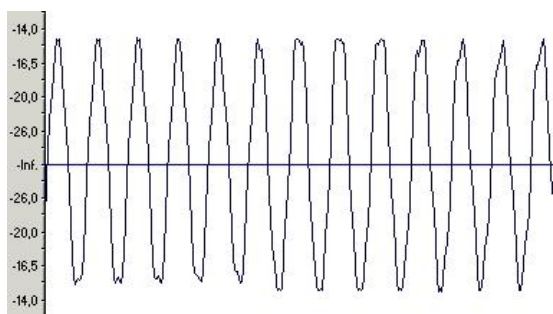


Рис. 5.1.1. Синусоидальный звуковой сигнал.

опять же с высотой звука. Дело в том, что звуковые колебания обычно бывают сложными. К примеру, если мы взяли на скрипке ноту «ля» первой октавы (частота 440 Гц), то в колебаниях этой струны будут присутствовать также частоты 880, 1320, 1760, 2200 Гц и некоторые другие (как на рис. 5.1.2).

При этом звук каждой частоты будет иметь определенную громкость, независимую от громкости звуков на других частотах. *Ампли-*

оси откладывается время, а по вертикальной – значения амплитуды колеблющегося тела), то полученный график будет представлять собой синусоиду (рис. 5.1.1). Такую амплитудно-временную развертку звуковых колебаний принято называть **волновой формой звука**.

Что же касается понятия «тембр», то оно тесно связано

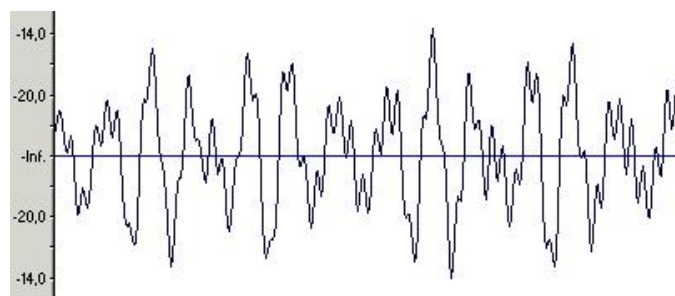


Рис. 5.1.2. Сложный звуковой сигнал.



тудно-частотное соотношение всех составных частей сложного колебания принято называть **спектром звука**, а звуки, соответствующие каждой присутствующей в сложном колебании частоте, – спектральными составляющими или компонентами. Именно набор спектральных составляющих определяет тембр звучания, а *поскольку каждая спектральная составляющая – это уже звук определенной высоты, говорить о тембре как об отдельном свойстве звука нельзя*. Именно спектр звука, как совокупность простых гармонических волн, на которые можно разложить звуковую волну, обычно находится в центре внимания, когда речь идет о технологии цифрового аудио.

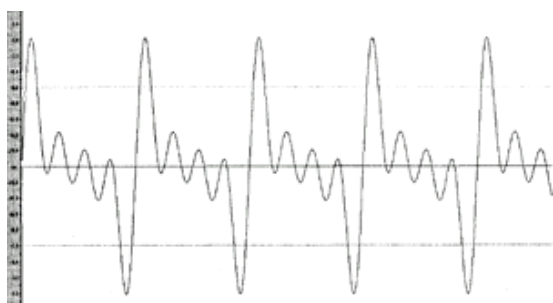


Рис. 5.1.3. Звук электрооргана, состоящий из 4-х синусоидальных составляющих.

Например, на рис. 5.1.3 показана волновая форма одного из звуков электрооргана, которая может быть представлена в виде суммы четырех синусоид (рис. 5.1.4). Этот звук содержит четыре спектральные компоненты, амплитудно-частотное соотношение которых удобно изобразить графически (рис. 5.1.5). Именно в такой форме чаще всего и представляют спектр звука.

Таким образом, любой постоянный (не изменяющийся во времени) тембр можно наглядно представить в виде двумерного графика.

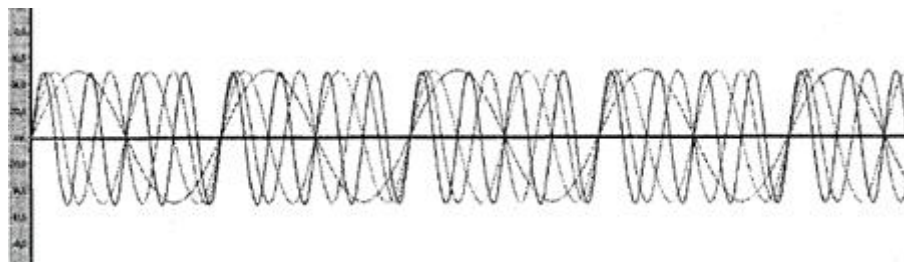


Рис. 5.1.4. Отдельные составляющие звука, представленного на рис. 5.1.3.

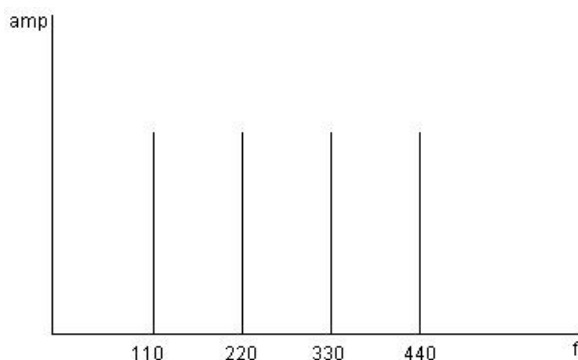


Рис. 5.1.5. Спектр звука, представленного на рисунке 5.1.3.

Однако если тот или иной звуковой спектр изменяется во времени, то на таком двумерном графике мы сможем наглядно изобразить лишь тембр очень короткого фрагмента данного звука, некий моментальный «срез». Для графического представления сложных, *изменяющихся во времени* спектров можно использовать их трехмерную графическую развертку по трем осям, или же так называемую спектрограмму, в которой по двум осям отложены время и частота звуков, а амплитуда передается с помощью цвета или интенсивности.

## 5.2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛОГОВОЙ ЗВУКОЗАПИСИ

При передаче того или иного звука на/через определенное устройство, механические звуковые колебания преобразуются в электрические (например, периодическое изменение давления преобразуется в такое же изменение электрического напряжения). Используя свойства электромагнетизма, эти электрические колебания можно достаточно точно отобразить на магнитной ленте. В зависимости от напряжения, поступающего на записывающую головку магнитофона, участки ленты намагничиваются в различной степени (разное количество магнитных частичек переориентируется под действием магнитного поля). В результате на магнитной ленте мы получим некий, «магнитный график», являющийся точным **аналогом** первоначальных **звуковых колебаний**. Подобный метод записи принято называть аналоговым.

Аналоговый метод звукозаписи достаточно точно передает первоначальную звуковую картину, однако он обладает рядом недостатков, причем основным недостатком является высокий уровень шумов и помех в записи. Шумы возникают из-за несовершенства материалов, из которых изготовлена лента, из-за постепенной «дезориентации» магнитных частичек в процессе хранения ленты, из-за неравномерности движения ленты во время воспроизведения и записи, что приводит к эффекту детонации, а также создает проблему синхронизации записей с нескольких пленок. В мультимедийных приложениях, работающих со звуком, часто приходится бороться с разного рода помехами. Это и низкое однотонное гудение с частотой 50 или 100 Гц, которое чаще всего можно услышать в различных усилителях. Возникает этот фон в результате плохой фильтрации переменного тока питания, электромагнитных наводок со стороны близко расположенных сетевых шнуров другой аппаратуры или фонового низкочастотного гудения любых источников – компьютерных мониторов, телевизоров, трансформаторов и т.д. Это и шипение воспроизводящих устройств, которое называют иногда «**белым шумом**» (сигнал, содержащий непрерывный ряд спектральных компонент одинаковой амплитуды по всему слышимому частотному диапазону). С собственным шумом радио-

деталей бороться гораздо сложнее, чем с фоном. Высокая цена на качественную технику во многом объясняется тем, что в ней используются специально отобранные детали с низким собственным уровнем шума. Как правило, минимальный уровень помех возникает только при работе с внутренними источниками, использующими цифровой интерфейс – звуковой картой и жестким диском компьютера, MIDI-клавиатурой, компакт-дисками. Однако и здесь нельзя полностью избавиться от помех.

Шумы в аналоговой звукозаписи обычно довольно сильно мешают восприятию общего звучания. При прослушивании старых магнитных лент приходится постоянно воспринимать шумы на уровне –60 дБ и выше. Это затрудняет прослушивание записей с большим динамическим диапазоном (например, записей симфонического оркестра), поскольку шумы оказываются «громче», чем некоторые участки полезного сигнала. Причем, как правило, эти шумы очень трудно удалить без потерь. По этим и некоторым другим причинам предпочтительнее использовать метод цифровой записи, которая в большей степени свободна от шумов и помех, а также допускает очень гибкую обработку.

### **5.3. ЗВУКОВЫЕ СТАНДАРТЫ**

Кроме собственно физических характеристик, звук имеет важные параметры, связанные с особенностями строения нашего слухового аппарата. Восприятие пространственной локализации звука (определение местонахождения источника звука) возможно лишь при наличии как минимум двух приемников (например, человек, слыша звук двумя ушами, в большинстве случаев может определить, откуда этот звук исходит). При этом большую роль играет оценка временного промежутка между поступлением звука на первый и второй приемники. Если приемниками являются уши, в мозгу включаются подсознательные механизмы сравнительной оценки двух сигналов, поступивших на оба приемника. С помощью такой оценки мы и определяем направление на источник звука и расстояние до него.

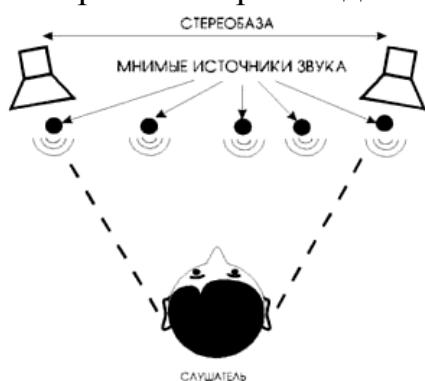
Известно, что расстояние между источником и приемником звука, наличие разных объектов и других источников звука является одними из главных помех в восприятии звуковых колебаний. В борьбе с помехами люди использовали различные средства – особую конструкцию звукового пространства (например: греческие амфитеатры, в которых звук долетал до последних скамей); поиск звукопоглощающих или резонирующих материалов (отделка стен, особые вещества для пропитки музыкальных инструментов); изобретение специальных устройств (высокая театральная обувь – котурны; рупор; мегафон и т.д.). С появлением электротехники борьба продолжалась. Стали

складываться определенные стандарты звуковой записи и воспроизведения, с помощью которых производители аудиотехники пытались добиться естественной акустики.

В самом начале («в древнейшие времена аудиосистем») звук записывался на магнитофон при помощи одного микрофона, а воспроизводился с помощью одной колонки. Такой метод записи и воспроизведения – **монофонический** или **моно** – был хорош всем, кроме одного: в фонограмме отсутствовало привычное для слушателя пространственное звучание. Это создавало определенный дискомфорт при прослушивании, ведь наш слух имеет пространственную избирательность, то есть может сосредоточиться на каком-то конкретном звуке. Когда же прослушивается **моно** фонограмма, то гораздо труднее выделить детали – они просто маскируются за наиболее громкими звуками.

Проблема разработки систем воспроизведения звука, максимально близкого к естественному, возникла потому, что качество звучания, реализуемое монофоническими системами, перестало удовлетворять взыскательных слушателей. Поэтому в конце 50-х годов начали распространяться **стереофонические** (двухканальные) системы воспроизведения звука. В самом простом случае запись производится с двух широко расставленных микрофонов на два независимых канала магнитофона – как бы имитируется процесс восприятия звука нашим слуховым аппаратом. При воспроизведении этой фонограммы через две широко расставленные колонки пространственная картина восстанавливается, при этом мы получаем гораздо лучшую детализацию, более привычную звуковую картину, чем при моно записи.

Передаваемая в стерео фонограмме пространственная «картинка» называется **стереопанорамой (стереобазой)**. В панораме можно четко выделить три положения: левое, правое и центр. Звук, находящийся в центре, будет одинаково громко воспроизводиться из двух колонок. Звуки, находящиеся в левом и правом крайних положениях, будут слышны только в одной из колонок. Все остальные положения в панораме воспроизводятся соответственно.



Наряду с «настоящим» стерео существуют системы «псевдостерео», преобразующие одноканальный монозвук в два канала, со звучанием, имитирующим пространственный стереозвук. Сегодня стандарт стерео до сих пор является одним из основных стандартов звуковоспроизведения, однако и он не свободен от недостатков. Хотя стереофонические системы и создают эффект пространственного звучания за счет синтеза панорамы *мнимых источников звука (МИЗ)* между двумя громкоговорителя-

ми, стерео панорама получается плоской и ограниченной углом между направлениями на громкоговорители. Такое звучание в значительной степени лишено естественности реального звукового пространства, в котором человек способен воспринимать источники звука практически со всех направлений как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, и оценивать, хотя порой и с ошибками, расстояние до них.

### **Квадрофония**

Стерео, как всеобщий стандарт, продержалось недолго. Дело в

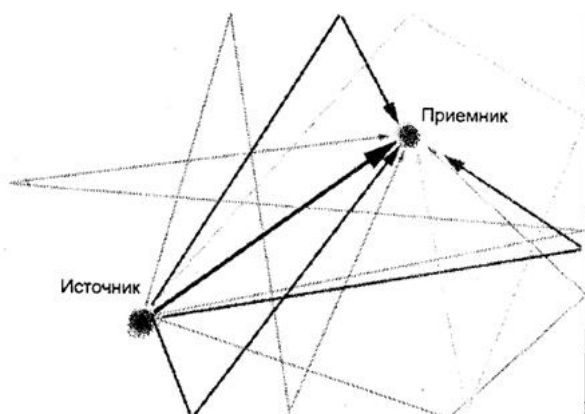


Рис. 5.3.1. Схема естественных отражений.

том, что мы воспринимаем не только основной звук, но и десятки, сотни, а то и тысячи его сложных отражений от различных преград, поверхностей, объектов, звук, частично поглощенный этими поверхностями, звук, прошедший через звукопроницаемые объекты и т.д.

Стерео стандарт не был в состоянии передать такую картину, поэтому начались интенсивные попытки «раздробить»

главный звуковой поток на большее число каналов. Следующим после стерео шагом в развитии многоканальных систем звуковоспроизведения было **квадрофоническое** (четырёхканальное) звуковоспроизведение. В начале 70-х гг. было разработано несколько конкурирующих и несовместимых друг с другом квадрофонических систем. Мнения слушателей об их звуковых возможностях разделились, однако большинство отмечало отсутствие круговой панорамы, ощущение «зажатости» между передней и задней звуковыми картинками.

Объясняется это тем, что человеческий слуховой аппарат способен довольно легко создавать фантомные образы (или воспринимать мнимые источники) для звуков, находящихся спереди. Однако способность большинства людей создавать фантомные образы снижается, если источники звука находятся сзади, и практически пропадает, если они находятся сбоку. Это можно легко проверить, если повернуться боком к акустическим системам, при прослушивании записи с насыщенной информацией в центре панорамы.

В результате, по причинам несовместимости с основными носителями, отсутствия пользовательской базы, разнообразия и несовместимости или даже неэкономичности систем кодирования, а также недостаточного привлечения творческих сил, квадрофонические системы не получили широкого распространения и через пару лет действия разработчиков по их продвижению на рынок прекратились.

### ***Наушники***

Головные стереотелефоны также не позволяют получить естественное звучание воспроизводимой фонограммы. Дело в том, что возникающее при этом впечатление бесконечной ширины стереобазы и четкая локализация звукового изображения внутри головы слушателя не могут удовлетворить требовательных меломанов. Для устранения этого эффекта применяются специальные обработчики сигналов, получившие название биофонических процессоров.

*Принцип их действия состоит в подмешивании сигналов левого канала в правый канал, и наоборот. Таким образом, на выходе каждого канала формируется сигнал, состоящий из ослабленного и скорректированного сигнала своего канала, и задержанного (и также скорректированного) сигнала другого канала.*

Подобными устройствами, выполненными в виде приставок или встроенными, в настоящее время оснащены многие музыкальные центры. Интересно, что такие устройства могут быть реализованы и чисто программными методами с использованием цифровой обработки сигналов в реальном времени (например, подключаемый модуль NoPhones в формате VST для Windows).

### ***Бинауральная запись***

Наиболее совершенный метод имитации реального трехмерного (объемного) звукового поля – бинауральная передача звука. Бинауральный метод состоит в том, что звуковая информация воспринимается микрофонами, размещенными в ушных раковинах человека или «искусственной головы» – модели, имитирующей слуховое восприятие человека. В идеале такая система позволяет создать полную иллюзию естественного звучания. Она как бы переносит слушателя из помещения прослушивания в помещение, где ведется запись. Однако полноценно прослушивать бинауральную запись можно только с помощью стереотелефонов и при условии, что размеры и строение использовавшейся для записи искусственной головы во многом схожи с вашей головой.

### ***Процессоры трехмерного звука***

Еще одним способом улучшения пространственного звучания является применение так называемых процессоров трехмерного звука (3D Audio). Они предназначены для расширения звуковой панорамы за границы физического расположения акустических систем (в идеальном случае до сферы), некоторые из подобных устройств также предлагают точное расположение отдельных звуков в пространстве. Эти процессоры пытаются имитировать реальную звуковую картину посредством изменения амплитуды, времени и тембра звука.

Существует два подхода к процессорам трехмерного звука, хотя они и не являются взаимоисключающими. *В первом случае предлагается создавать объем во время записи, так чтобы результат можно было услышать на любой стереофонической системе. Этот подход реализован в технологиях QSound, B.A.S.E. и Roland RSS. Во втором*

случае предлагается осуществлять обработку на стадии воспроизведения, то есть встраивать процессоры непосредственно в потребительскую аппаратуру. Подобный подход применяется в технологиях Hughes SRS и Carver Sonic Holography.

Существует ряд технологий, позволяющих добиться имитации трехмерного звука, например Qsound, Roland RSS, Ambisonics, SRS, Spatialize, CRE, DS3D, EAX и др. Однако, эффект, производимый при помощи процессоров трехмерного звука, сильно зависит от положения слушателя и может считаться «трехмерным» чисто условно, поскольку практически ни одна из технологий не обеспечивает расположение звука по высоте. В лучшем случае мы имеем круг – плоскую фигуру, описываемую двумя измерениями, чаще же всего реальное поле, в котором можно получить устойчивые результаты, составляет полукруг, находящийся перед слушателем.

### **Многоканальные форматы**

Попытки получить трехмерную звуковую картину максимально просто и дешево с производственной точки зрения привели к интенсивному развитию **многоканальных форматов** воспроизведения звука (больше двух источников). Одним из несомненных преимуществ использования данных форматов является меньшая зависимость производимого эффекта от расположения слушателя, что очень важно для кинотеатров, например, поскольку невозможно усадить всех зрителей в центр. Недаром впервые коммерческое применение многоканального звука произошло в кино: вышедший в 1940 году диснеевский мультфильм «Fantasia» сопровождался трехканальным дискретным звуком (третий канал предназначался для воспроизведения эффектов). И уже тогда зрители стали воспринимать кино как нечто пространственное.

История многоканального звука насыщена большим количеством создаваемых форматов звука для кино, театров, студийной записи, домашнего прослушивания и т.д. Это самый распространенный на сегодняшний день формат многоканального объемного звука в кино **Dolby Stereo** и его домашний вариант – **Dolby Pro-Logic**. Это и матричная система **Circle Surround**, которая является адаптацией систем Dolby специально для музыки. Это и цифровые системы кодирования и записи многоканального объемного звука **Dolby Digital**, **MPEG Multichannel** (MPEG-2 Audio), **DTS** и **AC-3** (Audio Coding-3), которая принята в качестве звукового стандарта для лазерных видеодисков формата DVD.

Все эти форматы отличались друг от друга способом и параметрами записи-кодирования звука, количеством поддерживаемых звуковых каналов как при записи, так и при воспроизведении, характеристиками носителей, требованиями к воспроизводящей аппаратуре и т.д. Иногда в определении «формат звука» происходит определенная путаница, как например, с форматом 5.1. **Стандарт 5.1** не является

каким-то определенным способом кодирования многоканального звука, а просто указывает количество каналов. Формат объемного звука 5.1 означает, что используется пять каналов с полным частотным диапазоном (левый передний, центральный, правый передний, левый задний и правый задний), а также один низкочастотный канал (с диапазоном от 3 до 120 Гц), подключаемый к сабвуферу (рис. 5.3.2).



Рис. 5.3.2. Расположение каналов в формате 5.1.

Стандарт 5.1, как и стерео, является наиболее распространенным, поскольку поддерживается основными разработчиками и производителями, а также является частью спецификаций наиболее перспективных технологий (например, интенсивно развивающегося стандарта **7.1**, дающего более реалистичскую имитацию «звук вокруг»).

Среди новейших форматов звука, в определенной степени «вариантом 5.1», можно назвать стандарт от нью-йоркской компании Tact Audio – **амбифония**, который стал возможен при создании процессора TCS. Данный процессор анализирует запись в стереоформате или в 5.1 и, после анализа структуры отражений и слабых звуков в целом, подмешивает сигналы, которые наш слух воспринимает как обновленное звуковое поле. По заверениям разработчиков, формат амбифония расширяет звуковую панораму естественным образом, а из 5.1-канальных записей создает звуковую сферу – на 360 градусов вокруг слушателя.

Кроме данных стандартов необходимо упомянуть и те, которые тесно связаны непосредственно с цифровыми носителями звуковой информации. Здесь снова следует отметить тот факт, что термин «формат» используется в двух различных смыслах. При использовании **специализированного** носителя или способа записи и специальных устройств чтения/записи в понятие формата входят как *физические характеристики носителя звука* (размеры кассеты с магнитной лентой или диском, самой ленты или диска), так и *способ записи, параметры сигнала, принципы кодирования и защиты от ошибок и т.п.* При использовании **универсального** информационного носителя широкого применения – например, ком-



пьютерного гибкого или жесткого диска – под форматом понимают только способ кодирования цифрового сигнала, особенности расположения битов и слоев и структуру служебной информации.

### **Самый известный стандарт – CD-Audio**



Если говорить о первом стандарте цифрового звука, который в буквальном смысле совершил прорыв в сознании людей, то несомненно это будет стандарт CD-Audio, с которого по большому счету и началась эра всепоглощающего проникновения цифрового звука в нашу повседневную жизнь. Музыкальный компакт-диск был изобретен, стандартизирован и введен в обращение в начале 80-х гг. фирмами Sony и Philips. Основными характеристиками цифрового звука, заложенными в этот стандарт, стали частота дискретизации 44,1 кГц и разрядность 16 бит. Подобные параметры были выбраны, чтобы обеспечить совместимость с разработанными ранее аудиосистемами, работавшими с видеокассетами.

Несомненными плюсами разработанного компакт-диска стала беспрецедентная долговечность, компактные размеры диска, что значительно упрощало эксплуатацию нового носителя, а также качество звучания – величины динамического диапазона сигнала и отношения сигнал/шум – более 90 дБ, что вместе с искажениями менее 0,01 % означало крах виниловой пластинки.

Однако, у компакт-диска был и один недостаток, замеченный чуть позже. Верхняя частота диапазона воспроизведения компакт-диска была равна половине его частоты дискретизации, то есть 22,05 кГц, в то время как у аналоговых носителей этот показатель был гораздо выше. И хотя частоты выше 19–20 кГц уже относятся к ультразвуку и относятся к «неслышимым», обертоновые составляющие большинства акустических инструментов лежат именно в этой так называемой «неслышимой» области и оказывают влияние на впечатление от прослушивания. Если их нет, запись кажется «неживой».

### **Стандарт SACD**



SACD – Super Audio Compact Disk – цифровой формат записи звука, разработанный компаниями Sony и Philips, официально появился в 1999 году. Преимуществами стандарта SACD являются естественность звучания и высокое качество записи, защита от цифрового копирования, многоканальный (до 6-ти каналов) звук. На SACD проигрывателях используется многоканальный режим (*Multi Channel* или *Surround*), реже двухканальный режим (стерео) или даже моно – при переиздании старых записей.

Большее время записи в SACD достигнуто за счет новой технологии кодирования и сжатия звука, а также уменьшения физических размеров ямок («питов») на поверхности рабочего слоя. Для оцифро-

вывания и дальнейшего сжатия аудиосигнала используются технологии прямого цифрового потока DSD (*Direct Stream Digital*) и алгоритм компрессии без потерь – DST (*Direct Stream Transfer*) соответственно. Звуковой поток с оригинала переводится в цифровой вид с использованием сверхвысокой частоты дискретизации 2822 кГц. Поскольку частота считывания данных очень велика, то и качество преобразования гораздо ближе к аналоговому оригиналу, чем у традиционного CD.

### **Стандарт DVD-audio**

Кратце, преимуществами стандарта DVD-audio являются высокое качество звука, большой динамический диапазон, запись многоканального звука, возможность воспроизведения на компьютере, возможность кодировки аудиосигнала в распространенный на студиях звукозаписи формат PCM (импульсно-кодовая модуляция). Объем данных – 4,7 Гб для однослойного диска с использованием алгоритма сжатия звука без потерь MLP(5), обеспечивающего примерно двукратное сжатие аудиоданных.

Почему же стандарты многоканального звука не постигли участь квадрофонии или зачем вообще нужен объемный звук потребителю? Восстановление естественности пространственного звучания – это только одна из целей, однако главное здесь то, что применение объемного звука позволяет значительно усилить эмоциональное воздействие музыки на слушателя. Также прослушивание музыки в многоканальном объемном формате меньше приводит к усталости по сравнению со стерео форматом. А это уже не может игнорировать никто: ни исполнитель, ни звукорежиссер, ни фирма звукозаписи, ни сам слушатель.

Конечно, с применением компьютерной техники стало возможно создавать сотни звуковых каналов, однако аудиосистем, способных качественно поддерживать эти каналы, пока не существует. Определенную тревогу вызывает и используемое во всех цифровых форматах сжатие данных с потерями, не приведет ли это к ухудшению звучания? Конечно, потери – это всегда плохо, однако алгоритмы сжатия аудио данных имеют психоакустическую оптимизацию, то есть происходят максимально незаметно для слушателя. В результате, следует еще разобраться, что лучше: 16-разрядный звук с частотой дискретизации 44,1 кГц без сжатия или 20-разрядный звук с частотой дискретизации 96 кГц со сжатием.

Не за горами появление новых стандартов цифрового представления аудио информации, и можно с уверенностью сказать, что самое интересное в цифровом звуке еще только начинается.

### **Вопросы для повторения:**

1. Звук и его параметры.
2. Сущность аналоговой звукозаписи.
3. Формат звука. Краткий обзор звуковых стандартов.

# VI. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ С ЦИФРОВЫМ ЗВУКОМ (digital audio)

## 6.1. ПОНЯТИЕ ОЦИФРОВКИ И МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЗВУКА

В настоящее время почти вся обработка звука производится при помощи различных мультимедийных приложений, программных средств, среди которых аудиоредакторы, семплеры, секвенсеры, программы для мастеринга и конвертации и т.д. Однако источником большей части звучащей музыки является реальное исполнение на музыкальных инструментах. В процессе записи звуковые волны проходят довольно сложный *процесс трансформации, в результате которого аналоговый сигнал кодируется в двоичной системе*. Такой процесс называют **оцифровкой звука**. Он происходит следующим образом. Звуковые волны при помощи микрофона превращаются в аналоговый переменный электрический сигнал. Этот сигнал проходит через звуковой тракт и попадает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – устройство, которое переводит сигнал в цифровую форму. В упрощенном виде принцип работы АЦП можно описать так: он измеряет через определенные промежутки времени амплитуду сигнала и передает дальше, уже по цифровому тракту, последовательность чисел, несущих информацию об изменениях величины амплитуды.

Вывод же цифрового звука осуществляется при помощи цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), который на основании поступающих цифровых данных в соответствующие моменты времени генерирует электрический сигнал необходимой амплитуды. В акустических системах этот сигнал преобразуется в звуковые волны, которые мы слышим.

Во время аналого-цифрового преобразования на самом деле никакого физического преобразования не происходит. С электрического сигнала как бы снимается отпечаток или образец, являющийся **цифровой** моделью колебаний напряжения в аудиотракте. Однако здесь мы сталкиваемся с большой проблемой, поскольку звуковой сигнал, вообще говоря, непрерывен, то есть количество точек на его графике бесконечно. Следовательно, для получения действительно точной цифровой записи звукового сигнала измерять его амплитуду нужно через бесконечно малые промежутки времени (и, следовательно, бес-

конечное количество раз, а полученный числовой массив будет бесконечно велик). Более того, на «линейке» шкалы измерения амплитуды должно быть бесконечное количество градаций, то есть весь динамический диапазон должен выражаться числами от  $-\infty$  до  $+\infty$  (или «хотя бы» от 0 до  $+\infty$ ).

Естественно, в действительности мы можем провести измерения лишь конечное число раз, используя конечное количество уровней точности. Поэтому цифровая модель не совсем точно соответствует форме аналогового сигнала, отсюда и говорят, что цифровой сигнал по своей природе **дискретен** – то есть, прерывист. Возникает вопрос: через какие промежутки времени и с какой точностью следует проводить измерения, чтобы звук на выходе не сильно отличался от исходного сигнала?

Одним из двух ключевых параметров процесса оцифровки является **частота семплирования (частота дискретизации)** – *количество измерений амплитуды аналогового сигнала в секунду*. Так как диапазон колебаний звуковых волн лежит в пределах от 20 Гц до 20 кГц, то количество измерений сигнала в секунду должно быть больше, чем количество колебаний звуковой волны за тот же промежуток времени. Если частота семплирования ниже, чем частота звуковой волны, то за время между измерениями амплитуда сигнала успевает несколько раз измениться, в результате чего цифровой отпечаток будет нести хаотичный набор данных. При цифро-аналоговом преобразовании такой семпл будет выдавать только шум, а основной сигнал передаваться не будет. Поэтому для качественного преобразования применяют частоты, **более чем в два раза** превышающие верхнюю границу звукового диапазона: 44,1 и 48 кГц.

*В формате компакт-дисков под названием Audio DVD применяется частота семплирования 96 кГц, то есть за 1 секунду сигнал измеряется 96 тысяч раз! Конечно, в мультимедийных приложениях очень часто применяют меньшие частоты: 11, 22 и 32 кГц для экономии места на жестком диске. Однако с уменьшением частоты семплирования сразу уменьшается слышимый диапазон частот, а то, что слышно – довольно сильно искажается.*

Вторым ключевым параметром цифрового преобразования является **разрядность семплирования (иначе – уровень квантования)** – процесс замены *реальных* значений сигнала *приближенными*, в виде округленных цифровых значений. Этот параметр указывает, с *какой точностью происходят измерения амплитуды аналогового сигнала* (размер колебаний). Разрядность влияет, прежде всего, на количество искажений и шумов, вносимых в звук – при недостаточной точности отсчетов звук становится резким и неприятным, как внутри металлической трубы. В начале 80-х, когда разрабатывалась система «компакт-диск», ориентированная для бытового применения, по результатам экспертных оценок была выбрана частота дискретизации 44,1 кГц

и разрядность отсчета 16 бит (65536 фиксированных уровней амплитуды). Этих параметров достаточно для точной передачи сигналов с частотой до 22 кГц, в которые вносится дополнительный шум на уровне примерно –96 дБ. На уровне бытовой аппаратуры конца 70-х эти параметры выглядели довольно заманчиво, однако в определенный момент начались жалобы на характерный «цифровой» призывок в музыке на компакт-дисках, причиной которого являлась недостаточная разрядность отсчетов и, прежде всего, частота дискретизации. Дело в том, что при оцифровке сигнала с частотой дискретизации  $F$  необходимо *полностью* удалить все его составляющие с частотами выше  $F/2$ . Обычные аналоговые проигрыватели и усилители на самом деле не вырезали из сигнала более высоких частотных составляющих – их амплитуда просто постепенно спадала, и у качественных аппаратов этот спад был более пологим, а звук – более естественным и прозрачным. Однако при глубоком подавлении высших частот – даже тех, что неслышимы сами по себе – общая звуковая картина меняется достаточно заметно для хорошей аппаратуры и тренированного слуха. Таким образом, весьма высокие еще для начала 90-х параметры цифрового звука «16 бит/44,1 кГц», применяемые в бытовых проигрывателях компакт-дисков, сейчас могут считаться лишь минимально допустимыми для понятий «качественный звук».

Понятно, что с ростом частоты дискретизации и разрядности отсчета растет и объем данных, занимаемый звуком. Например, один компакт-диск вмещает 74 минуты стереозвучания, однако при записи на нем звука в монофоническом телефонном формате время непрерывного звучания составит более суток.

При работе с аудио мы часто сталкиваемся с таким понятием, как семпл. С английского слово «sample» дословно переводится, как «образец», поэтому это слово в мультимедийной и профессиональной звуковой терминологии имеет несколько значений, для обозначения разных видов «образцов». С одной стороны, **семплом** называется *промежуток времени между двумя измерениями амплитуды аналогового сигнала*. В ином контексте – это *любая последовательность цифровых данных, полученная в результате аналого-цифрового преобразования*, иначе говоря, краткий фрагмент аудиосигнала, являющийся минимальной структурной единицей композиции. Сам же процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой называют **семплированием**.

Основными достоинствами цифровой записи звука являются ее «чистота» (низкий уровень шумов и устойчивость сигнала к помехам), а также возможность гибкой обработки. Иногда музыканты, впервые знакомящиеся с цифровыми методами записи и обработки, высказывают недоумение – почему записанный на магнитофонную кассету аналоговый сигнал начинает «шуметь», а записанный на MD-диск

цифровой сигнал – нет? Причина становится понятной, если вспомнить, что помехи на магнитной ленте представляют собой незначительные отклонения записанного сигнала от исходного уровня. В *аналоговой записи* они влияют непосредственно на волновую форму звука, из-за чего мы и слышим помехи на выходе. В *цифровой записи* считывающее устройство «знает», что возможны только два уровня сигнала, соответствующие 0 и 1, а все промежуточные являются следствием помех и должны быть скорректированы. Достаточно большая помеха, способная превратить 1 в 0 и наоборот, возникает крайне редко. Но и в этом случае, как правило, срабатывают различные механизмы проверки, которые во многих случаях способны распознать и скорректировать «неправильный» бит. Это относится как к уже записанному на носитель цифровому сигналу, так и к передаваемому по проводам.

В то же время, и цифровой звук не свободен от некоторых недостатков. Как уже было сказано, цифровая запись воспроизводит форму исходного сигнала не точно, а с некоторым приближением. Для более высоких частот эта форма все более искажается (частоты как бы перестают «вмещаться» в заданные параметры семплирования). При этом появляются дополнительные спектральные составляющие, а амплитуда высоких звуков также может быть отражена неправильно, вплоть до полного их «исчезновения». Некоторые высокочастотные составляющие и «призвуки», лежащие в ультравысоком диапазоне (выше 18 кГц), на выходе после оцифровки превращаются в частоты звукового диапазона. При уменьшении же амплитуды сигнала его волновая форма начинает приближаться к прямоугольнику, то есть спектр ее также приобретает все больше изначально отсутствовавших высокочастотных составляющих.

### **Методы обработки звука**

Обработка цифрового звука – отдельная и весьма обширная область, которая, по сути, сводится к выполнению над числами-отсчетами тех же математических операций, которые в аналоговых устройствах выполняются электронными схемами. Проблема здесь состоит в том, что для выполнения сложных преобразований (фильтрация, модуляция и т.д.) требуется очень большое число элементарных числовых операций, которое рядовой компьютер не в состоянии делать синхронно с поступающим сигналом (т.н. – *в реальном времени*). В таких случаях либо применяются специальные цифровые сигнальные процессоры (*DSP*), либо обработка проводится основным процессором, но после предварительной записи звука в память или на жесткий диск, с воспроизведением оттуда после окончания обработки. Эта т.н. *нелинейная* (уже не в реальном времени) обработка занимает больше времени и не позволяет тут же слышать результат, однако никак не ограничена по сложности и глубине воздействия на звук. Итак,

какими методами мы пользуемся для обработки звука?

1. **Монтаж** – вырезание из записи одних участков, вставка других, их замена, размножение и т.п. Называется также редактированием. Все современные звуко- и видеозаписи в той или иной мере подвергаются монтажу. Различают *деструктивный* и *недеструктивный* монтаж. В первом случае все операции проводятся над основным фрагментом звука, во втором – на его цифровой копии, при этом оригинальный фрагмент остается без изменений. Не все программы поддерживают недеструктивное редактирование.

2. **Амплитудные преобразования** выполняются при помощи различных действий над амплитудой сигнала, которые, в конечном счете, сводятся к умножению значений семплов на постоянный коэффициент (усиление/ослабление) или изменяющуюся во времени функцию-модулятор (амплитудная модуляция). Частным случаем амплитудной модуляции является формирование огибающей для придания стационарному звучанию развития во времени.

3. **Частотные (спектральные) преобразования** выполняются над частотными составляющими звука. Если использовать спектральное разложение – форму представления звука, в которой по горизонтали отсчитываются частоты, а по вертикали – интенсивности составляющих этих частот, то многие частотные преобразования становятся похожими на амплитудные преобразования над спектром.

4. **Фазовые преобразования** сводятся в основном к постоянному сдвигу фазы сигнала или ее модуляции некоторой функцией или другим сигналом. Благодаря тому, что слуховой аппарат человека использует фазу для определения направления на источник звука, фазовые преобразования стереозвучания позволяют получить эффект вращающегося звука, хора и ему подобные. При помощи сдвига фазы на 90–180 градусов (последнее получается простым инвертированием отсчетов) реализуется эффект «псевдообъемности» звука (*Surround*).

5. **Временные преобразования** заключаются в добавлении к основному сигналу его копий, сдвинутых во времени на различные величины. При сдвигах на величины, сравнимые с периодом сигнала, эти преобразования превращаются в фазовые; при небольших сдвигах за пределами периода (примерно менее 20 мс) это дает эффект, близкий к хоровому (размножение источника звука), при больших – эффекты многократного отражения: реверберации (20..50 мс) и эха.

6. **Формантные преобразования** являются частным случаем частотных и оперируют с формантами – характерными полосами частот. Каждому звуку соответствует свое соотношение амплитуд и частот нескольких формант, которое определяет характерные признаки инструмента, например, тембр.

## 6.2. ПОНЯТИЕ ЗВУКОВОГО СИНТЕЗА

Создание (синтез) звука в основном преследует **две цели**: имитация различных естественных звуков (шум ветра и дождя, звук шагов, пение птиц и т.п.), а также акустических музыкальных инструментов (*имитационный синтез*), и получение принципиально новых звуков, не встречающихся в природе (*чистый синтез*). Обработка же звука обычно направлена на получение новых звуков из уже существующих (например, «голос робота») либо придание им дополнительных качеств или устранение существующих (например, добавление эффекта хора, удаление шума или щелчков). Каждый из методов синтеза и обработки имеет свою математическую и алгоритмическую модель, что позволяет любой из них реализовать на компьютере; однако, многие методы, будучи реализованы точно, требуют слишком большого объема вычислений, отчего их обычно реализуют с какой-либо степенью допущения.

Каким же образом реализуется синтез новых звучаний? Как известно, любое сколь угодно сложное звуковое колебание можно представить в виде суммы нескольких синусоидальных колебаний (чистых тонов), различных по частоте и амплитуде. Сам по себе чистый тон звучит блекло и практически непригоден для использования в музыке. Чем больше в звуке спектральных составляющих, тем интереснее и богаче его тембр.

Звуки акустических инструментов часто имеют так называемый гармонический спектр. *Спектральные составляющие, частоты которых кратны частоте основного тона, называются гармоническими составляющими, или гармониками.* Основным тоном обычно называют самую низкую составляющую. *Все спектральные составляющие, лежащие выше основного тона, иногда называют обертонами.* Гармонические составляющие нумеруются в соответствии с отношением своей частоты к частоте основного тона. Так, если частота основного тона равна  $f$ , то составляющая на частоте  $2f$  будет именоваться второй гармоникой, на частоте  $3f$  – третьей и т.д.

Гармонические спектральные составляющие обычно сливаются для нашего слуха как бы в один звук, имеющий высоту основного тона спектра. Негармонические спектры звучат расплывчато, и определить на слух высоту их основного тона довольно трудно. Звук, содержащий непрерывный ряд спектральных компонент в какой-либо частотной области, имеет ярко выраженный «шумовой» призывок. Если эта частотная область простирается на весь слышимый частотный диапазон, а спектральные составляющие имеют одинаковую амплитуду, то такой звук называют «белым шумом».



Таким образом, **звуковой синтез** – это *процесс построения спектров при помощи генерации простых волновых форм и их последующей обработки*. Большинство методов синтеза основано на оперировании чистыми тонами – синусоидальными волновыми формами, в спектре которых присутствует всего одна составляющая. Однако к простейшим волновым формам относят и некоторые другие периодические сигналы (прямоугольные, пилообразные, треугольные), а также шумы, то есть случайные сигналы.

#### ***Аддитивный и гармонический синтез***

Самый простой метод звукового синтеза заключается в следующем. Берется столько генераторов синусоидальных колебаний, сколько потребуется спектральных составляющих, эти генераторы настраиваются на соответствующие частоты и соответствующие сигналы просто складываются на выходе. Этот метод хорош тем, что позволяет получить очень точный результат. Если ясно представлять себе требуемый спектр, то воспроизвести его не составит труда. Такой метод синтеза называется **аддитивным** (от англ. *addition* – сложение).

Сложность здесь заключается в том, что большинство богатых, красиво звучащих тембров могут состоять из очень большого количества спектральных компонент. Поскольку для каждой из них используется отдельный генератор, при создании тембра придется отдельно настраивать несколько десятков (а то и сотен) генераторов. Кроме того, поскольку генераторы тогда представляли собой отдельные, довольно объемистые устройства, использование многих таких устройств требовало бы наличия очень больших помещений. Поэтому звуки, построенные при помощи аддитивного синтеза, обычно не отличаются богатством спектра: они состоят не более чем из десяти компонент и могут использоваться для имитации простых тембров типа флейты и т.п.

*Например, чтобы получить хороший тембр «струнного типа» при помощи аддитивного синтеза, необходимо 12 генераторов для гармоник и еще 72 для шумовых областей – всего 84 генератора. В принципе, задача решается, но нелишне вспомнить, что с помощью частотно-модуляционного синтеза подобный звук можно легко получить, используя всего три генератора.*

Если при аддитивном синтезе все спектральные составляющие звука складываются в гармонический звукоряд, такой метод называют **гармоническим синтезом**.

Аддитивный синтез широко применялся в первых аналоговых синтезаторах. При помощи современных компьютерных систем подобную систему аналогового синтеза легко смоделировать. Существуют специальные программы, пользовательский интерфейс которых напоминает старые аналоговые системы: отдельные виртуальные модули на экране компьютера коммутируются с помощью виртуальных проводов. В качестве примера можно упомянуть программу *Virtual Waves*.

Чтобы получить в результирующем спектре значительно большее количество составляющих, не увеличивая количества генераторов, для звукового синтеза стали применять такую технологию, как модуляция.

### **Модуляция**

**Модуляцией** в системах звукового синтеза называется воздействие какого-либо устройства на входные параметры другого устройства. Не следует путать это понятие с более привычным для музыкантов – сменой тональности (говоря о звуковом синтезе или семплировании, полезно сосредоточиться на звуке как таковом, на время «забыв» о компоновке различных звуков как методе музыкальной композиции).

Область применения модуляции для построения звуков («звуко-строения») ограничена только фантазией звукорежиссера и возможностями аппаратных и программных средств. Применяется модуляция и для звукового синтеза. Различают *амплитудную* и *кольцевую модуляцию*, в зависимости от схемы соединения устройств и, соответственно, их взаимодействия.

При *амплитудной модуляции* значение коэффициента амплитуды сигнала, поступающего с несущего генератора, складывается со значением сигнала на выходе модулирующего генератора. В результате, если частота модулирующего генератора лежит ниже слышимого звукового диапазона (например, 6 Гц), то мы получим на выходе обычное амплитудное вибрато (хотя это, строго говоря, не совсем так, о чем будет сказано чуть ниже). Но *если модулирующая частота лежит в звуковом диапазоне, то на выходе мы получим сигнал, в котором будут присутствовать частоты обоих генераторов, а также их сумма и разность*. Например, если частота несущего генератора равна 100 Гц, а модулирующего – 300 Гц, то на выходе получится спектр, содержащий составляющие 100, 200, 300 и 400 Гц. Таким образом, из двух чистых тонов мы получим спектр из четырех составляющих!

Применяя амплитудную модуляцию, можно получить гармонический спектр из исходных тонов, находящихся в негармоническом соотношении. Например, если на входе мы имеем синусоидальные сигналы на частотах 100 и 150 Гц, то, как легко видеть, на выходе получим составляющие 50, 100, 150 и 250 Гц, а это уже гармонический спектр.

Иногда же, выход модулирующего генератора непосредственно является амплитудным коэффициентом несущего. Данный метод модуляции принято называть **кольцевой модуляцией** (*ring modulation*). В отличие от предыдущего случая здесь мы *не имеем на выходе исходных частот, а имеем только их сумму и разность*. Таким образом, применение чистых тонов в качестве исходного материала не дает

никакой «выгоды». Однако, если на вход кольцевой модуляции подать более сложные сигналы (например, 100 и 150 Гц в одном сигнале и 500 и 600 Гц в другом), то на выходе мы получим сигнал из большего количества составляющих (в нашем примере – 350, 400, 450, 500, 600, 650, 700 и 750 Гц). При использовании же кольцевой модуляции из двух звуков, имеющих гармонические спектры, на выходе часто получаются сложнейшие негармонические спектры.

Несмотря на то, что с помощью кольцевой модуляции можно получать весьма сложные спектры, их получением крайне трудно управлять и, кроме того, почти все они легко узнаются по неизменно-му ярко выраженному «зудяще-звонящему» призвуку. Это сильно ограничивает область применения данного вида звукового синтеза.

### ***Синтез методом частотной модуляции***

В 70-е годы в Стэнфорде был описан звуковой синтез **методом частотной модуляции** (*frequency modulation – FM*). Его придумал американец Джон Чоунинг и представил на суд университета в качестве своей дипломной работы. В общем потоке теоретических работ на эту как-то не обратили внимания, однако через несколько лет данным методом заинтересовалось руководство небезызвестной компании Yamaha. Работая с Чоунингом, Yamaha «взрастила» с помощью этого метода целое поколение синтезаторов, к которому принадлежал знаменитый DX7. Да и по сей день звуковые карты компьютеров, как правило, помимо WT-синтезаторов оснащаются синтезаторами, работающими методом частотной модуляции. Что же особенного в этом методе, что так привлекло производителей музыкального оборудования?

Этот метод позволяет из минимального числа синусоидальных генераторов (в FM их принято называть **операторами**) получить сколь угодно сложные спектры, состоящие практически из любого количества компонент. При звуковом синтезе методом частотной модуляции сигнал с выхода модулирующего оператора поступает на частотный вход несущего, складываясь с его собственной частотой. Понятно, что при этом выходная амплитуда модулирующего сигнала влияет на частотное отклонение несущего оператора. А величина частотного отклонения, как выясняется, непосредственно влияет на количество частотных компонент в полученном выходном спектре! Таким образом, можно уменьшать или увеличивать количество составляющих результирующего спектра, просто регулируя выходной уровень модулирующего оператора!

На частотно-модуляционном синтезе были основаны многие модели различных синтезаторов. Этот вид синтеза позволяет быстро создавать необходимые звуки и гибко изменять их по мере необходимости. Несмотря на кажущуюся сложность используемых здесь формул, метод частотно-модуляционного синтеза очень легок в освоении. Не-

много поэкспериментировав с разными звуками, большинство музыкантов быстро начинают интуитивно чувствовать, каким образом повлияет на звук изменение того или иного параметра.

Частотно-модуляционный синтез открыл перед музыкантом большие возможности. Методы FM-синтеза могут оказаться просто незаменимыми при решении различных нестандартных творческих задач. С помощью FM-синтеза очень удобно создавать изменяющиеся во времени спектры, а также звуки «колокольного» типа. При достаточном количестве управляющих друг другом операторов и точном подборе их параметров можно не только синтезировать необычные звуки, но и достаточно точно имитировать звуки природы и музыкальных инструментов. Однако на практике количество операторов не превышает десяти, и разумное управление даже таким небольшим их числом сильно затруднено. В большинстве звуковых адаптеров есть аппаратный FM-синтезатор с двумя или четырьмя операторами, однако для имитации музыкальных инструментов он в силу своей простоты совершенно непригоден.

#### ***Субтрактивный синтез***

Одним из простейших звуковых сигналов является т.н. случайный сигнал, спектр которого близок к спектру белого шума. При помощи различных фильтров из этого спектра вырезаются (в противоположность аддитивному синтезу) все ненужные компоненты, после чего остаются только необходимые. Такой метод звукового синтеза называется **субтрактивным** (от англ. *subtraction* – вычитание). Достоинствами этого метода являются относительно простая реализация и довольно широкий диапазон синтезируемых звуков. На этом методе построено множество студийных и концертных синтезаторов (например, Moog). Недостаток заключается в том, что если в предыдущих методах синтеза одной из основных проблем было увеличение числа спектральных составляющих, а следовательно, и число генераторов, то при использовании субтрактивного синтеза звуков со сложным спектром требуется большое количество управляемых фильтров. Кроме того, поскольку в исходном сигнале присутствует очень большое количество спектральных составляющих, очень сложно настроить фильтры так, чтобы срезать все ненужное. В результате у звуков, синтезированных методом субтрактивного синтеза, практически всегда есть «лишние» шумовые призвуки, и пользоваться им можно только для создания специфических звуков с шумовой окраской.

#### ***Фрактальный синтез***

В качестве примера «экзотического» метода звукового синтеза можно назвать **фрактальный синтез**, в основе которого лежит построение графических фракталов (геометрических фигур и графиков). Собственно говоря, при фрактальном синтезе самое интересное и за-

ключается в их построении, а методы перевода полученного изображения в звук могут быть разные и, как правило, они не отличаются изобретательностью.

Наиболее «традиционный» способ такого преобразования – трактовка графического фрактала как спектрограммы с последующим ресинтезом звуковой волны. Такой метод фрактального синтеза реализован, например, в программе Avalon. В результате получаются довольно интересные звуковые «пятна», стремительно изменяющиеся во времени. Они совершенно непригодны для построения аккордов или исполнения мелодических линий, а в большинстве случаев не могут быть смешаны с какой бы то ни было музыкальной фактурой, однако интересны сами по себе. Такой звук может появиться не более, чем один–два раза за музыкальную пьесу, поскольку его сложный, меняющийся спектр больше напоминает короткий музыкальный фрагмент.

### ***Метод физического моделирования***

Если взять какой-либо физический процесс, приводящий к появлению звука – разряд молнии, шум ветра или колебания скрипичных струн, то всегда можно разработать достаточно точную математическую модель этого явления (например, для скрипки – порода дерева, состав лака, геометрические размеры, материал струн и смычка и т.п.), которая сведется к системе уравнений. Решая эти уравнения, можно получить график звуковых колебаний, возникающих в этом процессе, и затем воспроизвести их. Подобным образом был получен предпологаемый звук московского Царь-Колокола при помощи только его наружных измерений и структурного анализа сплава. Этот метод **физического моделирования** – самый точный для имитации реальных звуков, однако он же – самый трудоемкий и длительный. В связи с крайней сложностью точного моделирования даже простых инструментов и огромным объемом вычислений метод пока развивается медленно, на уровне студийных и экспериментальных образцов синтезаторов. Ожидается, что с момента своего достаточного развития он заменит известные методы синтеза звучаний акустических инструментов, оставив им только задачу синтеза не встречающихся в природе тембров.

Разновидностью физического моделирования является **WaveGuide** технология, активно разрабатываемая в Стэнфордском университете и применяемая уже в нескольких промышленных моделях электронных роялей, например, фирмы Baldwin. При этом методе 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 и некоторые другие.

### ***Ресинтез***

Основная идея ресинтеза такова: практически любой звук является сочетанием синусоидальных волн разной высоты и громкости. Имея достаточное количество генераторов подобных волн вы имеете возможность произвести любой звук. Но как выяснить, из каких именно волн состоит тот или иной звук и, более того, как они изменяются во времени? Для этого существует способ под названием «преобразование Фурье». С его помощью можно проанализировать звук и разложить его на отдельные составляющие. Затем можно воспроизвести эти составляющие при помощи многочисленных генераторов и, таким образом, восстановить (или ресинтезировать) звук.

В чем преимущество подобного метода? Во-первых, объем данных, необходимых для ресинтезирования звука, в 10 раз меньше, чем при семплировании, отсюда – нужно меньше оперативной памяти. Во-вторых, ресинтезирование позволяет гораздо более глубокие возможности редактирования звуков и их воспроизведения, например, морфинг.

### ***Семплерный метод***

При этом методе записывается реальное звучание (*sample* – образец), которое затем в нужный момент воспроизводится. Для получения звуков разной высоты воспроизведение ускоряется или замедляется; при неизменной скорости семпла применяется расчет промежуточных значений отсчетов (интерполяция). Чтобы тембр звука при сдвиге высоты не менялся слишком сильно, используется несколько записей звучания через определенные интервалы (обычно – через одну–две октавы). В ранних семплерных синтезаторах звуки в буквальном смысле записывались на магнитофон, в современных применяется цифровая запись звука. Этот метод позволяет получить сколь угодно точное подобие звучания реального инструмента, однако для этого требуются достаточно большие объемы памяти. С другой стороны, запись звучит естественно только при тех же параметрах, при которых она была сделана – при попытке, например, придать ей другие параметры естественность резко падает.

На самом деле этот метод нельзя с полным правом называть синтезом – это скорее метод записи-воспроизведения. Однако в современных синтезаторах на его основе воспроизводимый звук можно подвергать различной обработке – модуляции, фильтрованию, добавлению новых гармоник, звуковых эффектов, в результате чего звук может приобретать совершенно новый тембр, иногда совсем непохожий на первоначальный.

### ***Таблично-волновой синтез***

Первоначальная эйфория, вызванная небывалой ранее натуральностью звучания акустических тембров при семплерном методе синтеза, довольно быстро прошла, и музыканты, которые раньше и не помышляли заменить акустические инструменты электронными, ак-

тивно начали это делать – и вместе с тем начали жаловаться, что в игре не хватает естественности и выразительности. Для различных характерных приемов игры приходилось заводить совершенно различные тембры, что увеличивало их объем, а необходимость постоянного переключения затрудняла оперативное управление.

Понадобился более усложненный вариант семплинга, который получил название **таблично-волновой** (*wave table – WT*) и стал наиболее распространенным методом синтеза музыкальных звуков. Данный метод заключается в *записи характерных фрагментов звучания реальных инструментов – начального и среднего по времени всего звучания ноты – и использования их для синтеза всех прочих звуков, издаваемых этими инструментами*. Известно, что основную информацию об оттенках звукоизвлечения несет начальная фаза развития звука – так называемая **атака**. Следующие за ней фазы установившегося (*sustain*) звучания и конечного затухания (*release*) несут гораздо меньше информации, и для многих звуков с различной атакой практически совпадают. Записанные фрагменты образуют основной тембр инструмента, а различные приемы обработки в реальном времени – изменение частоты, амплитуды, добавление или фильтрация гармоник – придают тембру оттенки и динамику, свойственные различным приемам игры.

Таблично-волновой синтез отличается от семплерного прежде всего тем, что для создания звука одного тембра **используется не один семпл, а несколько**. В первую очередь различные семплы представляют звуки разной высоты, так как при изменении высоты тона ускорением или замедлением проигрывания изменяется также тембр звука, который при больших отклонениях от «родной» высоты теряет естественность, происходит искажение за счет смещения формант<sup>1</sup>, которые во многом определяют восприятие и «узнавание» нами того или иного тембра. Поэтому исходные семплы создаются на одну–полторы октавы каждый, а иногда даже на каждую клавишу. Диапазоны нот, разделяющие один и тот же семпл, называются **зонами**. При нажатии клавиш процессор синтезатора определяет, к какой зоне она принадлежит, и выбирает соответствующий семпл для воспроизведения.

Использование семплов различной высоты порождает специфическую проблему их стыковки по тембру и громкости. Две соседние ноты, принадлежащие разным зонам, без специальных мер будут звучать совершенно различными тембрами, поскольку нижняя образована повышением высоты одного семпла, а другая – понижением высоты другого. Корректная стыковка зон – довольно трудоемкое занятие, и на недоро-

---

<sup>1</sup> **Форманты** – спектральные области, в которых независимо от высоты основного тона увеличивается амплитуда спектральных составляющих.

гих синтезаторах (особенно звуковых карт) часто можно слышать весьма заметное изменение тембра при переходе к соседней зоне.

При выборе семпла можно управлять не только высотой ноты, но и силой удара по клавише (*velocity*), что облегчает достижение натуральности звучания. Мы помним, что узнавание тембра большинства инструментов чаще всего зависит от атаки звука – силы удара, резкости щипка или давления воздуха. Записывая несколько семплов при различной силе и резкости звукоизвлечения и воспроизводя их в нужной зависимости от интенсивности ноты, можно значительно повысить естественность звучания тембра. Конечно же, здесь тоже необходима стыковка – теперь уже по громкости и яркости звуков из соседних зон интенсивности.

Кроме взаимоисключающего использования различных семплов, в таблично-волновом синтезе применяется также совмещение различных семплов во времени – так называемая **слои́нность** (*layering*). Технически это реализуется запуском при взятии ноты не одного звукового генератора, как обычно, а нескольких, работающих каждый в своем режиме и воспроизводящих в общем случае различные семплы. Эта технология при умелом использовании оборачивается чрезвычайно мощным средством для управления параметрами звука. Вот лишь некоторые приемы, которые довольно просто реализуются при помощи слоистой структуры звука:

- аккорд – слои состоят из семплов одного тембра, соотношение высот которых образует один из видов аккордов, и при нажатии одной клавиши звучит соответствующий аккорд;

- подзвучка – на фоне основного тембра звучит дополнительный, обычно с уменьшенной громкостью и четко различаемый на слух; так нередко делаются комбинированные ударные звуки;

- сложение – два или более тембра подбираются так, что при одновременном звучании они сливаются друг с другом, образуя новый комбинированный тембр;

- перетекание (*crossfade*) – громкость одного набора слоев постепенно падает параллельно с нарастанием громкости другого набора, что на слух воспринимается как плавное «перетекание» одного тембра в другой;

- фэйзер – в двух слоях звучит один и тот же тембр, но второй слой незначительно модулируется по частоте, что порождает сдвиг фазы, воспринимаемый на слух подобно качанию головки в стереомагнитофоне\*;

- фленжер – то же, но с более глубокой модуляцией, отчего сдвиг фазы чередуется с частотной интерференцией, что на слух похоже на характерные призвуки реактивного двигателя\*.



*\*Последние два приема относятся к классическим звуковым эффектам и в синтезаторах реализуются обычно при помощи отдельного эффект-процессора, однако на простых синтезаторах звуковых карт можно воспользоваться и слоистой структурой – разумеется, если синтезатор и программное обеспечение ее поддерживают.*

Слойная структура позволяет также реализовать – пусть и не совсем естественным путем – достаточно хорошую зависимость тембра от приемов звукоизвлечения, и в первую очередь – от его интенсивности. Вместо того, чтобы записывать разные звуки целиком, как это делалось на первых семплерах, в таблично-волновой технологии записывается один-два образца фаз *sustain/release*, а фаз атаки записывается полный набор. После этого они оформляются в различные слои, а амплитуда управляется таким образом, чтобы звучание нужного семпла атаки плавно перетекало в звучание общего семпла *sustain/release*. В более сложных синтезаторах для этого используется последовательная стыковка семплов во времени с плавным переходом одного в другой при помощи преобразований спектра; эта технология носит название **«morphing»** и аналогична используемому в видеообработке эффекту, плавно превращающему, например, автомобиль в танк или самолет.

В качестве образцов звучаний в таблично-волновом и семплерном методах могут использоваться и результаты других методов синтеза или обработки. При помощи даже сравнительно простых операций вроде суммирования сигналов с фазовым сдвигом можно получать совершенно не похожие на оригиналы звуки.

Частным случаем таблично-волнового синтеза является **гранулярный (гранулированный) синтез**. Суть его проста – берется звук, режется на маленькие кусочки (разбивается на гранулы), с этими кусочками прделываются различные манипуляции (перемешивание, реверс, выравнивание по уровню, различная обработка). От обычного семплинга отличается тем, что звуковые гранулы воспроизводятся *с сохранением длительностей* (без ускорения или замедления), что очень хорошо подходит для транспонирования ритмических фраз. Такой вид синтеза используется в программных синтезаторах AbSynth, Reaktor, Fruity Granulizer и др.

В последнее время все большее число звуковых адаптеров оснащается таблично-волновыми синтезаторами, возможности которых приближаются к профессиональным синтезаторам, используемым на музыкальной сцене. Все они содержат заранее заданный стандартный набор звуков, а некоторые позволяют использовать дополнительные, готовые или самостоятельно созданные наборы звуков. Также синтезаторы предоставляют возможности по управлению артикуляцией, амплитудной и частотной модуляцией звучания, а наиболее развитые позволяют «на ходу» в широких пределах менять спектр звука, создавать эффекты реверберации, хорового звучания, вращения звука и т.п.



### 6.3. СЕМПЛИРОВАНИЕ: ЗВУКОВАЯ ПЕТЛЯ, ОГИБАЮЩАЯ

Со времени появления первых электромузыкальных инструментов одной из их задач всегда было создание звуков, похожих на звуки «натуральных», акустических музыкальных инструментов. Первоначально для этого использовался анализ спектров данных звуков и попытки воссоздания полученных спектров с помощью различных методов звукового синтеза. Впоследствии для этого была изобретена техника семплирования (создания образцов), которая используется в большинстве современных так называемых «волно-табличных» синтезаторов, имеющих на любой звуковой карте. Помимо имитации «живых» инструментов техника семплирования может использоваться также для получения различных звуковых эффектов (например, звук летящего вертолета или аплодисментов в зале). Более того, с помощью семплирования музыканты иногда создают собственные, ни на что не похожие тембры.

Электронный инструмент, имеющий функции семплирования, называется **семплером** (*sampler* или *sampling synthesizer*). Часто семплеры бывают встроены в звуковые карты и/или интегрированы с «волнотабличным» синтезатором. Любой семплер может проигрывать записанный в память («засемплированный») звук на различной высоте, а также с разной громкостью. Однако здесь возникает проблема с третьим параметром – длительностью. Ведь если записан звук длиной, например, 3 секунды, то как выдержать его 4 секунды, если это требуется в музыкальной пьесе?

Здесь на помощь приходит один из основных приемов в технике семплирования – создание **звуковой петли**. В простейшем случае звуковая петля предполагает, что засемплированный звук проигрывается от начала до конца не один раз. Однако, как известно, самое начало звука (атака, *attack*) у большинства акустических инструментов и по громкости, и по тембру резко отличается от стабильного участка (*sustain*), на котором тембр и громкость звука остаются более или менее постоянными. Таким образом, каждый раз при возвращении к началу семпла мы будем слышать резкое изменение звучания, порой даже со щелчком, который возникает из-за резкого перепада уровня амплитуды (рис. 6.3.1).

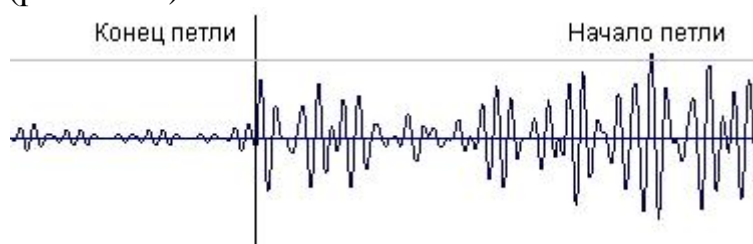


Рис. 6.3.1. Перепад уровней громкости на стыке конца и начала простой петли.

Кроме того, в конце семпла зачастую происходит постепенное затухание (*fade out*). Тембр звука также обычно постепенно меняется: например, у многих акустических инструментов при затухании звука постепенно исчезают верхние спектральные составляющие. Все это делает применение простой звуковой петли (от начала до конца семпла) в большинстве случаев неприменимым. В связи с этим в большинстве семплеров применяется «неполная» петля (рис. 6.3.2).

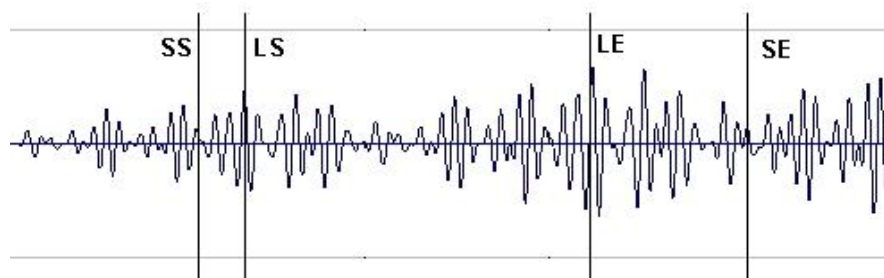


Рис. 6.3.2. Обычная («неполная») петля.

*При нажатии клавиши «проигрывание» звук начинает воспроизводиться с точки, обозначенной SS (sample start), доходит до точки LE (loop end), с нее возвращается сразу в точку LS (loop start), опять доходит до LE и возвращается к LS, и так до тех пор, пока клавиша не будет отпущена. Если есть параметр затухания после отпускания клавиши, то воспроизведение звука идет через точку LE и доходит до SE (sample end). Участки сэмпла, находящиеся перед SS и после SE, никогда не воспроизводятся.*

Некоторые семплеры способны воспроизводить и так называемую сложную петлю, с использованием нескольких точек LS и LE. Музыкант, создающий звук с помощью семплера, должен очень скрупулезно подбирать положения точек начала и конца петли (LS и LE). Они обе должны находиться на стабильном участке звука, и при этом совпадать по амплитуде (в том числе в пиках). Кроме того, если звук на инструменте был исполнен с эффектом вибрато, придется позаботиться еще и о совпадении высоты звука. Если мы имеем дело с реально записанным звуком акустического инструмента, то подобрать такие точки бывает непросто. К счастью, большинство семплеров позволяет изменять петлю прямо в процессе прослушивания звука (не отпуская клавишу инструмента). Для тех особо сложных случаев, когда подобрать LS и LE чрезвычайно сложно, во многих семплерах предусмотрен режим т.н. двунаправленной петли.

*При этом воспроизведение из точки LE не «перескакивает» на LS, а, «отразившись» от LE, продолжается в обратном направлении до LS. Затем звук снова воспроизводится в обычном направлении до LS и т.д.*

Некоторые семплеры для получения хорошей ровной петли умеют немного корректировать волновую форму засемплированного звука в соответствии с параметрами петли (перекрестное слияние – *crossfade*). Также программы работы с семплами часто предлагают

функцию автоматического подбора параметров звуковой петли, однако в большинстве случаев результат получается довольно убогий, так что лучше на эту функцию не рассчитывать.

Техника звуковой петли позволяет экономить место в оперативной памяти семплера (звуковой карты) и на внешних носителях, применение непродолжительных семплов существенно ускоряет процесс первоначальной загрузки звуков в соответствующие программы, что в некоторых случаях тоже бывает немаловажно.

Недостатком техники семплирования является большая сложность поиска оптимальных параметров звуковой петли. Более того, некоторые специалисты утверждают, что легко могут определить на слух присутствие даже очень «хорошей» петли. При ее наличии звук приобретает периодическое громкостное «качание», придающее звуку некоторую неестественность. Такое «качание» легко услышать при прослушивании отдельного звука, однако оно совершенно незаметно в реальной музыкальной фактуре.

#### ***Огибающая и ее значение***

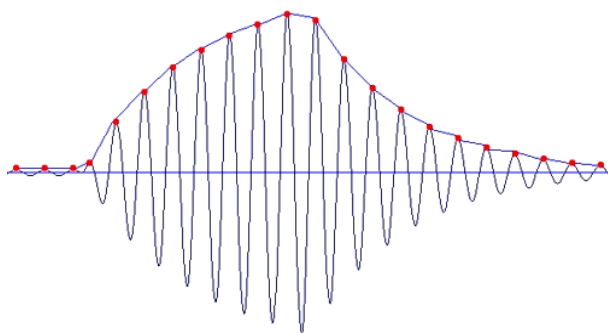


Рис. 6.3.3. **Огибающая звука.**

Одним из ключевых методов в технологиях звукового синтеза и семплирования, является применение т.н. «огибающей». Ниже изображена волновая форма звука фортепиано (самое начало, удар по клавише). Как легко заметить по размаху колебаний, громкость звука сначала возрастает, потом несколько уменьшается

и затем остается в течение некоторого времени на одном уровне. Прочертив линию, проходящую сквозь амплитудные пики этого сигнала, мы получим как бы график изменения его громкости (рис. 6.3.3).

Она получила название «**огибающая**» (по-английски – *envelope*). В данном примере мы как бы выделили из волновой формы звука ее огибающую. Но обычно поступают наоборот – корректируют волновую форму звука в соответствии с той или иной огибающей!

Исследования показали, что огибающая играет даже большую роль в восприятии и, соответственно, «узнавании» того или иного тембра, чем собственно его спектральный состав! Например, если взять чистую синусоиду и наложить на нее огибающую от звука фортепиано, то весь звук будет воспринят как звук фортепианного типа. Если же у засемплированного реального звука фортепиано «разгладить» огибающую (или просто отрезать момент атаки), то в большинстве случаев этот звук не будет ассоциироваться с фортепианным, хотя

его тембр при этом никак не изменяется. Поэтому при звуковом синтезе и семплировании всегда следует уделить особое внимание огибающей.

Применение амплитудной огибающей к звуку проиллюстрировано на рис. 6.3.4–6.3.5. Вначале синтезируем звуковую волну, затем генерируем произвольную огибающую (рис. 6.3.4) и подаем эту огибающую на амплитудный вход усилителя или звукового генератора (рис. 6.3.5).

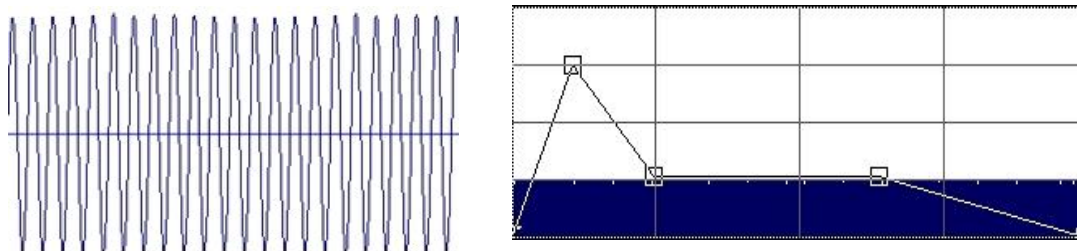


Рис. 6.3.4. «Ровная» звуковая волна и сгенерированная огибающая.

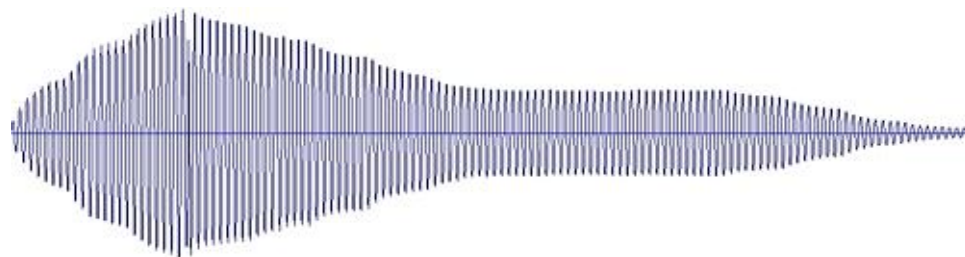


Рис. 6.3.5. Управление амплитудой звука с помощью выбранной огибающей.

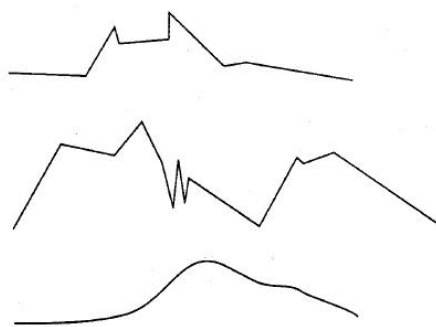


Рис. 6.3.6. Различные виды огибающих.

В качестве огибающей обычно выступает какой-либо неперiodический сигнал. В зависимости от творческой задачи можно построить, вообще говоря, какую угодно огибающую (рис. 6.3.6). Однако для большинства звуков характерны схожие их типы, поэтому в различных синтезаторах и семплерах часто используются некоторые стандартные виды огибающих (с возможностью настройки параметров).

Наиболее распространенный вид огибающей – это так называемая огибающая **ADSR**, состоящая из четырех участков. Она может применяться и для протяженных звуков, и для коротких. Первый участок огибающей – первоначальное нарастание звука (*attack*). Потом следует небольшое (обычно очень быстрое) затухание до «основного» уровня громкости звука (*decay*). Затем наступает т.н. стабильный участок звука, на котором уровень его остается постоянным (*sustain*). Последний участок – это конечное затухание (*release*), которое обычно

включается после отпускания клавиши (рис. 6.3.7).

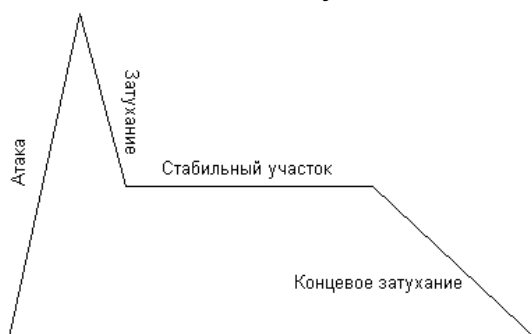


Рис. 6.3.7. Стандартная огибающая ADSR.

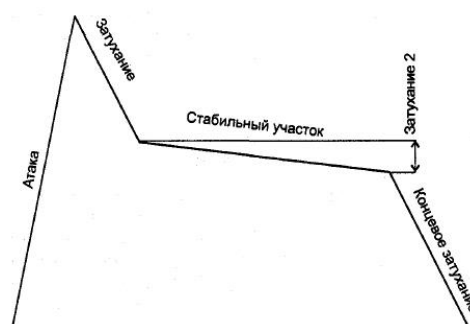


Рис. 6.3.8. Огибающая ADSDR.

С помощью огибающей ADSR можно довольно неплохо описать многие тембры, в том числе некоторых акустических инструментов (например, гобоя или кларнета). Однако в ряде случаев бывает целесообразно применять другие виды огибающих. Например, нам нужно сымитировать звук фортепиано, и мы уже синтезировали соответствующий спектр. Как известно, если долго держать нажатой клавишу фортепиано, звук очень медленно затухает. Поэтому огибающая ADSR в данном случае неприменима – ведь она предполагает постоянную громкость на стабильном участке.

Для подобных случаев часто применяется огибающая **ADSDR**, которая тоже состоит из четырех участков, однако имеет **пять** параметров настройки. Четыре из них совпадают с соответствующими параметрами огибающей ADSR, но есть и еще один – скорость затухания на стабильном участке (*decay2*, см. рис. 6.3.8). Этот параметр может задаваться по-разному, например, с помощью указания времени полного затухания звука на стабильном участке.

По аналогии с **огибающими к выходной амплитуде звукового сигнала** в некоторых устройствах есть возможность применять различные **огибающие к другим звуковым параметрам**. Например, для имитации детонации, эффекта портаменто и т.д. можно применить соответствующим образом выстроенную огибающую не к громкости, а к высоте звука. Если спектр воспроизводимого звука достаточно богат составляющими (например у акустических инструментов), то целесообразно применить одну и ту же огибающую и к громкости, и к «яркости» звука. Интересно также бывает применить различные огибающие к фильтрам и к различным параметрам звуковых эффектов.

## 6.4. ФИЛЬТРЫ И ЗВУКОВЫЕ ЭФФЕКТЫ

Звуковым **фильтром** называют прибор или программный модуль, *пропускающий через себя только часть спектра звукового сигнала*. Например, запись на магнитофонной кассете, скопированная несколько раз, содержит довольно сильный шум в частотном диапазоне

от 3 до 5 кГц. Пропустив звуковой сигнал, поступающий с этой кассеты, через соответствующий фильтр, мы получим на выходе ту же запись, в спектре которой не будет составляющих в этом частотном диапазоне, то есть шум в основном исчезнет. Конечно, на самом деле не все так просто, поскольку в частотном диапазоне 3–5 кГц содержатся также частотные составляющие полезного сигнала, и после такой фильтрации тембр звучания потускнеет.

Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи также обязательно содержат фильтры. Например, частоты, лежащие выше половины частоты дискретизации, при оцифровке отобразятся неправильно и, скорее всего, будут восприниматься как помехи или искажения. Чтобы этого избежать, перед оцифровкой сигнала высокие частоты удаляются с помощью фильтра, и в результате оцифрованный сигнал оказывается свободным от данных искажений.

Все звуковые фильтры можно разделить на **четыре типа** – *низкочастотные* (*low-pass*), *высокочастотные* (*hi-pass*), *полосовые* (*band-pass*) и *режесекторные* (*notch*). Низкочастотный фильтр пропускает через себя нижние частоты и подавляет верхние. Высокочастотный, наоборот, пропускает верхние частоты и подавляет нижние. Параметр, называемый **частотой среза**, указывает, с какой частоты начинается подавление спектральных составляющих. Например, если частота среза низкочастотного фильтра равна 5 кГц, это означает, что все составляющие на частотах ниже 5 кГц беспрепятственно пройдут сквозь фильтр, а компоненты на частотах выше 5 кГц будут подавлены.

### **Эквалайзеры**

Если один и тот же звуковой сигнал параллельно подать на несколько полосовых фильтров, количество и ширина полос которых подобраны так, чтобы перекрыть весь слышимый частотный диапазон, а затем суммировать их звуковые сигналы, предварительно отрегулировав выходной уровень каждого из них, то получится прибор, который обычно называют **графическим эквалайзером**. На стандартном графическом эквалайзере (в том числе и в компьютерных реализациях), как правило, выходной уровень сигнала каждого фильтра регулируется ползунковым регулятором, и общий вид расположения этих регуляторов дает графическое представление о преобразовании сигнала.

Чем шире полоса каждого фильтра, тем меньшее количество фильтров требуется, чтобы перекрыть весь частотный диапазон, и тем «грубее» будет звуковое преобразование. В дешевых музыкальных центрах, например, обычно имеются встроенные 3- или 5-полосные эквалайзеры. Для более или менее серьезной работы необходимы как минимум 10- или 15-полосные эквалайзеры, причем с возможностью независимой обработки каждого стереоканала. А вот цифровая техника здесь имеет большое преимущество, поскольку позволяет разбивать



звуковой поток на десятки полосовых фильтров. Известна, например, компьютерная реализация 512-полосного графического эквалайзера, выполненная московским программистом и музыкантом Д. Жалниным в виде небольшой программы, работающей под управлением DOS.

Как известно, даже в бытовых условиях эквалайзеры применяются для того, чтобы скорректировать звучание (амплитудно-частотную характеристику) выходного сигнала. Для тех же целей они широко используются в звукозаписи и звукорежиссуре, а также в процессе звуковой обработки или синтеза.

### ***Звуковые эффекты: цифровая задержка, эхо и мультиэхо***

После записи оцифрованного звукового сигнала, синтеза или семплирования, а также в процессе исполнения к основному звуку часто добавляют различные звуковые эффекты. Это делается обычно с целью «улучшить» звучание – придать звуку естественность, поместить в некое виртуальное пространство, сгладить шероховатости исполнения и т.п. Звуковых эффектов существует множество, и каждый из них иногда может оказаться в роли самого необходимого элемента. Рассмотрим наиболее распространенные эффекты, ставшие уже стандартными. Они могут быть реализованы как в виде отдельных студийных приборов, так и в виде различных функций или подключаемых модулей какой-либо программы.

Один из самых простых звуковых эффектов называется задержкой (*delay*). Поскольку обычно он бывает реализован в цифровых приборах, его часто называют **цифровой задержкой** (*digital delay*). Принцип действия весьма прост: входной сигнал в неизменном виде поступает на выход, но с небольшой временной задержкой и обычно с чуть более низким уровнем. Будучи смешан с прямым сигналом, он дает различные эффекты.

*Например, при малом времени задержки и большом выходном уровне (–3 дБ и более) мы получим эффект «драблекса» (применяется чаще всего для обработки вокала, как бы «раздваивая» голос). Если же время задержки превышает 1–1,5 с, а выходной уровень меньше –6 дБ, то получается эхо.*

Еще более интересные эффекты можно получить, используя принцип обратной связи (подача выходного сигнала задержки обратно на вход с небольшим уменьшением уровня). При этом основной звук будет многократно повторен, постепенно затухая. Иногда применяют параллельно несколько эффектов цифровой задержки (с разным временем задержки). В этом случае результат называют мультизадержкой или мультиэхом.

### ***Реверберация***

Когда источник и приемник звука находятся в естественной акустике (в каком-либо помещении), приемник получает не только прямой звуковой сигнал, но и его многочисленные отражения. Первым к приемнику приходит прямой сигнал (он звучит наиболее громко), а после небольшой «паузы» его достигает так называемый пучок

первичных отражений – сигнал, однократно отразившийся от стен и других предметов. Поскольку звуковой сигнал продолжает «летать» по помещению, отражаясь от стен и мебели до тех пор, пока окончательно не затухнет, приемника постепенно будут достигать вторичные, третичные и последующие его отражения, причем частично поглощенные окружающими предметами. Появление сигналов будет настолько частым, а сами они столь ослабленными, что практически сольются в один постепенно затухающий «шлейф». Таким образом, восприятие сигнала в естественной акустике можно разделить на несколько этапов – прямой сигнал, пауза (время предзадержки), пучок первичных отражений, затухающий шлейф вторичных и прочих отражений.

Существует множество алгоритмов для искусственной имитации описанных выше процессов. Такую имитацию называют **реверберацией**. Алгоритмы реверберации обычно основаны на сочетании множества цифровых задержек, величины которых не кратны одна другой, и их последующей обработки с помощью так называемых ячеек Шредера и/или рециркуляторов. Подробное описание алгоритмов реверберации можно найти в технической литературе, а для пользователя, как правило, остаются открытыми лишь немногие их параметры, с помощью которых, однако, можно достаточно гибко управлять «искусственной акустикой».

### ***Хорус***

Данный эффект, также основанный на цифровой задержке, обычно используется при обработке звучания мелодических линий. Как видно из названия, хорус как бы создает эффект хора, несколько «утолщая» звук. Для этого обычно используется цифровая задержка или мультizaдержка на очень маленький временной интервал с неглубокой модуляцией задержанного сигнала по частоте. Каждый задержанный сигнал звучит практически одновременно с прямым, но на отличающейся на несколько десятков центов высоте. Собственно говоря, то же самое происходит в реальном хоровом унисоне.

### ***Флэнджер и фазер***

Эффекты флэнджера и фазера также построены на цифровой задержке. Дело в том, что при уменьшении времени задержки до очень маленьких значений, сравнимых со временем одного периода звукового сигнала, сложение прямого и задержанного сигнала дает очень интересные спектральные эффекты, в частности «яркость» звука начинает изменяться во времени. Эти эффекты обычно применяют к звукам со сложным, богатым спектром. Для того чтобы эффект «произвел эффект» на слушателя, исходный сигнал должен состоять из долгих, протяженных звуков. Особенно хорошо, если флэнджер и фазер приложены к многоголосной фактуре.

Для получения эффекта флэнджера прямой сигнал складывается с задержанным. При этом время задержки должно быть очень мало, а задержанный сигнал обычно модулируется по высоте (наподобие эффекта вибрато). Иногда задержанный сигнал несколько ослабляют и вновь направляют на вход эффекта, образуя обратную связь. Эффект фазера на слух часто бывает очень похож на флэнджер, да и способ его получения отличается лишь тем, что вместо задержки всего сигнала используют фазовый сдвиг на некоторых его частотах. Обработанный сигнал при этом также модулируется по высоте и складывается с прямым.

Гитаристам обычно очень хорошо знаком также эффект «вау-вау», который на слух несколько напоминает флэнджер или фазер. Однако в его основе лежит несколько иной принцип – сигнал пропускается через полосовой фильтр. При этом центральная частота этого фильтра быстро изменяется, может меняться во времени также ширина полосы пропускания.

### ***Динамическая компрессия, гэппер и другие эффекты***

Все рассмотренные до сих пор эффекты, так или иначе, основаны на цифровой задержке. Однако существует и множество других эффектов, также широко применяемых в музыкальной практике. К ним, например, относятся динамическая компрессия (сужает динамический диапазон выходного сигнала), так называемый «гэппер» («прореживает» звуковую волну очень короткими фрагментами тишины, будучи примененным к речевому сигналу, создает «голос робота»), эффект искажения (обычно «срезает» амплитудные пики на звуковой волне, порождая довольно громкие высокочастотные составляющие; традиционно применяется на звуках гитарного типа), эффект расширения стереобазы и т.д.

### **Вопросы для повторения:**

1. Сущность и параметры оцифровки звука.
2. Методы обработки звука.
3. Краткий обзор видов звукового синтеза.
4. Сущность таблично-волнового синтеза звука. Технология слойности.
5. Значение техники семплирования. Звуковая петля.
6. Огибающая и ее значение. Виды огибающих.
7. Понятие фильтра. Эквалайзер.
8. Звуковые эффекты. Их технологии.

# VII. ОСНОВЫ MIDI-ТЕХНОЛОГИИ

## 7.1. ПОНЯТИЕ MIDI-ИНТЕРФЕЙСА

Как мы помним, *интерфейсом* называют способ обмена данными. Долгое время единственным способом обмена данными между электронными музыкальными инструментами и вспомогательными приборами была обычная передача звуковых колебаний в виде электрических колебаний. Однако в 80-е годы многим ведущим производителям музыкального оборудования стало понятно, что этого недостаточно, и надо эту проблему решать.

В мире выпускалось большое количество автоматических устройств – ритм-машин и секвенсоров; первые по заданной программе выдавали ритмическое сопровождение с нужным рисунком, вторые использовались для запоминания сыгранных партий с целью последующего автоматического воспроизведения. Большой интерес представляло создание «электронного оркестра», когда один исполнитель мог бы заставить одновременно звучать несколько инструментов, используя только одну или две клавиатуры. Однако, каждый производитель сам разрабатывал способ соединения (интерфейс) и обеспечивал совместимость только внутри определенной серии своих инструментов. Необходим был единый, универсальный способ обмена данными, который позволил бы соединять друг с другом инструменты различных производителей и моделей, с единым способом управления процессом извлечением звука и его параметрами. В результате, по инициативе нескольких ведущих производителей музыкальных инструментов – Yamaha, Roland, E-mu, Korg и др. В 1982 году был разработан и принят в качестве общемирового стандарта интерфейс **MIDI**, устанавливающий как способ соединения инструментов – разъемы, кабели, электрические сигналы (аппаратная часть), так и способ их общения между собой (информационная часть). Аббревиатура MIDI означает «**M**usical **I**nstruments **D**igital **I**nterface», то есть цифровой интерфейс музыкальных инструментов.

Основная идея MIDI состоит в том, что это – событийно-ориентированный интерфейс, по которому передаются **сообщения**, информирующие о наступлении различных событий в реальном времени. Когда исполнитель ударяет по клавише или, наоборот, отпускает ее, усиливает или ослабляет давление на нажатую клавишу, переключает тумблеры или поворачивает регулятор на панели управления, давит на педаль – инструмент преобразует каждое из этих действий в соответствующее сообщение, которое в закодированном виде отправ-

ляется по интерфейсу. Сообщения генерируются и отправляются достаточно быстро – 1000..1500 в секунду, поэтому они весьма точно описывают не только сами действия исполнителя, но и его индивидуальную манеру игры. Другие инструменты, подключенные к этому же интерфейсу, могут воспринимать эти сообщения и отрабатывать их так же, как будто исполнитель воздействует на их собственные органы управления – именно так и реализуется упомянутый «электронный оркестр». По MIDI можно соединить практически любое количество инструментов, и все они могут обмениваться сообщениями друг с другом.

Благодаря MIDI создалась возможность не только объединения нескольких «полных» – то есть содержащих и клавиатуру, и блок синтеза звука – инструментов, но и разделения их на функционально независимые части – устройства ввода (**контроллеры**), обработки (**процессоры**) и синтеза звука (**тонгенераторы**). MIDI-контроллеры существуют в виде клавиатур, педалей, дыхательных (*breath*) датчиков и даже гитар, скрипок или флейт, причем последние три вида – не какие-нибудь электронно-кнопочные, а самые обычные инструменты, игра на которых при помощи датчиков и анализаторов преобразуется в поток MIDI-сообщений, по которому специальные синтезаторы могут весьма натурально воспроизвести исполнительские нюансы. Тонгенераторы представляют собой «черные ящики», предназначенные только для создания звука по MIDI-командам и не имеющие собственных исполнительских «органов». А в качестве процессора чаще всего используется компьютер.

Способ представления музыки в MIDI оказался настолько удобным и популярным, что уже в середине 80-х практически не выпускалось инструментов без его поддержки, а в новых операционных системах того времени – Windows и OS/2 – он был реализован в качестве одного из стандартных элементов ОС. Сейчас практически каждая звуковая карта содержит хотя бы один внешний MIDI-интерфейс, к которому через специальный адаптер может подключаться любое количество MIDI-инструментов (в том числе – и другой компьютер с подобным адаптером).

Реализация MIDI в Windows и OS/2 использует понятие **порта**, эквивалентного разъему на обычном «железном» инструменте. Благодаря системе портов в системе стало несложно создать специальные виртуальные MIDI-устройства, которые обрабатывают проходящие через них сообщения – например, разделяют ноты, пришедшие с одной MIDI-клавиатуры, на две или более областей, направляя каждую область в свой канал порта вывода, что позволяет играть на одной клавиатуре в две или четыре руки разными тембрами, или преобразуя каждую ноту в аккорд, добавляя к ней дополнительные ноты. Также стало возможным создание секвенсера, устройства, которое запомина-

ет последовательность действий, производимых на электронном музыкальном инструменте при исполнении какой-либо музыкальной пьесы, а также временные промежутки между этими действиями.

Несмотря на ее популярность, MIDI-технология часто подвергается критике, как со стороны музыкантов, так и инженеров. Первые справедливо указывают на ограниченность выразительных средств, узкий динамический диапазон, невозможность оперировать голосом и традиционными (не электронными) музыкальными инструментами. Вторые отмечают устаревшую технологию передачи данных, медленность в работе и недостаточную четкость синхронизации разных MIDI-событий.

С другой стороны, MIDI-технология, при всех ее недостатках заняла очень выгодное «серединное» положение между нотной записью музыки и обычной записью звука на цифровые или аналоговые носители. Разумеется, MIDI-файл никогда не заменит традиционную форму записи музыки, но он имеет и некоторые недоступные последней преимущества.

**Во-первых**, запись музыки в аналоговом или цифровом виде в значительной мере ограничивает возможности ее редакции – например, изменить какую-либо ноту в аккорде; понизить или повысить тональность, без потери качества; изменить темп, расставить по-новому акценты и т.д. Фактически невозможно передать записанную партию другому инструменту (например, заменить флейту трубой), конвертировать в отдельные нотные партии и переаранжировать «под себя». С MIDI-аранжировкой таких проблем нет – ее можно легко распечатать в виде нот, удалить или изменить любой инструмент, дописать новые голоса или исправить отдельные ноты.

**Во-вторых**, MIDI-технология позволяет легко создавать сети звуковых модулей, оперировать семплами и тембрами, управлять работой синтезаторов и различных программ и т.д., значительно расширяя возможности композитора, исполнителя, аранжировщика.

**В третьих**, MIDI-технология имеет ряд важных преимуществ в отношении традиционной нотной записи музыки. Записанная в реальном времени MIDI-партия определяет длительность и местоположение нот, а также и громкость каждой из них. Кроме того, она позволяет точно передавать ритмический рисунок исполняемой партии. Особенно это касается стилей, где используется свинговый пульс, а также авангардной или этнической музыки. Таким образом, место, которое занимает в музыке MIDI-технология, заполнить пока нечем.

## 7.2. MIDI-СООБЩЕНИЯ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ТЕХНОЛОГИИ. MIDI-СЕКВЕНЦИЯ

Как принято у каждого «нормального» компьютера, все данные передаются «в цифре», т.е. в виде 1 и 0. Почему цифрами, а не прямо нотами? Ноты – это всего лишь обозначение звуков, вернее, только некоторых их характеристик. Например, очень легко можно на слух отличить рояль от флейты, когда они играют одну и ту же ноту, но вот попробовать описать услышанное одним словом явно не получится. Цифрами же человек может целиком и полностью описать все действия над чем-либо и правила этих действий (вспомните такой тип звукового синтеза как физическое моделирование). Вот и производителями электронных музыкальных инструментов был придуман способ обмена сообщениями между различным музыкальным (и не очень) оборудованием. Сообщения эти в переводе на человеческий язык выглядят так: «Я, инструмент под номером 1 посылаю ноту номер 43, длительностью 99, сыгранную программой 1 на канале 16»; или «Я, инструмент под номером 2 устанавливаю громкость в 100, на канале 16»; или «Я, инструмент под номером 1 посылаю сообщение < 12345 87654 97976 87654> инструменту номер 16».

*Передаваемое по MIDI сообщение о каком-либо из подобных действий называют MIDI-сообщением, а всю последовательность MIDI-событий и временных промежутков между ними – секвенцией* (ничего общего не имеющей с общемузыкальным понятием секвенции).

Самым распространенным типом **MIDI-сообщений** является **нажатие клавиши** (*Note On* или *Key On*). Это сообщение несет в себе информацию о двух параметрах: *номере нажатой клавиши* и *силе удара* по ней.

Здесь необходимо сделать небольшое пояснение. Дело в том, что большинство параметров MIDI могут принимать значения от 0 до 127 (почему так, будет объяснено ниже), поэтому размер полной MIDI-клавиатуры составляет 128 клавиш, которые пронумерованы в восходящем порядке. Поскольку для музыкантов привычнее оперировать с названиями нот и номерами октав, то в MIDI-стандарте описано соответствие между номером клавиши и его «интуитивным» значением. Однако номера октав здесь отличаются от принятых на акустических инструментах.

Сами октавы нумеруются от минус второй (субконтроктавы) до восьмой. Клавиша номер 0 соответствует «до» минус второй октавы, а клавиша номер 127 – «соль» восьмой октавы. При этом, реальная высота звуков зависит от того, каким образом построен тот «инструмент», которым мы управляем по MIDI, и номер MIDI-октавы – это всего лишь вспомогательное значение (номера клавиш для передаваем-

мых MIDI-сообщений можно настроить с помощью ручек управления или кнопок).

*Сила удара* по клавише измеряется как скорость ее движения вниз при нажатии, поэтому этот параметр принято называть по-английски *velocity* или *velocity on*. Он имеет также 128 градаций. Максимальная сила нажатия соответствует значению 127, а минимальная – 1. Значение, равное 0, используется особым образом, об этом будет рассказано чуть ниже.

Только очень качественные MIDI-клавиатуры обеспечивают 128 градаций при измерении *velocity on*. Многие устройства измеряют этот параметр более грубо, используя, например, 32 или 16 градаций. Такое измерение приводит к менее точной передаче и записи исполнения, и при выборе MIDI-клавиатуры на это следует обратить особое внимание. Некоторые дешевые MIDI-клавиатуры (обычно встроенные в устаревшие синтезаторы) вообще не измеряют силу нажатия, передавая по MIDI все время одно и то же значение, например 64.

Другой важный тип MIDI-сообщения – *отпускание клавиши* (*Note Off* или *Key Off*). Важно понимать, что отпускание клавиши – это совершенно самостоятельное MIDI-событие, никак не связанное с нажатием клавиши (кроме как по смыслу). Устройство, получившее по MIDI сообщение о нажатии клавиши, начинает воспроизводить соответствующий звук и «держит» его до тех пор, пока не получит сообщение об отпускании той же самой клавиши. Несмотря на то что во многих MIDI-редакторах для удобства использования введено понятие «длина ноты» (*note length*), всегда полезно помнить, что на самом деле по MIDI не передается никакая «длина», а есть только «нажатие» и «отпускание» клавиши, звук же мы будем слышать на временном промежутке между ними.

MIDI-сообщение «отпускание клавиши», подобно предыдущему, содержит в себе информацию о *номере отпускаемой клавиши* и о *скорости ее отпускания* (*velocity off*). Скорость отпускания клавиши редко влияет на звучание (это зависит от «инструмента»), однако в некоторых случаях этот параметр может иметь большое значение. Тем не менее, многие MIDI-клавиатуры вообще не измеряют скорость отпускания клавиши, передавая по MIDI некоторое стандартное значение этого параметра (обычно 64).

Более того, иногда устройства вообще не передают (или «не понимают» при приеме) MIDI-сообщение «отпускание клавиши». В этом случае вместо него используется сообщение «нажатие клавиши» со скоростью 0 (значение параметра *velocity on* равно 0). В последнее время для унификации стандарта практически все MIDI-устройства способны воспринимать в качестве команды отпускания клавиши и собственно «отпускание клавиши», и «нажатие клавиши»



при  $velocity=0$ . Однако в некоторых случаях все же необходимо явным образом установить соответствующий переключатель (обычно в программных настройках устройства).

MIDI-сообщение **изменение высоты** (*Pitch Bend*) регулируется так называемым «колесом высоты», обычно находящимся слева от клавиатуры. Это колесо изменяет высоту воспроизводимого звука, увеличивая или уменьшая скорость его проигрывания. Максимальное отклонение от основной высоты определяется в настройках «инструмента» и может составлять от 1 до 12 полутонов. По MIDI передаются сообщения обо всех промежуточных положениях этого колеса, которые измеряются довольно точно – для него определены 16384 градации! Однако большое количество устройств (особенно старых и недорогих) неспособно передавать движения колеса с такой точностью.

MIDI-сообщение **изменение давления** (*Aftersustain*) передает по MIDI любое изменение давления на клавишу после ее нажатия. На самом деле оно существует «в двух экземплярах». Строго говоря, это два разных типа MIDI-сообщений, однако одновременно может поддерживаться только один из них.

Первый тип называется *Polyphonic Aftersustain*. MIDI-сообщение этого типа несет в себе информацию о номере клавиши, на которую изменилось давление, и об уровне давления. MIDI-сообщения другого типа – *Channel Aftersustain* – содержат информацию только об уровне давления. Другими словами, если вы, к примеру, взяли трехзвучный аккорд, а затем изменяете давление только на одну из нажатых клавиш, то во втором случае звуковые изменения затронут весь аккорд. Сегодня большинство производимых устройств поддерживает *Polyphonic Aftersustain*.

Конкретное влияние изменения давления на звучание определяется в настройках «инструмента». Обычно это бывает уменьшение/увеличение либо громкости, либо глубины или скорости вибрато, либо яркости звука.

Кроме сообщений, непосредственно отражающих действия исполнителя, по MIDI передается и множество других сообщений. Например, сообщения типа **Clock** (часы) служат для синхронизации с инструментами, автоматически выдающими ритм или аккомпанемент, а также с устройствами записи. Сообщения типа **MMS** (*MIDI Machine Control* – управление MIDI-машинами) служат для запуска и остановки ритм-блоков: например, музыкант, отыграв вступление, нажатием педали посылает сообщение *Start*, которое получает ритм-блок и начинает играть сопровождение, которое может быть приостановлено и запущено вновь повторными нажатиями педали. Или перед началом исполнения инструменты могут обмениваться служебными сообщениями, «договариваясь» о режимах работы, используемых тембрах

или видах звуковых эффектов. Сообщение «выбор пьесы» (*Song Select*) позволяет переключиться с одного загруженного в секвенсер произведения на другое. Сообщение «установка курсора» (*Song Position*) меняет положение текущей позиции в секвенции и т.д.

**Исключительные системные** MIDI-сообщения (*System Exclusive Messages*), как можно догадаться из названия, носят «исключительный» характер. В отличие от всех остальных MIDI-сообщений они **всегда предназначены для какого-либо конкретного устройства** (в начале сообщения всегда идет специальный идентификационный код). С помощью исключительных системных MIDI-сообщений можно изменить параметры и настройки, недоступные с помощью «обычных» MIDI-средств (например, даже целиком передать волновую форму семпла).

Кроме этого, можно назвать такие сообщения, как смена программы, смена значения контроллера. Сообщение **смена программы** (*Program Change*) определяет, какой «инструмент» будет использоваться для выполнения всех последующих действий. Как уже говорилось, одно устройство может содержать в себе большое число различных «инструментов». Каждому из них присваивается свой номер, который и используется в данном MIDI-сообщении. Сообщение «смена программы» пересылается устройством при переключении «инструмента», однако обычно его выставляют в каком-либо редакторе MIDI-секвенсера. Соответствие номера «инструмента» реальному тембру зависит от устройства, и долгое время не было унифицировано. Однако эту проблему отчасти решило введение стандарта General MIDI и внедрение банков инструментов.

В MIDI-сообщении «смена программы» используются значения номера «инструмента» от 0 до 127. Таким образом, если устройство содержит 128 «инструментов» или менее, мы имеем возможность легко переключать их этим MIDI-сообщением. Но что делать, если устройство содержит более 128 «инструментов»? Ранее для решения этой проблемы в настройки устройства помещалась специальная MIDI-карта (*MIDI map*), где задавалось соответствие значения «смены программы» реальному номеру «инструмента» в устройстве. Сама же MIDI-карта могла быть передана в виде исключительного системного MIDI-сообщения (так это было реализовано на синтезаторе Pro Teus).

В современных устройствах, как правило, используется другая схема. Все имеющиеся «инструменты» объединяют в несколько групп по 128 в каждой. Такие группы называют **банками**. При этом MIDI-сообщение «смена программы» переключает «инструменты» в текущем банке, а смена банка осуществляется с помощью другого MIDI-сообщения – «выбор банка». Количество банков, доступных для переключения по MIDI, может достигать 16384, а максимальное количество

во «инструментов» оказывается равным 2097152. Обычно реальные устройства на сегодняшний день содержат от 1 до 20 банков.

MIDI-сообщение **смена значения контроллера** (*Control Change*) является очень важным для контроля за исполнением. С его помощью можно управлять различными параметрами исполнения – громкостью, выразительностью, вибрато, пространственной локализацией и пр. Например, чтобы установить максимальную громкость, нужно установить номер контроллера 7, а значение – 127.

Важно понимать, что, с точки зрения обмена MIDI-сообщениями, совершенно неважна физическая реализация передатчика и приемника – имеет значение лишь смысл команд и направление передачи сообщений. Под словами «инструмент» и «синтезатор» могут пониматься как традиционные инструменты с клавиатурой или тонгенераторы, подключенные к внешнему интерфейсу кабелями, так и встроенные синтезаторы звуковых карт, программные имитаторы или устройства обработки. К тому же устройство, имеющее способность издавать звук, не всегда будет делать это при получении сообщений – например, оно может быть настроено только на их пропускание сквозь себя или запоминание во внутренний блок памяти.

### ***MIDI-секвенции и стандартные MIDI-файлы***

Как мы уже говорили **MIDI-секвенцией** называют *записанную последовательность MIDI-сообщений и временных промежутков между ними*. Такая последовательность при воспроизведении с помощью тех же устройств, на которых она записывалась, повторяет оригинал так же, как обычная аудиозапись. Однако, работая с MIDI-секвенцией, мы можем как угодно исправить недостатки исполнения, добавить к нему необходимую динамику, артикуляцию, агогику и, спокойно отредактировав все исполнительские параметры, зафиксировать полученный результат. Кроме того, MIDI-секвенция, записанная в файл, занимает очень немного места по сравнению с аудиозаписью.

Для работы с MIDI-секвенциями сегодня существуют специальные программы-секвенсеры, благодаря которым редактирование стало исключительно удобным. Каким же образом MIDI-сообщения записываются в секвенцию? Сами MIDI-сообщения, как и все прочие, записываются в виде двоичных последовательностей, а вот способы записи временных промежутков между ними бывают разными, в зависимости от используемого аппаратного или программного секвенсера. Один из таких способов – запись в стандартные MIDI-файлы.

**Стандартные MIDI-файлы** (Standard MIDI File) являются неким универсальным форматом записи MIDI-секвенций. Несмотря на то, что любой секвенсер имеет свой собственный формат записи MIDI-данных, в подавляющем большинстве из них предусмотрена возможность чтения и записи стандартных MIDI-файлов. Имена стан-

дартных MIDI-файлов обычно имеют расширения .mid или .midi. Возможность работы со стандартными MIDI-файлами предусмотрена в некоторых системах многоканального сведения аудио, а программы для работы с нотной графикой обычно позволяют импортировать MIDI-файлы с последующим преобразованием данных.

Стандартные MIDI-файлы могут быть *трех типов*, которые называют «тип 0», «тип 1» и «тип 2». В файлах типа 0 весь поток MIDI-информации записывается последовательно. В файлах типа 1 (наиболее распространенных сегодня) сообщения, передаваемые по разным MIDI-каналам, записываются в отдельные «дорожки» (tracks). Это намного облегчает восприятие музыкальной структуры (например, при загрузке в программу-секвенсер) и редактирование. В MIDI-файлах типа 2 предусмотрена возможность установки отдельных структурных параметров для каждой дорожки. Это очень интересная возможность, однако практически она используется редко.

### 7.3. СТАНДАРТЫ GENERAL MIDI, GS, XG

Еще раз нужно подчеркнуть, что по MIDI **не** передается звук – по нему передаются только сообщения, при получении которых инструмент может его издавать. Иначе говоря, соединив инструмент и компьютер MIDI-кабелями, мы только обеспечиваем «электронный» способ управления им; звук же по-прежнему снимается со звукового выхода инструмента. Это говорит еще и о том, что сам характер звука – набор тембров, их окраска или натуральность, соотношение между голосами – будет в общем случае *индивидуален для каждого инструмента или музыкальной карты*, и если внутри одной серии инструментов еще наблюдается какое-то однообразие, то между сериями и тем более – инструментами различных производителей – его почти не бывает. Кроме этого, большинство современных инструментов и карт позволяет использовать собственные наборы (банки) тембров, еще больше усугубляющих эти различия.

Таким образом, одним из основных недостатков хранения музыкальной информации в виде MIDI-секвенций традиционно считалась необходимость привязки к конкретному устройству. Например, секвенция была сделана с использованием синтезаторов серии Yamaha PSS, а музыка начиналась тембром «Cosmic». «Инструмент», играющий этим тембром, имеет в данном устройстве номер 1, значит, в начале MIDI-секвенции есть сообщение «смена программы» с параметром 1. Теперь представим себе, что вместо Yamaha'n PSS мы хотим использовать ProTeus 1. Если проиграть эту секвенцию на нем, то вместо синтезаторного тембра мы услышим фортепианный (он имеет номер 1 в наборе Proteus'a). Другие тембры также изменятся, и в результате придется снова редактировать секвенцию, чтобы ее звучание стало похоже на то, что было задумано.

В связи с такой проблемой производители решили договориться о некотором стандартном наборе «инструментов», номера которых в наборе совпадали бы. Иными словами, при замене MIDI-устройства секвенция в этом случае будет звучать приблизительно так же, ибо номера MIDI-программ в этих устройствах соответствуют приблизительно одинаковым тембрам. Так, Ассоциация производителей MIDI-инструментов (MMA) ввела стандарт **General MIDI** – единый MIDI, или GM. Инструменты, соответствующие этому стандарту, обязаны иметь – качественно одинаковый набор из 128 мелодических (пианино, арфа, клавесин, органы, гитары, струнные, духовые, эффекты и т.п.) и 37 ударных (эстрадная ударная установка, тамбурины, конги, треугольники и т.п.) инструментов-тембров, а также реагировать на базовые команды управления звуком (громкость, панорама, модуляция и т.п.). Кроме того:

- полифония должна составлять не менее 24 одновременно звучащих голосов, из которых 8 резервируются за ударными инструментами;

- нота «До» первой октавы соответствует MIDI-ноте № 60;

- мультитембральность – не менее 16;

- ударные воспроизводятся на 10-ом MIDI-канале;

- звуки ударных должны соответствовать определенным MIDI-нотам (используются клавиши от «ре-диез» нулевой октавы (номер 28) до «ре-диез» пятой октавы (номер 87));

- возможность использования *velocity*, колеса высоты, а также 7 основных контроллеров (громкость, выразительность, пространственная локализация, демпферная педаль, вибрато и др.).

Однако эта общность соблюдается лишь в отношении типов тембров, ибо разные инструменты с совершенно одинаковым звучанием никому не нужны, и основную прелесть популярных моделей синтезаторов составляет именно их «фирменное» звучание в сочетании с возможностями обработки звука. Поэтому и исполнять MIDI-партитуры желательно на тех инструментах или музыкальных картах, для которых они были написаны, а при исполнении на других – учитывать возможное «неправильное» звучание тех или иных тембров. Кроме того, поскольку GM является предельно простым стандартом, практически каждый новый инструмент в этом стандарте имел сверх него дополнительные банки тембров, а также и собственные команды управления синтезом звука. При этом одинаковые по смыслу команды оказывались по-разному представленными в разных инструментах, что затрудняло их запоминание и использование.

Наступил момент, когда среди музыкантов стало «модным» подвергать стандарт GM довольно сильной критике, обычно называя два его основных недостатка. Во-первых, несмотря на идентичность (или схожесть) названий «инструментов», в различных звуковых модулях они построены по-разному, что может дезориентировать музыканта, счи-

тающего свою MIDI-композицию «универсальной»; а для того, чтобы она действительно являлась таковой, ему необходимо отказаться от использования большинства исполнительских штрихов. Во-вторых, ограниченный набор из 128 инструментов не дает музыкантам «развернуться» (однако традиционный симфонический оркестр имеет от 40 до 90 инструментов, что явно меньше, чем 128 в GM). Для решения этой проблемы фирмами-производителями музыкального оборудования неоднократно предпринимались попытки расширения стандарта General MIDI. Так появился стандарт **GM2** (*General MIDI Level 2*) – обновленная версия GM с увеличенным числом звуков и команд.

С целью упорядочения банков инструментов и способов управления синтезом фирма Roland ввела стандарт **GS** (*General Synthesizer*), описывающий конфигурацию двенадцати дополнительных банков (содержащих в основном вариации основных тембров и звуковые эффекты вроде взрывов, хохота или шума дождя), команды управления портаменто (глиссандо), эффектами реверберации, хора и задержки, резонансным фильтром (эффект типа кваканья), а также отдельной настройкой звучания ударных тембров. Этот стандарт имеет «обратную совместимость» с General MIDI, то есть предполагается, что любая MIDI-секвенция, созданная для GM-устройств, может быть успешно воспроизведена и на GS-устройствах. Все GS-устройства должны соответствовать перечисленным выше требованиям к GM-устройствам, однако для них предусмотрены и некоторые **дополнительные требования**: минимальный набор из 226 «инструментов», причем для выбора «инструментов», не входящих в базовый набор, используется переключение банков с помощью контроллера № 0; несколько (до 128) различных 61-звучных наборов ударных; поддержка как минимум 20 контроллеров; возможность динамической редакции по MIDI восьми звуковых параметров (время атаки и затухания, частота среза фильтра, скорость вибрато и пр.) и пяти параметров для ударных тембров (высота, пространственная локализация, а также уровень громкости, реверберации и хоруса); широкие возможности редактирования звучания с помощью исключительных MIDI-сообщений.

Стандарт GS не получил столь широкого распространения, как General MIDI, однако многие музыканты все же отдают ему предпочтение. Более того, с GS-стандартом обычно считаются производители музыкальных программ и MIDI-редакторов. Например, в программе Cubase существует специальный редактор для GS-устройств.

Впоследствии, в 1994 году фирмой Yamaha на частичной основе GS был разработан более широкий стандарт **XG** (*eXtended General* – расширенный единый), включающий до 676 мелодических и 21 наборов (kits) ударных тембров (максимум 2097152 различных «инструментов»), с чрезвычайно широким набором команд управления. Такое большое число инструментов и контроллеров предоставляет MIDI-композитору

возможность меньше ограничивать себя в создании своего произведения. Стало возможным контролировать не только параметры самих тембров, но и обработку исполняемой музыки в целом (эффекты реверберации, хора, задержки, вращающегося источника звука и другие).

Эффекты в данном стандарте можно использовать одновременно, причем их параметры легко изменять с помощью MIDI-сообщений. Некоторые XG-устройства имеют управляемые по MIDI графические эквалайзеры. Кроме того, в XG-устройствах можно применять эффекты к внешнему звуковому каналу. Практически это означает, что пользователь имеет возможность подключить к устройству микрофон или, к примеру, электрогитару и применять к входящему звуковому сигналу все те же самые эффекты, которые доступны на MIDI-дорожках. Сами эффекты при этом контролируются по MIDI обычным образом, к тому же, могут быть использованы как на отдельном MIDI-канале, так и на общем выходе. Спецификация XG позволяет использовать любой из 16 MIDI-каналов для партии набора ударных (а не только 10-й, как в GM). Стандарт XG, как и GS, обладает «обратной совместимостью» с General MIDI.

Очень важно, что для инструментов стандарта XG декларирована одинаковость основных характеристик тембров – относительной громкости, времени нарастания и затухания, спектрального состава. Поэтому композитор, создающий произведение в соответствие со спецификацией XG Level 1, может быть уверен почти на 100%, что его MIDI файл будет абсолютно также звучать на любом устройстве, отмеченном значком XG.

Отдельные элементы спецификации XG уже настолько прочно вошли в нашу жизнь, что воспринимаются большинством пользователей как неотъемлемая часть стандарта MIDI. Многие программы MIDI-редакции (например, Cubase или Sakewalk) имеют удобные средства для управления XG-устройствами.

Процесс продолжается, неудовлетворенные звучанием General MIDI разработчики пытаются улучшить данный стандарт. Одним из примеров этого является программа Native Instruments Bandstand, являющаяся по сути профессиональной семплерной заменой набора 128 инструментов банка General MIDI. По звуку, инструменты программы звучат не хуже некоторой поп-музыки, исполняемой по радио.

#### **7.4. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ MIDI-СЕКВЕНСЕРОВ**

Наиболее плодотворное использование MIDI получается не при живой игре, а путем применения секвенсоров – независимых устройств или компьютерных программ, способных запоминать все входящие сообщения (с сохранением их временных положений), а за-

тем многократно воспроизводить по команде. Такая система подобна механическому пианино, где при игре на клавишах специальный механизм пробивает отверстия в перфоленте, а затем по этой же перфоленте пианино может довольно точно «сыграть» произведение, уже без живого исполнителя. По сути, секвенсор записывает не что иное, как **партитуру** исполняемого произведения в виде, напоминающем программу для станка с ЧПУ или компьютера. За исключением того, что каждая нота записывается парой сообщений – о нажатии и об отпуске клавиши – такая запись почти не отличается от обычной нотной.

История секвенсоров в широком смысле может насчитывать несколько столетий, с момента изобретения такого музыкального инструмента, как шарманка. В нем был реализован основной принцип секвенсоров: единожды записать мелодию с аккомпанементом – и воспроизводить ее по необходимости, правда, не имея возможности что-либо менять.

В 70-е годы XX столетия секвенсором стали называть синтезатор, у которого можно было запрограммировать последовательность нескольких нот. Чаще всего это были различные варианты разложенных арпеджио. Музыкант брал на таком синтезаторе аккорд, а секвенсор начинал «прогонять» его по всему диапазону. Немного позже в одnogолосых аналоговых синтезаторах появилась возможность запрограммировать небольшой (один–два такта) мелодический рисунок. Обычно он использовался для создания басовой или солирующей партии и повторялся по много раз. Управляя различными регуляторами и переключателями, музыкант мог в реальном времени воздействовать на тембр и рисунок секвенции и, таким образом, приближать качество звучания по выразительности к «живым» инструментам.

Появившаяся новая музыкально-электронная технология (*MIDI*) дала композитору и аранжировщику несколько важных вещей – записывать партии, не только программируя их, но и исполняя «вживую»; записывать длинные и сложные последовательности нот; многоголосные партитуры; воспроизводить одновременно несколько партий с разными тембрами; слаженно управлять работой нескольких синтезаторов, разных по характеру и созданных разными производителями.

Первые компьютерные MIDI-секвенсоры появились свыше двадцати лет назад, однако сейчас они представляют столь мощные и разветвленные программные модули, что иногда многостраничные популярные издания не в состоянии охватить спектр всех возможностей. Первые секвенсоры выпускались в виде самостоятельных устройств, затем их стали включать в состав инструментов, получая рабочую станцию композитора, аранжировщика и исполнителя. Сейчас наиболее популярны многоцелевые продукты, которые совмещают в себе и MIDI-секвенсор, автоаранжировщик, нотный редактор, и многодорожечную аудиостудию, например такие компьютерные секвенсоры, как *Sakewalk* и *Cubase*. С их помощью можно записать каждую



партию на отдельную дорожку, подправить неточно сыгранные ноты или динамику перемещения рукояток, выборочно заглушать отдельные дорожки или, наоборот, отдельно слушать соло каждой дорожки, транспонировать, сдвигать, менять длительность и динамику, как на уровне отдельных нот, так и фраз, партий или всего произведения целиком. Современные секвенсоры имеют и ряд возможностей звуковой студии, позволяя записать на отдельные дорожки цифровой звук – голос певца или игру на акустической гитаре – с последующим редактированием уже на уровне звуковой волны.

Особенностью отображения программного MIDI-секвенсера является многооконный интерфейс, где партитура представлена в различных видах – в традиционном нотном, в виде списка MIDI-сообщений, схематичном звуковысотном виде и т.д. Хотя и поныне существуют MIDI-секвенсоры с необычным или экзотическим интерфейсом, все ведущие программы в этой области обладают схожим внешним видом и набором функций.

В качестве примера приведено главное окно секвенсера Cakewalk Pro Audio (рис. 7.4.1), где можно увидеть некоторые из типичных для многих секвенсеров элементы интерфейса:

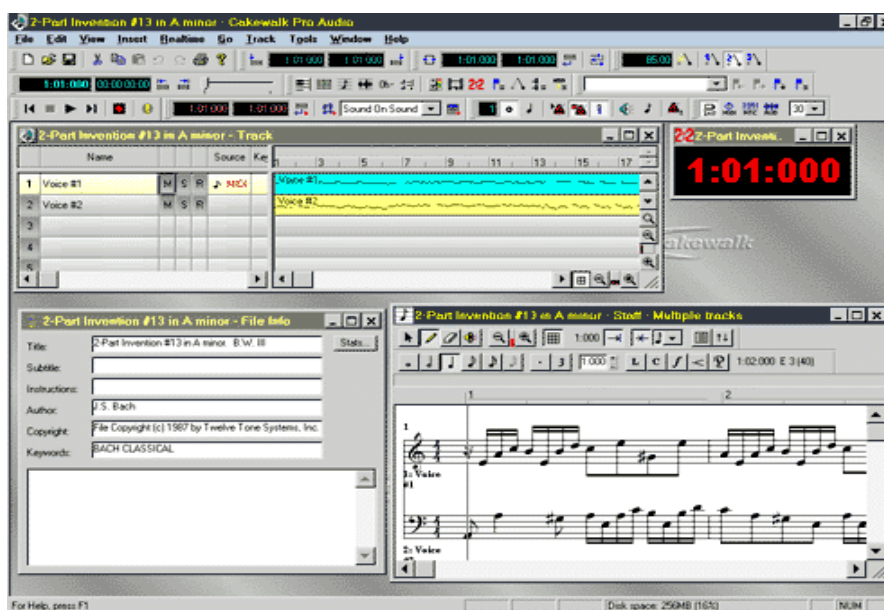


Рис. 7.4.1. Интерфейс MIDI-секвенсера.

**Нотный редактор** (*staff*), где сообщения отражаются в виде нотной записи на одном или нескольких нотных станках (в зависимости от количества выделенных треков).

**Редактор списка EventList** (*список событий*) – единственный редактор, в котором можно найти и отредактировать все виды MIDI-сообщений (взятие и снятие нот, педали, изменение тембра, громкости). В данном окне неудобно работать со сложной музыкальной фак-

турой – не наглядно для привыкших к нотному отображению партитуры, зато он легко позволяет находить и редактировать любые «нотные» MIDI-сообщения.

**Редактор Piano-Roll** – самый распространенный вид редактора, поскольку здесь можно осуществлять сложное редактирование музыкальных партий, даже не будучи знакомым с нотной грамотой. Ноты изображаются в виде прямоугольничков, расположенных в особой системе координат: по вертикали – высота ноты, по горизонтали – время. Примерно так выглядели бумажные перфорированные ленты для механических пианино в начале XX века (отсюда и название – *Piano-Roll*). В этом редакторе можно легко изменить длительность, громкость каждой ноты – инструментом «карандаш» удлинить/укоротить соответствующий этой ноте столбик. Слева в окне редактора расположена виртуальная фортепианная клавиатура, по которой можно щелкать мышкой.

**Окно треков** (иногда называется главное окно, окно песни), имеющее два раздела – обобщенное графическое отражение MIDI-партитуры и раздел вертикальных колонок информации по каждому треку – номер MIDI-канала данного трека, громкость (*Vol*), тембр (*Patchname*), панораму (*Pan*), выходной MIDI-порт, кнопки управления и т.д.

**Панель воспроизведения** (транспортная панель), которая служит для управления воспроизведением, записью, позволяет изменить темп, включить метроном, установить границы цикла.

**Микшерный пульт.** Поскольку современные MIDI-секвенсоры позволяют записывать и редактировать не только MIDI, но и аудио, то и пульт может быть одного из трех видов: отдельно для MIDI, отдельно для аудио и совместный – собранный как из аудио, так и MIDI-полосок. Разработчики программ постарались, чтобы внешний вид, назначение различных модулей и схема функционирования не отличались от таких же элементов современного аналогового пульта: фейдерные линейки, стандартный или расширенный набор переключателей и регуляторов, регуляторы-мастер и т.д.

### **Вопросы для повторения:**

1. Сущность MIDI-технологии.
2. Возможность и недостатки MIDI-технологии.
3. Краткая характеристика основных MIDI-сообщений.
4. MIDI-секвенции и стандартные файлы.
5. Сущность стандарта General MIDI.
6. Попытки преодоления недостатков GM – стандарты GM2, GS, XG.
7. Возникновение и функциональные возможности MIDI-секвенсеров.
8. Стандартные элементы интерфейса программных MIDI-секвенсеров.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

### *Сайты и порталы сети Internet по созданию и обработке музыки на компьютере:*

1. <http://music.kulichki.net> – самый известный музыкальный портал с архивами материалов по различным отраслям музыкального искусства.
2. <http://parkov.narod.ru/> – музыкальная студия La Bella Classic композитора Алексея Паркова.
3. <http://websound.ru/> – статьи и обзор программ о трекерной музыке.
4. <http://www.download.com>, <http://www.soundworld.ee/> – каталог свободно распространяемых музыкальных и мультимедийных программ и утилит.
5. <http://www.music4sale.ru/> – статьи, обзор ссылок по разделам, учебник по написанию музыки на компьютере.
6. <http://www.clink.ru/mo/> – каталог и характеристика музыкального оборудования (внешние модули).
7. [www.cjcity.ru](http://www.cjcity.ru) – обзор программ для диджея.
8. [www.mrmidi.narod.ru](http://www.mrmidi.narod.ru) – статьи о компьютерной и электронной музыке, сделанной по технологии midi.
9. [www.ozonemusic.h1.ru](http://www.ozonemusic.h1.ru) – портал по созданию музыки на компьютере.
10. [www.pcmusicpro.net/](http://www.pcmusicpro.net/) – создание музыки для профессионалов (сайты и материалы по FL, Reason 3.0, Rebirth, Ableton Live и др.).

### *Список печатных и электронных источников:*

11. Белунов В. Sinfonia.mus или заметки в нотной тетради / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа: <http://www.composer.ru/stat/CT-mus-1.html>
12. Делаем профессиональное техно в Image Line FL Studio 4.51 – Компьютерная газета. – № 10 (452). – 15 марта 2004 г. – С. 24.
13. Егоров А. Audio to MIDI. – программа для конвертирования файлов формата \*.wav в \*.mid // А. Егоров / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа: <http://www.midi.ru>
14. Живайкин П. 600 звуковых и музыкальных программ. – СПб.: ВHV – Санкт-Петербург, 1999.
15. Загуменнов А.П. Plug-ins. Встраиваемые приложения для музыкальных программ. – М.: ДМК, 2000.
16. Загуменнов А.П. Реставрация музыкальных записей. – М.: НТ Пресс, 2005.
17. Колесников С. Технологии и форматы 3D-звука / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа: [http://www.ci.ru/inform21\\_04/p\\_24.htm](http://www.ci.ru/inform21_04/p_24.htm)

18. Котов С. Стандарты MIDI: GM, GS, XG, GM2 / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа: <http://parkov4.narod.ru/>
19. Логвиненко В. Форматы звука / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа:  
[http://www.stoik.ru/articles.php?cat=3&subcat=&article=2003\\_01\\_99\\_4](http://www.stoik.ru/articles.php?cat=3&subcat=&article=2003_01_99_4)
20. Моховой, А. Sakewalk Pro Audio / А.Д. Моховой, Д. Дубровский / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа: [www.midi.ru](http://www.midi.ru)
21. Павленко А. Обработка звука в реальном времени на РС // Мультимедиа. – 1998. – № 4. – С. 90–94.
22. Персональная студия – творческая лаборатория современного музыканта // Шоу-Мастер. – 1997. – № 3.
23. Петелин Р., Петелин Ю. Аранжировка музыки на РС. – СПб.: ВHV – Санкт-Петербург, 1998.
24. Петелин Р., Петелин Ю. Персональный оркестр в РС. – СПб.: ВHV – Санкт-Петербург, 1998.
25. Программы для аудиомана. Ear Power, YoGen, Vocal Remover // Компьют. газ. – № 10 (452). – 15 марта 2004 г. – С. 26.
26. Радзевич А. Система оценки программ. Другой взгляд // Компьют. газ. – 2004. – № 36. – С. 31.
27. Радзишевский А. Компьютерная обработка звука. – М.: Нолидж, 2000.
28. Симаненков Д. Трехмерный звук / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа: <http://offline.computerra.ru/1998/269/1771/>
29. Синтезаторы XXI века. NEURON VS // Компьют. газ. – № 31 (494). – 10 января 2005 г. – С. 9.
30. Синтезаторы вокала // Компьют. газ. – № 36 (468). – 13 сентября 2004 г. – С. 27.
31. Смирнов А., Марциновский И. Будущее накопителей информации / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа:  
[http://www.compdoc.ru/peripherals/drives/future\\_drives\\_part2/](http://www.compdoc.ru/peripherals/drives/future_drives_part2/)
32. Создаем профессиональное техно в Propellerhead Reason 2.5 // Компьют. газ. – № 17 (459). – 3 мая 2004 г. – С. 6.
33. Стрельников А. MIDI-технологии. Секвенсоры / Заглавие с экрана. – Ресурс доступа:  
[http://pc-blog.ru/2007/04/15/midi\\_tekhnologii\\_sekvensory.html](http://pc-blog.ru/2007/04/15/midi_tekhnologii_sekvensory.html)
34. Цоллер С. Создание музыки на ПК: от простого к сложному. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 257 с.

