

Российский государственный педагогический
университет им. А. И. Герцена

И. Б. Горбунова

Архитектоника звука

Монография

Санкт-Петербург
2014

ББК 74.58я73

Г 67

Научный редактор:

доктор физико-математических наук, профессор **Е. Д. Трифонов**

Рецензенты: композитор, кандидат искусствоведения, профессор,
заслуженный деятель искусств РФ, член Союза композиторов
РФ **Г. Г. Белов**,
А. И. Ходанович

Горбунова И. Б.

Г 67 Архитектоника звука: Монография. — СПб.: Лема, 2014. —
123 с.

Книга ориентирована на широкий круг специалистов, занимающихся изучением физических характеристик звука. Изложенный в монографии материал может быть полезен преподавателям высших учебных заведений, студентам и магистрантам, обучающимся на соответствующих образовательных профилях и научных направлениях, а также звукорежиссёрам, саунд-дизайнерам, специалистам в области создания и обработки музыкального звука.

ББК 74.58я73

© И. Б. Горбунова, 2014

© ???, дизайн обложки, 2014

© Издательство «Лема», 2014

*Моему учителю
Геннадию Алексеевичу Бордовскому*

Введение

Слушая музыку, мы обычно не задумываемся о том, что такое звук. «Звук» — слово, имеющее двойственное значение. С одной стороны, это физическое явление: возбуждение и распространение колебаний в воздухе или в иной материальной среде, с другой — это ощущение слушателя, которое возникает в результате воздействия звуковой волны (звуковая волна → слуховой аппарат → мозг → ощущение). Первое, по существу, является причиной, последнее — следствием; понятие «звуковая волна» — объективное, «ощущение» — субъективное. Звук — как бы мы его ни рассматривали: с физической или с физиологической точек зрения, — обладает энергией. Он оказывает влияние на среду, через которую проходит, и сам изменяется ею.

Особым образом воздействует на человека художественно и логически организованный комплекс звуков, который называют **музыкой**.

Очевидно, что анализ звука с позиции его восприятия (так называемый субъективный анализ) сложнее, нежели с физической, объективной точки зрения. Мы будем рассматривать звук с обеих позиций, уделяя субъективной его трактовке особое внимание.

Наука, изучающая свойства звука, называется **акустикой** (от греч. *акустикос* — слуховой). Акустика — это обширная наука, которую принято подразделять на отдельные направления. Так, *физическая акустика* исследует общие свойства упругих волн, распространяющихся в различных физических средах; *архитектурная акустика* изучает архитектурные сооружения и помещения (например, концертные залы) с точки зрения их акустических свойств; *психоакустика* имеет дело с восприятием звука человеком. *Музыкальная акустика* исследует конструктивно-акустические свойства музыкальных инструментов и дает теоретические основы для их расчета, исследует физические характеристики

музыкальных звуков и их восприятие человеком (пересекаясь здесь с психоакустикой), выявляет акустическую природу музыкального консонанса и диссонанса, помогает строить теоретические звуковые системы и так далее. Все перечисленные аспекты включаются в понятие **архитектоники** звука (от греч. *architektonike* — основная структура, строительное искусство), под которой мы понимаем системное и вместе с тем элементарное объяснение такого многогранного, эмоционального и артистичного явления, как звук.

Архитектоника музыкального звука определяется содержанием и соотношениями между главными и подчиненными элементами в произведениях музыкального искусства, представляя закон соподчинения его частей. Архитектоника выражается во взаимном расположении частей произведения, ритмическом строе, в строе отношений и пропорций. Архитектоникой, «архитектоническим слухом» называл Н. А. Римский-Корсаков особенность хорошо развитого гармонического слуха — способность эмоционально воспринимать чувство логики музыкального языка. «Развитие слуха абсолютного и слуха внутреннего ведёт к образованию способности, которую следует назвать **архитектоническим** слухом и чувством логики музыкальной, — пишет композитор. — Это — способность слышать голосоведение и чувствовать соотношение аккордов между собою, тональное и ритмическое. [Это такая] способность, вследствие которой музыкант инстинктивно чувствует законы безусловной красоты и логической связи последовательности, осмысливающих и освещающих ходом мелодии, т. е. музыкальной речи. При этом у одних субъектов наблюдается бóльшая чувствительность к голосоведению и связи последовательностей, т. е. **архитектоническая** сторона; у других, при известной доле невзыскательности к голосоведению и связи последовательностей, обнаруживается стремление к требованиям синтактической правильности музыкального построения. <...> Разбор гармонических, контрапунктических и синтактических форм и указание на недостатки и достоинства [их] под руководством учителя (иначе — аналитический способ преподавания гармонии, контрапункта и синтактических форм) есть наилучший способ для укрепления и развития **архитектонического** слуха и чувства логики» (Римский-Корсаков Н. А. О музыкальном образовании // Полн. собр. соч. Литературные произведения и переписка. М.: Музгиз, 1963. Т. 2. С. 179).

Звуковые колебания

Каждому школьнику известно, что звук — это волна. Действительно, любой предмет, совершающий возвратно-поступательные движения (камертон, струна рояля или гитары, наши голосовые связки и т. д.), вызывает движение соприкасающихся с ним молекул воздуха, которое передаётся другим молекулам, в результате чего в пространстве распространяются периодически повторяющиеся зоны сгущения и разрежения плотности воздуха (рис. 1).

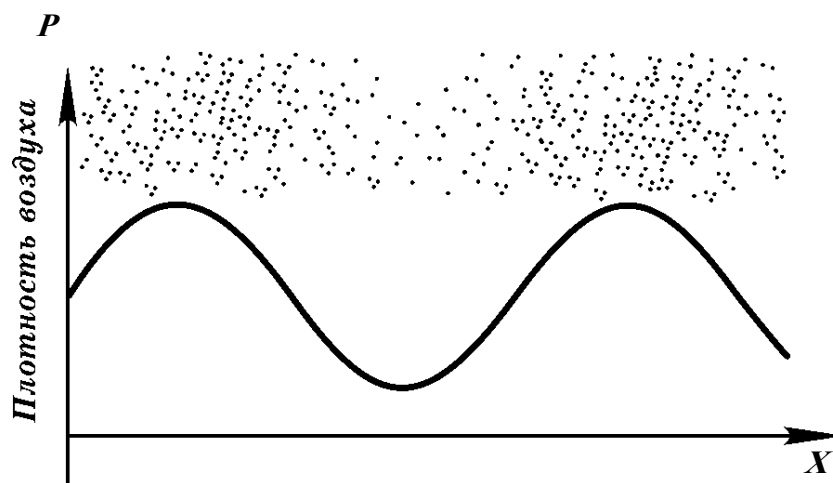


Рис. 1. Простейший случай периодического изменения плотности (P) воздуха, вызванного звуковым колебанием (сигналом тонгенератора), в зависимости от расстояния (X)

Изменение плотности воздуха вызывает пропорциональное изменение давления воздуха. Именно эти изменения давления (на рисунках обозначено буквой P) и плотности, распространяющееся в пространстве, и представляют собой звуковую волну, воспринимаемую нашим слухом. Изменение плотности воздуха в

пространстве (относительно атмосферного давления P_0), и соответствующее изменение плотности воздуха (рис. 2) в простейшем случае можно изобразить в виде синусоиды.

Расстояние в пространстве между соседними максимумами давления называют *длиной волны* (измеряемой в метрах). Длину волны обозначают буквой λ . Максимальное отклонение давления от атмосферного значения в звуковой волне называют *амплитудой* звуковой волны и обозначают буквой A . На графике (рис. 3) амплитуде будет соответствовать разница между самой высокой (или низкой) точкой волны и горизонтальной осью графика.

Зависимость давления в звуковой волне от пространственной координаты x в фиксированный момент времени можно представить формулой:

$$P(x) = A \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right). \quad (1)$$

Отметим, что для самого громкого звука, который может воспринимать человеческое ухо, амплитуда звуковой волны в тысячи раз меньше атмосферного давления.

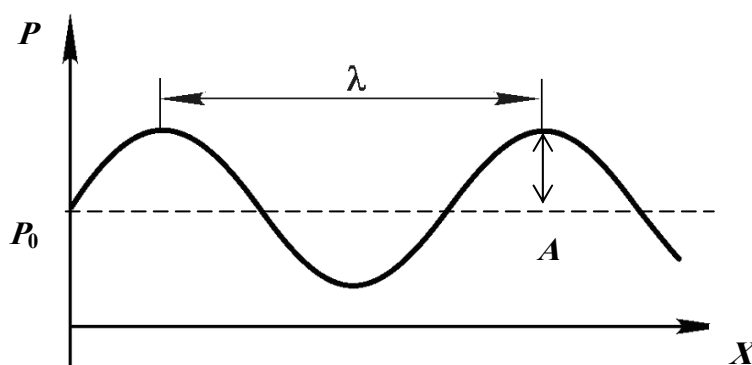


Рис. 2. Изменение давления воздуха (относительно атмосферного давления P_0) в зависимости от расстояния в синусоидальной волне

Если измерять плотность или давление в одной и той же точке пространства, в котором распространяется звуковая волна в зависимости от времени, то и в этом случае также будет наблюдаться колебательный процесс (см. рис. 3). Интервал времени между соседними максимумами называют *периодом колебания*

(на рис. 3 обозначен как T), он измеряется в секундах. Звуковая волна в воздухе при нормальном атмосферном давлении распространяется со скоростью 330 м/с. Скорость звука принято обозначать буквой c .

Количество колебаний в секунду, называемое *частотой*, измеряется в *герцах* и обозначается буквой f . 1 Гц соответствует одному полному циклу колебания в секунду, $f = 1000 \text{ Гц} = 1 \text{ кГц}$ (один килогерц) — это 1000 циклов колебаний в секунду. Очевидно, что частота численно равна одной секунде, делённой на период, т. е. $f = 1/T$. В настоящее время международно принятый эталон (стандарт) частоты, или музыкальной высоты звука для первой октавы, по которому настраиваются все музыкальные инструменты, составляет 440 Гц. Некоторые музыканты, имеющие *абсолютный слух*, т. е. от природы владеющие памятью на конкретную высоту звука, воспринимают отклонения от этой частоты как фальшивое звучание, даже не сверяясь с камертоном.

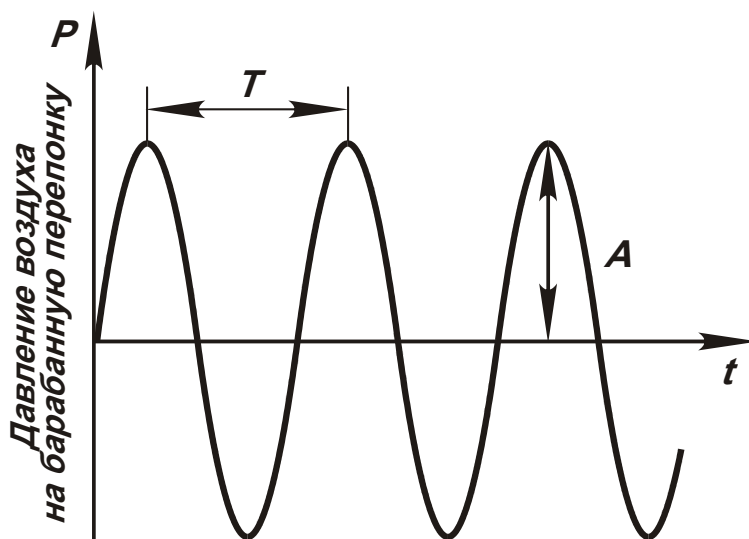


Рис. 3. Зависимость давления от времени в одной точке пространства для синусоидальной звуковой волны

Период колебания может быть выражен как время, за которое волна пройдет расстояние, равное одной длине волны λ :

$$T = \frac{\lambda}{c}.$$

Так как $T = \frac{1}{f}$, то отсюда следует, что $\lambda = \frac{c}{f}$, или $f = \frac{c}{\lambda}$.

Мы видим, что частота колебаний волны обратно пропорциональна длине волны. Чем больше частота звука, тем меньше длина волны и наоборот.

Гармоническое колебание с частотой f может быть представлено формулой:

$$P = A \sin(2\pi ft + \varphi), \quad (2)$$

где величину $(2\pi ft + \varphi)$ называют *фазой колебания*, а величину φ называют *начальной фазой*.

Обе формулы (1) и (2) могут быть объединены в одну формулу, которая описывает зависимость давления как от пространственной координаты, так и от времени:

$$P = A \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} \pm 2\pi ft + \varphi\right). \quad (3)$$

Именно эту формулу принято называть *уравнением волны*. Знак «+» или «-» соответствует волнам, распространяющимся влево или вправо вдоль оси X . Аргумент синуса $(\frac{2\pi x}{\lambda} \pm 2\pi ft + \varphi)$ называют *фазой волны*. Значение фазы определяет значение синуса, а следовательно, и величину давления. Чтобы проследить распространение волны, достаточно выяснить, как перемещается в пространстве фиксированное значение давления (например, максимум колебания). Фиксированное значение давления соответствует фиксированному значению фазы, т. е.

$$\frac{2\pi x}{\lambda} \pm 2\pi ft + \varphi = \phi, \quad (4)$$

где ϕ — константа. Например, если мы хотим проследить движения максимума давления, то можно выбрать $\varphi = \frac{\pi}{2}$ (при таком

значении фазы $\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)=1$. Из уравнения (4), выражая координату x , получим:

$$x = \frac{\phi - \varphi}{2\pi} \lambda \mp \lambda ft = x_0 \mp \lambda ft, \quad (5)$$

где $x_0 = \frac{\phi - \varphi}{2\pi} \lambda$. Формула (5) описывает равномерное движение со скоростью $c = \mp \lambda f$. При знаке «+» в формуле (4) мы получаем движение с отрицательной скоростью, т. е. движение влево, для знака «-» — движение вправо со скоростью c .

Скорость звука в воздухе зависит от упругих свойств воздуха. Впервые этот вопрос был изучен И. Ньютоном, который вывел формулу:

$$c = \sqrt{\frac{P_0}{\rho}}, \quad (6)$$

где ρ — плотность воздуха, P_0 — атмосферное давление. Если подставить в эту формулу известные значения P_0 и ρ , то получится значение $c = 280$ м/с, в то время как реально $c = 330$ м/с. Позднее формула Ньютона была уточнена П. Лапласом:

$$c = \sqrt{\frac{1,4P_0}{\rho}}, \quad (7)$$

что находится в прекрасном согласии с экспериментом. Коэффициент 1,4 в этой формуле Лаплас получил, учтя, что при колебании давления в звуковой волне также происходит колебание температуры. Температура в максимумах плотности давления отличается от температуры в точке минимума. Так что звуковая волна характеризуется не только изменением давления воздуха, но и его температуры. Конечно, поскольку амплитуда давления в звуковой волне гораздо меньше среднего значения давления (атмосферного давления), амплитуда колебания температуры составляет незначительную долю градуса (гораздо меньше среднего значения температуры).

Если колебание происходит достаточно долго (значительно больше нескольких периодов) и при этом не изменяется его частота и амплитуда, то его называют *монохроматическим*, или *чистым тоном*. Возникающая при этом волна называется монохроматической. Строго говоря, понятие «монохроматическая волна», подобно многим другим физическим понятиям, относится к идеализированным понятиям (как, например, понятие материальной точки). Под монохроматической волной подразумевается волна, бесконечная во времени и в пространстве, изменяющаяся по гармоническому закону от временной и пространственной переменной. Реальные волны в некотором приближении могут быть описаны как монохроматические.

В общем случае звуковое колебание представляет собой множество гармонических колебаний с разными амплитудами, частотами, фазами, которые действуют на мембрану слухового аппарата человека. Но человеческий слух воспринимает их как единое целое. Это суммарное колебание давления воздуха воздействует на барабанную перепонку и вызывает слуховое ощущение. Слуховой аппарат человека способен проанализировать (физиологически) их отдельные компоненты, например, соответствующие различным нотам конкретных инструментов. Степень этой способности зависит от одаренности и уровня музыкального образования. (Это подобно способности художника увидеть множество различных оттенков в цветовом колорите.)

Известно, что люди воспринимают как звук только колебания с частотой примерно от 15–20 Гц до 15 000–20 000 Гц (в зависимости от возраста и индивидуальных особенностей организма). Именно этот интервал волн называется *звуковым диапазоном*.

Колебания с меньшими частотами, не воспринимаемыми человеческим слухом, называют *инфразвуком*, а выше 20 кГц, также не воспринимаемые человеком (но слышимые, например, дельфинами и летучими мышами в определенном диапазоне), называют *ультразвуком*. Здесь речь идет именно о нашем *ощущении звука*, а не вообще о восприятии колебаний — например, мы ясно чувствуем сотрясения почвы от проходящего мимо поезда, но не определяем их, как звук. Таким образом, общепринятое физическое определение звука как слышимых механических колебаний с частотой от 15–20 Гц до 20 кГц основано на субъективном восприятии человека.

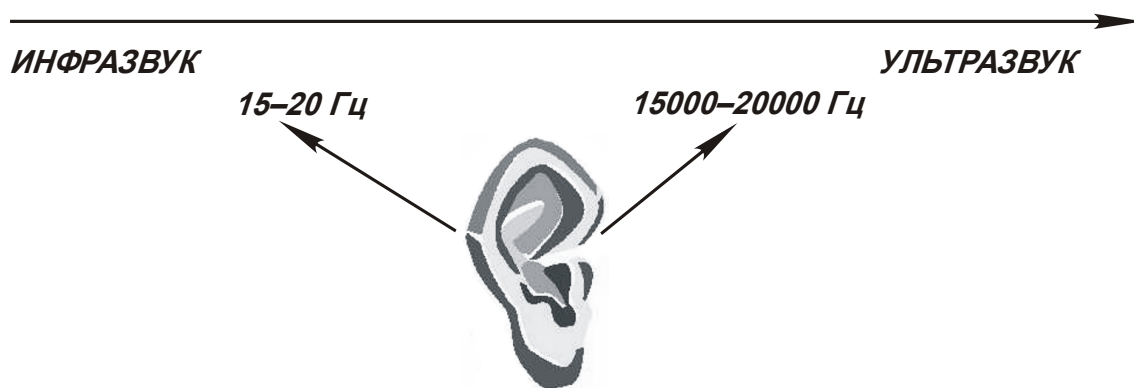


Рис. 4. Диапазон звуковых частот

Мы воспринимаем изменение давления звуковых волн (изменение амплитуды) как ощущение изменения громкости звука. Так, если встать около мощных колонок, можно почувствовать, что звуковое давление на барабанные перепонки может быть очень сильным, даже болезненно неприятным. Изменение давления в воздухе при распространении звуковых волн (по сравнению с атмосферным) называется *звуковым давлением*. Как и любое другое давление, звуковое давление измеряется в паскалях (Па).

Звуковая волна, распространяясь в пространстве, достигает различных объектов в разное время, в пропорциональной зависимости их удаленности от источника звука. Природа не случайно дала нам два уха: благодаря этому мы можем определять положение окружающих нас звуков по задержке попадания одной и той же звуковой волны на барабанные перепонки ушей (рис. 7). При определении направления на источник звука играет роль как различие фаз звукового сигнала, приходящего в левое и правое ухо, так и разница в амплитуде звука: при небольших расстояниях до источника звука это различие может быть существенным, тогда как для очень удаленного источника основную роль в этом играет разница фаз. Для описания относительных стадий звуковых колебаний (разных частей одной и той же волны) используется введенное нами ранее понятие фазы звуковой волны.

Фаза колебания давления, происходящего в одной точке, определяется аргументом синуса в формуле (3), т. е. величиной $2\pi ft / T + \varphi$ (измеряется в градусах или радианах). Поскольку синус — периодическая функция с периодом 2π , то значение фазы можно ограничить интервалом от 0 до 2π .

На графике (рис. 5) колебательного процесса (синусоиде) тождественными символами отмечены одинаковые стадии колебания, или фазы колебания.

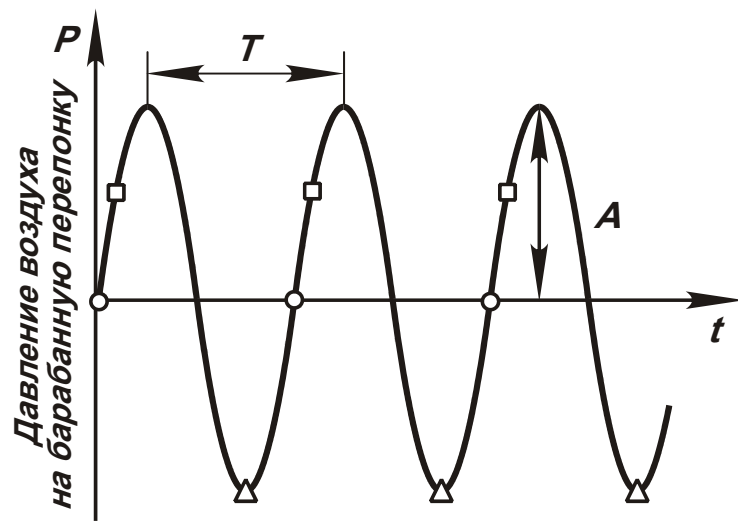


Рис. 5. Различные фазы колебания, происходящего в одной точке пространства, обозначенные символами квадрат, круг, треугольник

На рис. 6 представлены два синхронных (с одинаковой частотой) колебания одинаковой амплитуды, но сдвинутые по фазе:

$$P_1 = A \sin(\omega t + \varphi_1), \quad P_2 = A \sin(\omega t + \varphi_2).$$

Здесь $\omega t + \varphi_1$, $\omega t + \varphi_2$ — фазы колебаний
 $\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$ — разность фаз колебаний.

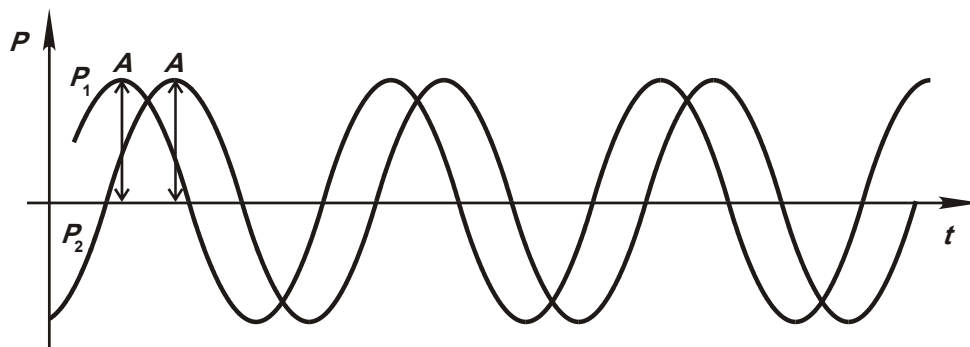


Рис. 6. Два синусоидальных колебания с одинаковыми частотами, сдвинутые по фазе

Графически этот процесс изображен на рис. 6, а на рис. 7 показано восприятие этого звука двумя приемниками: например, левым и правым ухом или парой разнесенных на некоторое расстояние микрофонов. Очевидно, что звук одним из них воспринимается с некоторой временной задержкой.

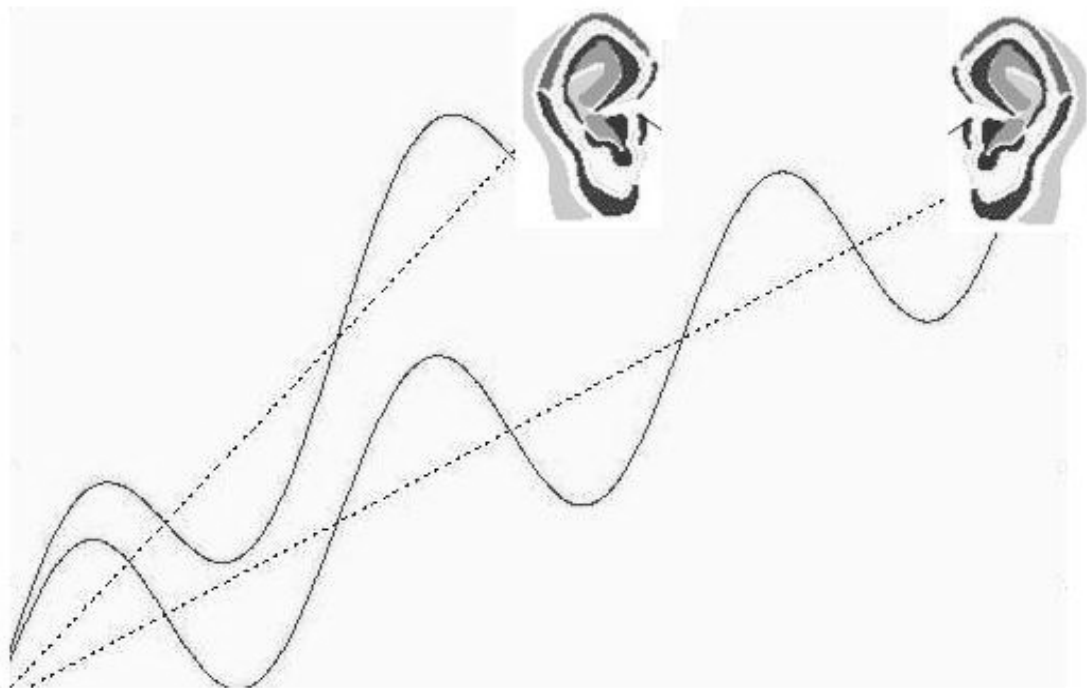


Рис. 7. Разность расстояний до правого и левого уха от единого источника звука приводит к разности фаз воспринимаемых ушами звуковых волн

Наш слух при определении пространственного положения источника звука реагирует именно на разность фаз волн, которые доходят до правого и левого уха. А по изменению разности фаз мы можем судить и о перемещении источника звука.

Музыкальные звуки

(основной тон, гармоника, ноты)

Во мне всегда вызывал живой интерес тот удивительный факт, что в учении о звуке, — в физическом и техническом основании музыки, которая вызывает в нашей душе столь непонятные, неподдающиеся описанию настроения, оказалась столь полезной математика — наука самого чистого и строгого мышления.

Г. Гельмгольц

Колебания, порождаемые источником звука, могут иметь *регулярный* характер (таковы обычно звуки музыкальных инструментов и певческого голоса) и *нерегулярный*, хаотический (мы называем их шумом: шум ветра, шум дождя, шум толпы).

Содержание понятия «музыкальный звук» менялось со временем. «Вначале был ритм. (Г. фон Бюлов): для самых ранних форм музыки характерна очень большая роль ударных (шумовых по природе) инструментов, а также свободные переходы пения в ритмическую (речевую) декламацию. Вместе с тем уже с очень давних времён существенное значение в характеристике музыкального звука, в отличие от немзыкальных, имело наличие определённой, причём достаточно длительно выдерживаемой высоты, иначе говоря, *регулярных колебаний*.

«Слитное движение мы полагаем речевым, потому что когда мы разговариваем, голос движется относительно места так, как будто нигде не останавливается. А согласно другому виду движения, которое мы именуем интервальным, получается наоборот: голос, как кажется, останавливается, и создавать

такое впечатление называется у всех не “говорить”, а “петь”. Поэтому в разговоре мы избегаем останавливать голос, разве что возбуждение иногда принуждает к такому движению. В интонировании мы поступаем прямо противоположным образом: слитности [неустойчивости интонирования] избегаем, стремимся же более всего, чтобы голос стоял на месте. Чем более каждый звук у нас будет единым, неподвижным, неизменным, тем более совершенным представляется чувственному восприятию мелос. Итак, ясно из сказанного, что есть два вида движения голоса относительно места: одно — слитное, как бы речевое, другое — интервальное, мелодическое» (Аристоксен. *Элементы гармонии*. М.: МГК, 1997. С. 17)¹.

Сначала рассмотрим регулярные колебания, которые имеют более простое описание и непосредственно связаны с *музыкальными звуками* (характерной особенностью которых является наличие явно выраженной *высоты тона*). Позже мы узнаем о более сложных *случайных* колебаниях, также поневоле присутствующих в мире музыки: и в качестве характерных шумовых призвуков в звуке многих инструментов, и даже в человеческом голосе, и как мешающие, но неизбежные шумы аппаратуры при звукозаписи.

Когда мы слышим два звука, частоты которых относятся как 2:1, то нам кажется, что эти звуки родственны друг другу, и при одновременном воспроизведении они для нас как бы сливаются. Именно на этом эффекте основана *гамма* — *музыкальная шкала* высоты звуков, частота которых удваивается через каждую *октаву*. Звуки, частоты которых относятся друг к другу как $2:4:8:16... = 2:2^2:2^3:2^4 ...$, обозначаются одним и тем же названием ноты.

В европейской музыкальной практике принято деление каждой октавы на двенадцать отрезков (хроматических полутонов). Для клавишных инструментов, начиная с середины XVI столетия, постепенно утверждался 12-ступенный равномерно-темперированный строй (см. рис. 8), который был окончательно утверждён в середине XIX века Французской Академией наук. В пределах одной и той же октавы при равномерно темперированном строе

¹ Перевод В. Г. Цыпина.

частоты соседних нот соотносятся между собой как $\sqrt[12]{2}:1$ ($\sqrt[12]{2} \approx 1,06$). По этой формуле можем вычислить частоту любой ноты по отношению к камертонному ля (440 Гц).

ПЕРВАЯ ОКТАВА											
C5	D $\flat$ 5	D5	E $\flat$ 5	E5	F5	F $\sharp$ 5	G5	G $\sharp$ 5	A5	B $\flat$ 5	B5
261,63	277,18	293,66	311,13	329,63	349,23	369,99	392,00	415,30	440,00	466,16	493,88

Рис. 8. Значения частот колебаний, соответствующие 12 звукам равномернотемперированной шкалы в пределах первой октавы фортепиано

Следует заметить, что эта информация может быть весьма полезной, если музыканту потребуется в компьютерной композиции передать нетемперированные звучания, к примеру передать характерные приемы исполнения на струнных смычковых инструментах, для придания большей реалистичности звучанию (за счет незначительного повышения или понижения чистоты тона), что равно изменению его частотной характеристики.

Аналогичные явления происходят с управлением «голосовым инструментом» человека. Так, например, известно, что выразительность вокального искусства Ф. И. Шаляпина нередко определялась тем, что певец мастерски использовал нетемперированные тоны для усиления смысловой выразительности интонируемого текста. Этим приёмом в совершенстве владеют многие выдающиеся музыканты, играющие на инструментах с нефиксированным строем.

Напомним, что темперацией (от лат. *temperatio* — надлежащее смещение) называется выравнивание интервальных отношений между ступенями звуковой системы. Так, путем темперации незамкнутый музыкальный строй (например, пифагоров или «чистый строй») превращается в замкнутый (темперированный) строй

путем изменения звуков по частоте². Если в результате темперации все соседние ступени звукоряда отличаются друг от друга на одну и ту же величину, темперация называется равномерной.

Приняв определенную эталонную высоту тона (частоту), например, 440 Гц для ноты ля первой октавы, и, зная интервальный коэффициент темперированного полутона ($n = \sqrt[12]{2} \cong 1,0595$), а также порядковый номер, можно построить все 12 ступеней звуковой системы.

Такой строй создает условия и определенные удобства для изготовления музыкальных инструментов с фиксированным звукорядом, легкость их настройки и неограниченные возможности тонально-ладовых модуляций и транспонирования.

Значения частот колебаний, соответствующих всем звукам фортепианной клавиатуры, начиная с субконтроктавы и до пятой октавы, приведены в Приложении.

Темперация музыкальной системы проводилась в странах Востока еще много веков назад. В Китае в V веке н. э. музыкальный теоретик Хэ Чэн Тянь ввел 12-ступенный равномерно темперированный звукоряд, а Чжу Цдай Юй применил этот принцип для построения духовых музыкальных инструментов.

Первым европейским теоретиком, указавшим на необходимость введения темперации, был испанец Б. Рамос де Пареха (1482 г., трактат «Практическая музыка»). В течение двух столетий в разработке разных видов неравномерно-темперированных строев участвовали немецкие ученые А. Шлик (1511), А. Веркмайстер (1691), и Г. Нейдхардт (1732), в Италии — П. Арон (1523), Л. Фольяни (1529), Дж. Царлино (1558), в Испании — Ф. Салинас (1577), во Франции — М. Мерсенн (1636) и др.

Одним из первых композиторов, практически оценивших достоинства равномерно-темперированного строя, был И. С. Бах. В период с 1722 по 1744 г. он создал двухтомное сочинение «Хорошо темперированный клавир», охватывающее в целом (в каждом томе — по 24 прелюдии и фуги: 12 мажорных и 12 ми-

² Большая терция в чистом строе (соотношение частот — 5:4) отличается от терции, полученной путём последовательных ходов по квинтам (3:2), на так называемую *дидимову комму* (примерно на 1/10 тона). При темперации величина коммы распределяется между ступенями звуковой системы путем некоторого понижения одних звуков и повышения других.

норных) все тональности. (Однако Бах в своих 48 прелюдиях и фугах не воспользовался до-бемоль мажорной, ре-бемоль мажорной, соль-бемоль мажорной, ля-диез минорной, ля-бемоль минорной тональностями. Как пишет И. Гофман: «Я могу только сказать, что квинтовый круг был бы неполон без семи диезных и семи бемольных гамм».) Впрочем, один из полифонических циклов написан в двух энгармонически равных тональностях: прелюдия — в ми-бемоль миноре, фуга — в ре-диез миноре.

Реальные источники музыкального звука, такие как струна или человеческий голос, возбуждают сразу *много гармонических колебаний на разных частотах*. Возникают колебания *основного тона* (на частоте f) и так называемые *обертоны* (см. рис. 9) (как мы уже отмечали, колебания на частотах, кратных основному тону, т. е. с частотами $2f$, $3f$, $4f$ и т. д.) — таково свойство струны, человеческих голосовых связок, столба воздуха в органной трубе и других *звучащих тел* музыкальных инструментов.

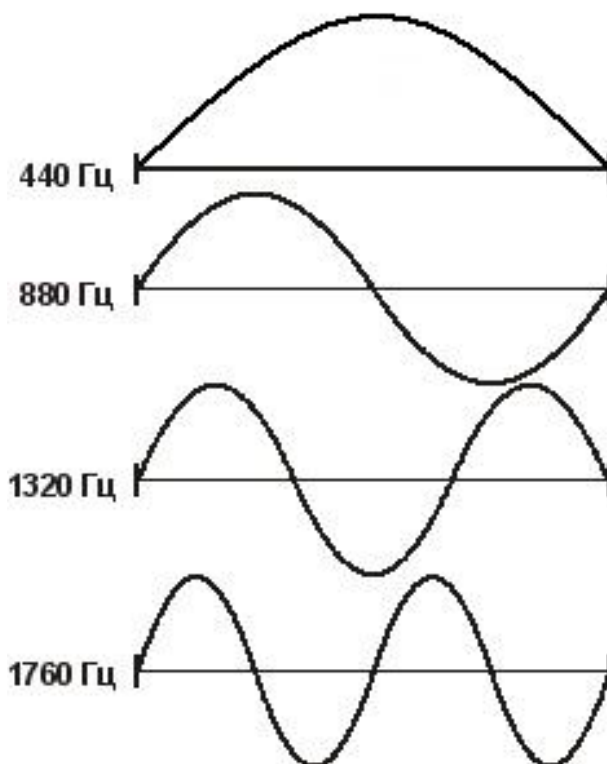


Рис. 9. Колебательные процессы, возникающие в одной и той же струне, настроенной на ноту ля первой октавы, в момент нажатия клавиши (удара по струне). Рассмотрен случай, когда интенсивность (амплитуда) колебаний, соответствующих первым трем гармоникам, приблизительно одинакова (ситуация, характерная для органа)

Колебания на всех этих частотах происходят одновременно, и соответствующие им звуковые волны *складываются*, в результате чего возникает *колебание сложной формы*, которое обладает тем же свойством периодичности, что и основной тон. Это демонстрируется на рис. 10, на котором приводится результат сложения гармоник, показанных на рис. 9.

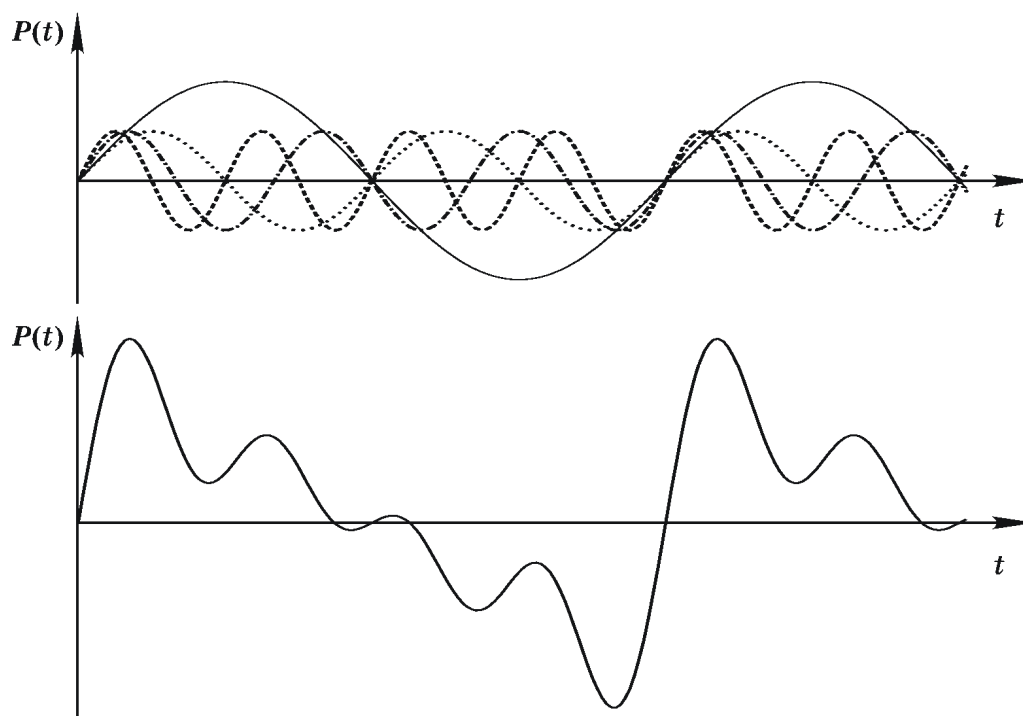


Рис. 10. Сложение колебаний основного тона и его трех обертонов (подобная ситуация характерна для органа)

Обертоны влияют на создание характерного звукового *тембра* (иногда обертоновые призвуки обнаруживаются достаточно явно). Амплитуды обертонов различны и определяются как звучащим телом (конструкцией музыкального инструмента), так и способом звукоизвлечения. *Тембр звучания* (по которому мы узнаем музыкальный инструмент или, например, голос человека) определяется *соотношениями* между *амплитудами* обертонов к амплитуде основного тона (а также шумами, характерными для данного инструмента).

Рассмотрим, например, колебание, которое получается при сложении основного тона с третьей гармоникой. Результат такого сложения показан на рис. 11.

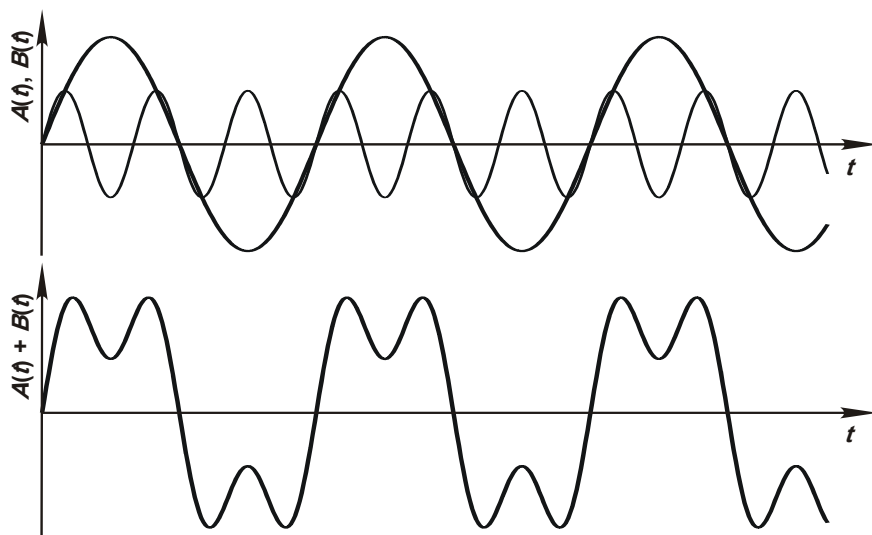


Рис. 11. Сложение колебаний основной и третьей гармоники (подобная ситуация характерна для струнных инструментов)

На рис. 12 приведены графики установившихся колебаний для различных музыкальных инструментов.

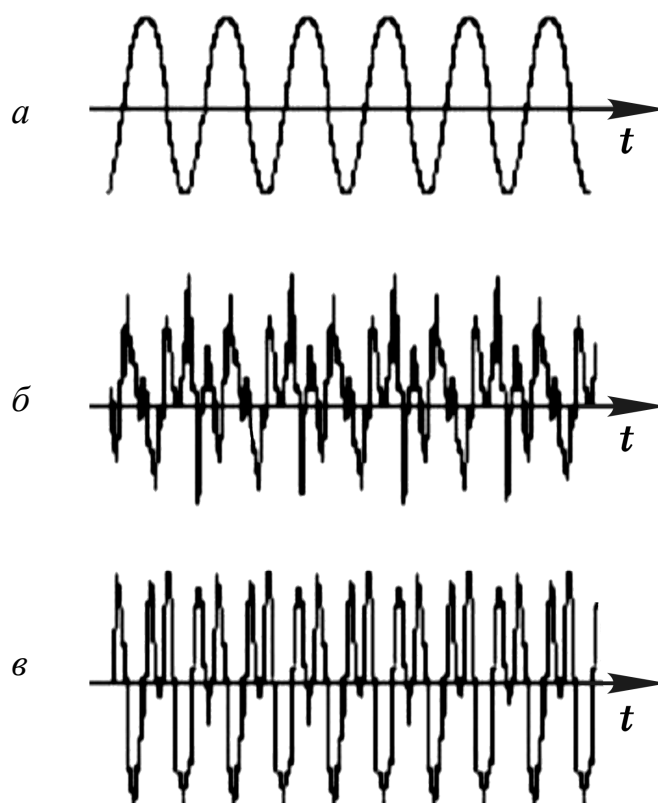


Рис. 12. Графики установившихся колебаний для одной и той же ноты: *а* — камертон, *б* — скрипка, *в* — гитара, иллюстрирующих возрастание сложности тембра

Как показывают измерения, частоты, на которых звучат обертоны реальных инструментов и голоса человека, не совсем точно совпадают с *гармоническими* частотами $2f, 3f, 4f, \dots nf$. Колебания на частотах, кратных основному тону, принято называть *гармониками*, а термин «*обертоны*» использовать для обозначения реальных призвуков основного тона, создающих тот или иной характерный тембр музыкального инструмента или голоса.

Рассмотрим более детально соотношение частот ступеней звукоряда при темперированном строе (см. рис. 13). Таким образом, очевидно, что:

- частота звучащей **12-й ступени** звукоряда отличается от частоты 1-й ступени в **2 раза**: $\left(\sqrt[12]{2}\right)^{12}$;
- частота звучащей **19-й ступени** звукоряда отличается от частоты 1-й ступени приблизительно в **3 раза**: $\left(\sqrt[12]{2}\right)^{19} = 2,987$;
- частота звучащей **24-й ступени** звукоряда отличается от частоты 1-й ступени в **4 раза**: $\left(\sqrt[12]{2}\right)^{24}$;
- частота звучащей **28-й ступени** звукоряда отличается от частоты 1-й ступени приблизительно в **5 раз**: $\left(\sqrt[12]{2}\right)^{28} = 5,04$.

Это означает, что 12^я, 19^я, 24^я и 28^я ступени звукоряда с хорошей точностью являются 2-й, 3-й, 4-й и 5-й гармониками основного тона.

Параллельно с развитием равномерно-темперированного строя шли поиски других музыкальных систем, как правило, с бóльшим числом ступеней в октаве, чем 12. Однако трудности, связанные с настройкой и практическим освоением механических инструментов, сдерживали распространение этих строев.

С появлением электронных музыкальных инструментов и музыкально-компьютерных технологий создавалась возможность осуществления различных звуковысотных строев, их быстрого чередования и свободного соединения.

Известно, что микротоновая техника зародилась в глубокой древности. По сведениям Е. В. Герцмана, Е. М. Левашова (см., например: *Герцман Е. В.* Музыкальная бозэциана. СПб., 1995; *Левашов Е. М.* Закон золотого сопряжения натуральных интервалов:

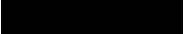
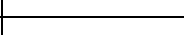
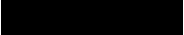
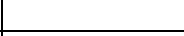
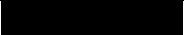
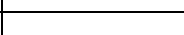
36	8	3520	
35	7,550994501	3322,437581	
34	7,127189745	3135,963488	
33	6,727171322	2959,955382	
32	6,349604208	2793,825851	
31	5,993228308	2637,020455	
30	5,656854249	2489,01587	
29	5,339359417	2349,318143	
28	5,0396842	2217,461048	
27	4,75682846	2093,004522	
26	4,489848193	1975,533205	
25	4,237852377	1864,655046	
24	4	1760	
23	3,775497251	1661,21879	
22	3,563594873	1567,981744	
21	3,363585661	1479,977691	
20	3,174802104	1396,912926	
19	2,996614154	1318,510228	
18	2,828427125	1244,507935	
17	2,669679708	1174,659072	
16	2,5198421	1108,730524	
15	2,37841423	1046,502261	
14	2,244924097	987,7666025	
13	2,118926189	932,327523	
12	2	880	
11	1,887748625	830,6093952	
10	1,781797436	783,990872	
9	1,681792831	739,9888454	
8	1,587401052	698,4564629	
7	1,498307077	659,2551138	
6	1,414213562	622,2539674	
5	1,334839854	587,3295358	
4	1,25992105	554,365262	
3	1,189207115	523,2511306	
2	1,122462048	493,8833013	
1	1,059463094	466,1637615	
0	1	440	

Рис. 13. Соотношение частот звукоряда при темперированном строе

Теоретический трактат. М., 1996 (рукопись)), «в процессах ладо-творчества (или в расчетах музыкальных строев) широко использовались интервалы меньшие, чем известный нам полутон в нашей равномерной темперации; некоторые из таких микроинтервалов определялись интервальными коэффициентами очень малой величины, так как они приближались к порогу различения высоты. Но если в античности и в последующие времена изыскания в этой сфере носили, в основном, умозрительный характер, то сейчас — с появлением новых исполнительских возможностей, предлагаемых вычислительной техникой, — положение резко изменилось, и поиски стали нацеленными на решение практических задач» (Эстетика: информационный подход. М.: Смысл, 1997. С. 64–65).

«Микротонами ныне принято называть интервалы, меньшие полутона — третитоны, четвертитоны и еще более узкие интервалы. Эпизодически они возникают в пении или при исполнении на смычковых инструментах под влиянием требований интонационной выразительности, заострения полутоновых тяготений и т. п. Систематически встречаются в особых ладовых системах восточной музыки, как, например, шрути в индийской раге. Микротоны могут быть получены также путем равномерного деления октавы более чем на 12 ступеней» (Назайкинский Е. В. Микротоны: русско-австрийские пере-клички³. М., 1997. С. 65).

Тема «чистой интонации» является одной из ведущих в музыкознании, фактически она определена самой художественной практикой, так как ею буквально «пронизаны исполнительское и педагогическое творчество певцов и тех инструменталистов, которые играют на инструментах с нефиксированной или полуфиксированной высотой звуков (скрипачей, флейтистов, трубачей и др.)» (Там же. С. 64). Проблема «чистой интонации» была заострена как научная проблема, охватывающая и объединяющая

³ Приводим по материалам докладов, прочитанных Е. В. Назайкинским на заседаниях постоянно действующего Методологического семинара «Акустические среды» в Московской государственной консерватории им. П. И. Чайковского.

различные области системы знаний, более полувека назад основателем оригинальной школы акустики в нашей стране Н. А. Гарбузовым. В его известных трудах «Зонная природа звуковысотного слуха» (1948), «Внутризонный интонационный слух и методы его развития» (1951), «Зонная природа динамического слуха» (1955) сформулированы основные идеи, которые нашли продолжение в трудах его учеников, коллег и последователей.

Признанными классиками микротоновой музыки были Алоис Хаба, который проводил эксперименты с «Ансамблем четвертиновой музыки», пропагандируя деление октавы на 24 ступени, и Иван Вышнеградский — русский композитор, работавший во Франции, развивавший идею свободной пантональности. Значительную ценность представляют также теоретические и экспериментальные работы, осуществлённые Г. Римским-Корсаковым в Петрограде—Ленинграде в 20-х гг. XX столетия.

После появилась серийная техника композиции и начался новый этап в развитии микротоновой музыки.

В 30–40-е гг. эксперименты в области микротоновой музыки проводил А. С. Оголевец. По его предложению были построены фисгармонии с делением октавы на 17 и 29 ступеней. Эти эксперименты вызвали интерес у С. С. Прокофьева, который с симпатией отозвался о них в статье «Могут ли иссякнуть мелодии?» (1939).

Хулиан Карильо построил арфу с трететонами и пятью долями тона.

В середине века голландский композитор и математик Адриан Даниэль Фоккер построил орган с «трикесимопримальной» (31-ступенной) темперацией.

Интересную систематику микротоновых систем предложил Пьер Булез в книге, названной автором «Мыслить музыку сегодня» (1963).

Булез различает:

- пространства, покрытые бороздками, или рифленые, соответствующие равномерным делениям октавы или любого другого интервала;
- пространства гладкие, соответствующие нетемперированным звукорядам. В них за единицу принимается интервал между двумя соседними ступенями.

Оригинальным новшеством Булеза является выдвижение неоктавного и переменного подобия ступеней в звуковысотной системе, открывающей широкие возможности для микротоновой техники композиции.

«Микроступенность есть веление времени. С её помощью мы можем отображать особенности всех развитых музыкальных культур, ассимилировать их и подойти к созданию “всемирной музыки”» (Рольф Мэдель, Франц Рихтер Херф)⁴.

С появлением электронно-музыкальных технологий создавалась возможность точного осуществления различных звуковысотных строев, их быстрого чередования и свободного соединения. (Или здесь, или раньше, или позже!). «Инструментальные препятствия, затрудняющие реализацию всех этих заманчивых возможностей, во второй половине XX в. оказались легко устранимы, — говорит Е. В. Назайкинский в своем выступлении на семинаре в Московской консерватории в 1996 г., — с помощью электронной, компьютерной техники» (Эстетика: информационный подход. 1997. С. 66).

Русский изобретатель Е. А. Мурзин в середине 50-х гг. создал свой знаменитый электронный синтезатор «АНС» (названный так в честь Александра Николаевича Скрябина и размещившийся в одном из помещений Музея А. Н. Скрябина), избрав для него за основу 72-ступенную темперацию. Альфред Шнитке написал пьесу для электронного инструмента, которая построена на звучании протяженного обертонового звукоряда.

В 1974 г. был построен экмелический⁵ орган Франца Рихтера Херфа с 72-ступенной темперацией. Одним из первых на данном инструменте было исполнено сочинение Фр. Р. Херфа «Алапа» оп. 9.

⁴ «Feinstufigkeit ist das Gebot der Stunde. Damit können wir alle höheren Musikulturen der Erde darstellen, assimilieren und zu einer Synthese “Weltmusik” kommen // Rolf Maedel, Franz Richter Herf // Schriften der Hochschule “Mozarteum”, Salzburg. Heft 4».

⁵ Экмелисты — последователи течения, развивающего микротоновую технику. Так, например, к экмелистическим исследованиям можно отнести работы в области исследования ширины зоны корректирующего слуха (Zurechthören), осуществленные Эггелингом в 1967 г. и Биоком в 1975 г.

В 1984 г. в Дармштадте был создан MUTABOR (MUTierende Automatisch Betriebende ORgel). Для органа была разработана специальная программа, позволяющая в процессе игры менять настройку и выбирать необходимые микротоны.

Вместе с разработкой реальных творческих экспериментов с микротонами возникла и стала широко обсуждаемой проблема слуха и слышания.

«Микротоновая музыка предъявляет к слуху особые требования — различать даже очень близкие высоты и не воспринимать их как оттенки традиционных ступеней» (Назайкинский Е. В. Эстетика: информационный подход. С. 67).

«В историческом развитии многих музыкальных культур мира уже давно существовали условия для такого музыкального слуха. Речь идет о музыкальном инструменте, звукоряд которого полностью соответствует обертоновому гармоническому ряду. Он был очень распространенным и получил у разных народов свое название. Это славянский варган, восточный темиркомуз, немецкий Maultrommel, итальянский scacciapensiere, французский и английский Guimbard(e), испанский birimbao и т. п. Игра на нем представляет перебор обертонов. В ней слышится нечто первозданное, фундаментальное, константное, ибо статичен бурдонный основной тон и весь подчиненный ему ряд гармоник. За этим звучанием стоит особый тип звукозерцания и мироощущения. Он вызывает представления о Востоке, о медитации, связан с иллюзиями остановившегося времени, с образами вечности и природы» (Там же).

«Многоступенные темперации (например, 72-ступенная) дают возможность почти идеального воспроизведения натуральных гармоник. Голосом очень сложно воспроизводить на слух, например, пятую или седьмую гармонику, не свойственную мелодическому интонированию. Известно, как долго занимался с певцами Карлхайнц Штокхаузен, готовя исполнение своей пьесы Stimmung für 6 Vokalisten [“Настройка для

6 вокалистов». — И. Г.]. Нужно было научить их точно петь звуки, соответствующие первым 9 обертонам. На микроинтервальных инструментах это оказывается более простой задачей. Так возникает особый род микротоновых композиций» (Там же. С. 68).

Отметим, что в конце 80–90-х гг. XX столетия проблема микротоновости в музыке заявила о себе вновь очень ярко. В Зальцбурге прошел ряд международных симпозиумов, на которых композиторы, ученые, музыканты обсуждали границы использования в музыке микроинтервалов. В рамках симпозиумов были проведены концерты, где звучала музыка Яниса Ксенакиса, Алоиса Хабы, Ивана Вышнеградского, Богуслава Шеффера, Хулиана Карильо, Франца Рихтера Херфа и других композиторов⁶.

Нашими современниками, композитором и теоретиком музыки М. С. Заливадным и музыковедом Г. А. Когутом проделана большая экспериментальная работа по выявлению выразительных возможностей микротоновых систем, представленных как примерами из истории музыки, так и оригинальными композициями, записанными на CD (компакт-диск с оригинальной лекцией о звуковысотных строях прилагается с согласия авторов).

Новую страницу в выявлении и представлении выразительных возможностей музыкального звука открыл компьютер в роли музыкального инструмента или **«музыкальный компьютер»**⁷. М. Маттьюз и Дж. Пирс в статье «Компьютер в роли музыкального инструмента» пишут: «Достаточно компьютеру сгенерировать определенную последовательность чисел, чтобы произвести

⁶ Инициатором симпозиума выступил Франц Рихтер Херф, который проводил свою исследовательскую деятельность, посвященную микротоновой музыке в Институте фундаментальных музыкальных исследований при Моцартеуме с начала 70-х гг. Впоследствии, как мы уже говорили, Институт был переименован в честь композитора-исследователя в Richter Herf-Institut für musikalische Grundlagenforschung.

⁷ См. также: Горбунова И. Б. Феномен музыкально-компьютерные технологии как новая образовательная среда. СПб., 2004; Белов Г. Г., Горбунова И. Б., Горельченко А. В. Музыкальный компьютер (новый инструмент музыканта): Учебное пособие. СПб., 2006; Горбунова И. Б. Музыкальный компьютер: Монография. СПб., 2007; Горбунова И. Б. Информационные технологии в музыке. Т. 3: Музыкальный компьютер: Учебное пособие. СПб., 2011, и др.

любой звук, в том числе и такой, какого еще никто не слышал. Благодаря широкому спектру возможностей цифровой синтез звука уже нашёл свое место в музыке».

«Французский композитор и дирижер Пьер Буле [речь идет о П. Булезе. — И. Г.] поразил американских любителей музыки во время своих гастрольных поездок по стране. В его ансамбле музыкальных инструментов использовались компьютер и ряд других электронных устройств, синтезирующих звук. В сочинениях Буле, написанных для оркестра и синтезирующего звук компьютера, цифровое электронное оборудование выступает в роли генератора звука, что далеко выходит за рамки традиционного применения подобного оборудования — записи и последующего воспроизведения симфонической музыки. Хотя компьютеры еще не стали частью каждого симфонического оркестра, цифровые синтезаторы звука уже выступают в качестве альтернативы музыкальным инструментам» (Маттьюз М., Пирс Дж. Компьютер в роли музыкального инструмента // В мире науки. 1987. № 4. С. 72).

Таким образом, на чрезвычайно важный вопрос, требующий подробного осмысления и детального изложения: какой звук является музыкальным, а какой не может быть причислен к ним? — однозначно ответить чрезвычайно сложно.

«Когда вы довольны чем-либо, вы поёте; когда вы сердитесь, вы производите шум.

Когда кто-либо кричит, он не думает; когда он поёт, он думает.

Песня — спокойна, шум — нет.

Когда кто-либо кричит, его голос неествен. Когда он поёт, его голос естествен»⁸ (Merriam A. P. The Anthropology of Music. Evanston, Illinois: Illinois University Press, 1978. P. 64)⁹.

⁸ Теоретические представления о звуке африканцев племён басонге, проживающих в современной Демократической Республике Конго (Киншаса).

⁹ Перевод М. С. Заливадного.

Многие композиторы, подбирая инструменты и сочетания музыкальных образов (музыкальных звуков) для выражения своего художественного замысла, использовали весьма «нестандартные» образцы. К ярким примерам использования нетрадиционных звуковых тембров, т. е. нестандартных музыкальных инструментов, относятся такие, например, как пространственные эффекты в хоровых произведениях О. Лассо (венецианская школа) XVI в.; применение Леопольдом Моцартом свистков и погремушек в симфониях, написанных специально для детей (например, «Детская симфония», первоначально приписываемая Гайдну); необычные инструменты в оперной музыке (например, ансамбль наковален в «Золоте Рейна» Р. Вагнера); Н. А. Римский-Корсаков ввёл в оркестр набор стаканов, которые «настраивались» с помощью заполняющей их воды. (Стеклянная гармоника была популярна среди композиторов конца XVIII в. и почти всего XIX в. вплоть до изобретения челесты. Здесь упомянем имена В. А. Моцарта, А. Г. Рубинштейна и др.).

Активно использовали шумовые инструменты многие композиторы, принадлежавшие к авангардным художественным течениям первой половины XX в. (например, Л. Руссоло, Э. Сати, Э. Варез, Дж. Антейл, Дж. Кейдж и другие). Ещё в 1913 г. в статье «Искусство шумов» Руссоло писал:

«Музыкальное искусство первоначально искало и достигало чистоты и сладостности звучания; позднее оно соединяло различные звуки, но всегда стремясь ласкать слух приятными гармониями. Сегодня, становясь всё более сложным, оно ищет такие сочетания звуков, которые действуют на слух наиболее диссонантным, странным и неприятным образом. Тем самым мы всё ближе и ближе подходим к музыке шумов.

Эта музыкальная эволюция составляет параллель к возрастающему множеству машин, которые везде оказывают помощь человеку. Не только в шуме больших городов, но даже в сельской местности, которая до недавнего времени была обычно спокойной. Машинами создано столько разнообразных форм и сочетаний шумов, что чистый музыкальный звук — с присущей ему бедностью и однообразием — более не пробуждает эмоций в слушателе.

Чтобы возбуждать и усиливать наши чувства, музыка продолжала развиваться в направлении наиболее сложной полифонии и наибольшего разнообразия оркестровых тембров или красок, изобретая наиболее сложные последовательности диссонантных аккордов и в целом готовя путь к созданию музыкального шума. Эволюция по направлению к шуму ранее не была возможна. Слушатель XVIII столетия не мог бы вынести интенсивной диссонантности некоторых аккордов, производимых нашими современными оркестрами — втрое превосходящими по масштабу оркестры того времени. Но наш собственный слух — тренированный современным миром, столь богатым разнообразными шумами, — не только наслаждается этими диссонансами, но требует и более сильных акустических эмоций.

К тому же музыкальный звук слишком ограничен в качественном разнообразии тембра. Самые сложные оркестры сводятся к четырём или пяти классам инструментов, отличающимся по тембру: смычковые струнные, щипковые струнные, медные духовые, деревянные духовые и ударные инструменты. Таким образом, современная музыка, пытаясь произвести новые виды тембра, предпринимает тщетные усилия внутри этого ограниченного круга.

Мы должны разорвать этот тесный круг чистых музыкальных звуков и овладеть бесконечным разнообразием звукошумов» (Руссоло А. Искусство шумов. 1913. Цит. по: Slonimsky Nicholas. *Music Since 1900*. N. Y.: Norton & C°, 1938. P. 537).

Совершенно очевидно, что и понятия музыкального и немusicalного звука трансформировались с течением времени. Так, например, одним из сопутствующих факторов в изменении содержания понятия «музыкальный звук» явились новые композиционные формы и техники. «Подобно тому, как Эйнштейн вынашивал теорию относительности, а Фрейд разрабатывал основы психоанализа, Арнольд Шёнберг проводил годы, подготавливая свою музыкальную революцию» (цит. по: Спенс К., Коул Х. *Всё о музыке*. Минск, 1996. С. 118). Результатом его труда явилась 12-тоновая теория композиции, о которой он заявил в начале

20-х гг. XX столетия. И далее: «Его система композиции, основанная на 12 тонах, оказала такое же влияние на музыкальный мир, как кубизм Пикассо в области живописи. <...> Родившись в Вене в 1874 г., он ещё мальчиком играл на скрипке и виолончели и одинаково любил Брамса и Вагнера — композиторов, расколовших музыкальный мир на два лагеря. Брамс был представителем духа классицизма, уходящего в прошлое к Бетховену и Баху, тогда как Вагнер олицетворял всё, что было современным, особенно что касается тех путей, по которым приливы его музыки, казалось, разрушали все устоявшиеся ориентиры традиционной гармонии» (Спенс К., Коул Х. Всё о музыке. С. 119). Ранние работы Шёнберга были романтическими по духу, его музыка уже развивалась в сторону атональности, т. е. в ней не было определенного тонального центра или ключа, все 12 тонов хроматической гаммы использовались на равной основе, в связи с чем им был предложен термин «пантональность»¹⁰. А в 20-х гг. XX столетия он опубликовал свой «закон неповторяемости нот», который гласил, что ни одна из нот хроматической гаммы не должна повторяться, прежде, чем все остальные 11 не будут сыграны в определенном порядке.

«Эти чередования из 12 нот, получившие название рядов, или серий, представляли собой основной строительный материал, с помощью которого Шёнберг выстраивал свои композиции, начав с нескольких пьес для фортепиано в 1923 г. Ноты в сериях можно играть в обратном порядке (ретроградно) [ракохордно. — И. Г.], в перевернутом порядке (инвертированно) [обращено. — И. Г.], а также в том и в другом одновременно (ретроградная инверсия) [обращенный ракохорд. — И. Г.] — точно как тема баховской фуги. Шёнберг говорил, что его ряд напоминает шляпу: если вы смотрите на неё слева направо, сверху или снизу — она всё равно остаётся шляпой. <...> Он объединил все новшества Вагнера, Штрауса, Дебюсси и других в один всеобъемлющий закон. А когда кто-либо приходил к Шёнбергу изучать композицию, он начинал с основ, заложенных Бахом, Гайдном, Моцартом, Бетховеном и другими композитора-

¹⁰ Schoenberg A. Harmonielehre. Leipzig: Ed. Peters, 1977. S. 488.

ми-классиками, говоря, что ещё много хорошей музыки можно написать в ключе си мажор»¹¹ (Спенс К., Коул Х. Всё о музыке. Минск: Белфаксиздатгрупп, 1996. С. 118).

Далее, в 1938 г., Джон Кейдж, американский композитор и теоретик, чьё вызывавшее немало споров творчество сильно повлияло не только на современную музыку, но и на целое направление в искусстве середины XX в., связанное с использованием «случайных» элементов (алеаторика) и «сырых» жизненных феноменов, в своей работе «Будущее музыки» пишет:

«Мне кажется, что использование шумов при написании музыки будет продолжаться и развиваться, пока мы не получим музыку, созданную с помощью электрических инструментов, которые сделают доступными для музыкальных целей абсолютно любые слышимые звуки. Будут исследованы фотоэлектрические, плёночные и механические средства для синтетического создания музыки. Как в прошлом основанием для разногласий было противопоставление диссонансов и консонансов, так в ближайшем будущем им станет противопоставление шумов и так называемых музыкальных звуков. Имеющиеся методы написания музыки, в особенности те, которые используют гармонию и её ссылки на определённые ступени в звуковом поле, станут неадекватными для всего звукового поля» (Cage J. The Future of Music: Credo, 1938 // Cage J. Silence. Middletown, Conn.: Wesleyan University Press, 1961. P. 3).

О музыке Кейджа в книге «Всё о музыке» можно прочесть следующие строки:

«Его “Воображаемый ландшафт № 4” — это пьеса для 12 радиоприёмников, которая никогда не может изучать одинаково в двух разных случаях, поскольку приемники будут принимать разные станции и программы. “Эклиптический Атлас”, написанный в 1961 г., берет своё название от карты звездного неба. Кейдж наложил прозрачное лекало на карту неба и отме-

¹¹ По-видимому, речь идёт о тональности до-мажор. — И. Г.

тил звезды точками, которые послужили затем музыкальными нотами. “Атлас” написан для оркестра с количеством от 1 до 98 музыкантов; дирижер совершает круговые движения руками, создавая впечатление, что идут стрелки часов. Пьеса может играть самостоятельно или вместе с другими работами Кейджа, такими как “Зимняя музыка”, которые может исполнять любое количество пианистов от 1 до 20, или “музыка из патрона” (Cartridge Music), где все звуки исходят из патронов, находящихся в головках фонографов.

Отношение Кейджа к музыке отражается в произведениях других композиторов, которые сделали ставку на неопределенность или “случайные (от латинского *alea* — «игра в кости») методы” в своих композициях. Необычность его партитур была доведена до крайности Штокхаузенom, чья пьеса “Из семи дней”, описанная как “интуитивная музыка”, вообще лишена нот, но содержит ряд поэтически перефразированных инструкций. Мысль Кейджа о необходимости делать акцент на тишину как музыкальный элемент была подхвачена в дальнейшем Мортонem Фелдманом, у которого пьесы для фортепиано исполняются на самом низком пределе слышимости. Даже если ничего большего он и не достиг, заслуга Джона Кейджа состоит в том, что он заставил и композиторов, и слушателей глубоко задуматься о значении музыки в последние годы XX столетия» (Спенс К., Коул Х. *Всё о музыке*. С. 125).

Вскоре ярко заявил о себе Антон Веберн, развивший метод додекафонии. Манера его музыкального письма отличается предельным лаконизмом и экономностью звуковых средств, создающих ощущение «бесплотности», ирреальности образов. Метод додекафонии, разработанный А. Шёнбергом, Веберн развив в строгую систему. В его поздних сочинениях не только гармония, но и движение отдельных голосов, а также смена тембровой окраски определяются серией, лежащей в основе всего произведения. Необычайно прозрачная музыкальная ткань Веберна как бы состоит из отдельных звуков-точек. Подобный способ изложения получил название пуантилизма.

«Музыка Веберна необычайно выразительная и краткая, иногда музыкальное действие длится меньше минуты. Оно соткано из тончайших звуковых нитей, внезапных контрастов громкости и аккордов, переходящих от одной группы инструментов к другой» (Спенс К., Коул Х. Всё о музыке. С. 122).

Пьер Булез использовал элементы музыки Веберна, дополнив их ритмическими опытами Мессиана. Все 12 полутонов шкалы были упорядочены А. Шёнбергом в определенную последовательность, или серию. Однако, спустя некоторое время, для композитора стало очевидным, что и другие элементы музыкальной ткани можно «сериализовать» подобным образом в зависимости, например, от динамики, манеры исполнения, длительности, тембра и др.

Ещё одним ярким представителем музыкальной культуры XX в. является композитор и акустик Пьер Шеффер, сочинивший некоторые из первых образцов электронной «конкретной музыки» в Париже примерно в 1950 г.

Всё это в полной мере воплотил в своём творчестве Карлхайнц Штокхаузен, один из крупнейших современных композиторов, который своей творческой деятельностью оказал значительное влияние на развитие западноевропейского искусства и музыкальной культуры XX столетия в целом. К. Штокхаузен сочинял музыку во множестве стилей: он писал для традиционных (акустических) инструментов, сочинял произведения исключительно для электронных инструментов или в комбинированном стиле; отражал восточные подходы к музыке, которая уподобляется «духовной спирали», воздействующей одновременно на композитора, исполнителя и слушателей.

«При сочинении электронной музыки композитор не должен стремиться к имитации тембров традиционного инструментария или уже знакомых нам звуков и шумов. <...> И вообще, первый критерий электронной композиции обнаруживается в том, насколько она оказывается свободной от всех инструментальных и прочих прежних звуковых ассоциаций» (цит. по: Просняков М. Живая легенда электроники. Отец «Техно» в музыке // Музыка и электроника. 2004. № 4. С. 3).

«Электронная музыка звучит лучше всего, когда в ней содержатся те звуки и сочетания, которые сочинены специально (как электронные), свободные от прежних ассоциаций и заставляющие нас думать о том, чего мы никогда еще не слышали» (Там же. С. 3).

«Электронная музыка обладает своей собственной звуковой феноменологией» (Там же. С. 5).

Музыкальный звук по убеждению Штокхаузена выходит в новую сферу своего функционирования, определяемую следующими основными критериями, устанавливающими внутреннюю взаимосвязь между микро- и макроуровнями Новых музыкальных композиций:

— «унификация временных структур», выраженная во «взаимосвязи тембровой композиции, гармонико-мелодической композиции и метроритмической композиции», в «сжатии» или «растяжении» звука. «Результатом оказывается в высшей степени индивидуальный звук, отличающийся от какого бы то ни было иного <...>. А с другой стороны, <...> мы получаем музыкальное произведение, чья форма в крупном плане оказывается расширением микроакустического временного структурирования первоначального звука»;

— «расщепление звука», или «композиция и декомпозиция звука», т. е. разложение сложного по своему внутреннему содержанию звука на те или иные составные части. «Это означает, что мы расщепляем звук, что в определенном контексте оказывается столь же важным, как слышание собственно самого сложно сочиненного звука со всеми его внутренними особенностями»;

— «композиционная многослойность пространства», которую композитор определяет следующим образом: «Многослойная пространственная композиция означает следующее: звук может не только двигаться вокруг слушателя на стабильном расстоянии от него, но также отодвигаться от слушателя, уходить в даль и придвигаться, находиться в непосредственной близости от него»;

— «равнозначность тона и шума». «Традиционно в западной музыке использование шумов было запрещено <...>. Интеграция разнообразных шумов стала осуществляться лишь при-

мерно с середины двадцатого столетия <...> главным образом в результате обнаружения новых методов сочинения континуума между тонами и шумами. В настоящее время в качестве музыкального материала возможно использовать любой шум» (С. 4).

Приведём мысли Карлхайнца Штокхаузена, высказанные им в беседе с М. Просняковым (Кюртен, Дом композиторов, 2004 г.) об основных этапах развития музыки:

«Первый по времени [этап] — “музыка вокальная”, непосредственно исходящая от человека, поклоняющегося Божеству. Поэтому это в широком смысле “религиозная музыка” <...>

Следующий этап связан с появлением музыкальных инструментов. Наивысшего развития инструментальная музыка достигает в течение последних 300–400 лет. Центральное место в ней занимает собственно человек. Поэтому это “человеческая музыка” <...>

И, наконец, третья эпоха — “эра космической музыки”, эпоха принципиального преодоления сугубо земного уровня, уровня собственно человеческого (или по мысли Ф. Ницше “человеческого, слишком человеческого”) и прорыв в сверхземные, космические, небесные регионы бытия, эпоха активизации духовного уровня. Это наступление “Astronische Epoche” / “Звездной Эпохи”. <...> Новые средства, — говорил Штокхаузен, — изменяют метод; новые методы изменяют опыт или — переживания. А новые переживания и опыт изменяют человека» (цит. по: Просняков М. Живая легенда электроники. Отец «Техно» в музыке // Музыка и электроника. 2004. № 4. С. 5).

Здесь упомянем еще об одном музыкально-художественном явлении, повлиявшем на звукотворческий процесс, — это так называемая «стохастическая»¹² музыка, стохастический метод композиции, композиторская техника, при которой выбор отдельных звуков обусловлен заранее подготовленными алгоритмами, составленными музыкантами-программистами, согласно заранее продуманным законам формы и содержания музыкального про-

¹² Термин «стохастичность» происходит от греческого слова, обозначающего «предположение».

изведения, а также законам теории вероятностей. Для методов, связанных со стохастическим сочинением, естественно применение музыкально-компьютерных технологий (например, произведения выдающегося композитора XX столетия, изобретателя, музыканта-писателя Я. Ксенакиса были исполнены на музыкальном компьютере UPIC¹³).

«Дальнейшее изучение музыкальных звуков при помощи компьютера приведёт к более точной имитации традиционных инструментов, а также к созданию средств для быстрого и тонкого управления качеством порождаемого звука, что так важно в процессе исполнения музыкальных произведений. Компьютерные исследования играют также ключевую роль в прояснении аспектов, связанных с нашим субъективным восприятием звуков. Особенно важно это для современных композиторов, поскольку они уже не ограничены в своём творчестве рамками звуков, производимых обычными музыкальными инструментами. Теперь они располагают любыми звуками, которые мы только можем себе представить» (Мэттьюз М. В., Пирс Дж. Р. Компьютер в роли музыкального инструмента // В мире науки. 1987. № 4. С. 80).

Наконец, само понятие «звук» развивается до понятия «образ». Композиторы создают звук, считая звукотворческий процесс живым музыкальным творчеством, не столько конструктивным, сколько художественным явлением. В связи с этим институтом IRCAM предложена трактовка тембра как метафора для композиции:

«Показательны, например, художественные искания москвича Виктора Ульянича. Композитор увлечен сочинением звука, которое считает живым процессом, причем не только конст-

¹³ UPIC (*Unite polyagogique informatique du CEMAMu*) — музыкальный компьютер со специальным графическим вводом (подобный АНС и брьюсофонус Б. Галеева и Р. Сайфуллина), который позволял создавать звучащий материал посредством рисунка. По замыслу Яниса Ксенакиса в 1975 г. создан «L'UPIC», получивший широкую известность в музыкальном мире.

руктивным, но и художественным. Результатом синтезирования характеристик звука (высотности, громкости и длительности) становится звуковой объект или звон (термин В. С. Ульянича), существующий в виде темброзвука, созвучия или тембромассы. Изменения параметров звука приводит к “тембровым модуляциям”. Полнокровной жизнью звука, принимающего на себя сложнейшие художественные задачи, наполнены композиция “Звездный ветер Кассиопеи” (1990) для компьютера UPIC и многие другие произведения Ульянича. <...> Сочинение звука, возвышенное Ульяничем до ранга содержания музыкального опуса, манифестирует авторское эстетическое и мировоззренческое кредо» (Казанцева Л. П. Музыкальное произведение в современной аудиовизуальной среде: личностный аспект // Современные аудиовизуальные технологии в художественном творчестве и высшем образовании. III Всероссийская научно-практическая конференция. 21 февраля 2006 года. СПб.: Изд-во СПбГУП, 2006. С. 39).

Процесс динамических изменений в содержании понятия «музыкальный звук» охватывает как академические, так и популярные музыкальные жанры. Важную роль в этом процессе сыграло, начиная с первых десятилетий XX в., влияние афроамериканской музыкальной традиции (ранние примеры: И. Ф. Стравинский — «История солдата» и А. Веберн — оркестровые пьесы «Op. 6»).

«Африканская мелодия настолько далека от европейской, что трудно искать в ней собственно “блюзовые тона” <...> Совершенно необычно “тембровое оформление” привычных мелодических оборотов. Правильное исполнение блюзов предполагает особенные, неведомые дотоле европейцам приёмы звукоизвлечения. Трудно представить себе что-нибудь более контрастное по отношению к европейскому *bel canto*, чем блюзовое интонирование. Вокальное вибрато, скольжение голоса от звука к звуку, “взрывчатые” ритмические эффекты, подражающие инструментам и лишённые словесного смысла (приём так называемого “*scat-singing*”), тремоло, фальцетто, стоны, рычание, нарочито

хрипящие звуки, так называемое пение “wa-wa-wa” в духе хорошо известных нам джазовых духовых инструментов и т. д. и т. п., — всё это входит в арсенал выразительных приёмов блюзового исполнителя. Как правило, они неотделимы от детонирующих тонов и придают им особенно целенаправленную художественную остроту. Вот почему в последние годы в музыковедческой литературе термин “блюзовый тон” всё чаще заменяется термином “блюзовая зона” (“blue area”). <... >

Но если гармонический строй блюзов не укладывается в концепцию тонального центра, то ещё в меньшей мере допустима трактовка блюзовой мелодии с позиций европейской гаммы — звукоряда. Трудно определить, который из элементов — гармонический или мелодический — является первоосновой оригинальной интонационной системы блюзов.

Их мелодическое своеобразие заключается, прежде всего, в том, что мелодика принадлежит не столько к сфере собственно музыки, сколько к сфере разговорной речи. “A sung speech” (“спетая речь”) скорее, чем собственно песня — так определяет её Шуллер» (Конен В. Дж. Блюзы и XX век. М.: Музыка, 1980).

Ещё одна форма, в рамках которой активно развивается музыкальное искусство в течение последних десятилетий и приобретает обозримые черты своей художественно-эстетической однозначности, — это аудио-визуальные искусства, где музыка является органичным элементом синестетического пространства.

Отметим, что, начиная с Древнего Египта и до современного направления New Age, прослеживается нить, связующая отдельные направления, виды творчества: синтез искусств проявлялся в мистериях и культурах Древнего Ирана, Индии, Египта, Китая, в Древней Греции — в школах Пифагора и Платона, у мастеров итальянского Возрождения — Леонардо да Винчи, Рафаэля, Микеланджело. «Если внимательно взглядеться в историю развития культуры и творчества, можно заметить, что периоды расцвета связаны с возрождением идеи красоты и мировой гармонии, идеи единства науки, культуры и религии, с идеей синтеза разных направлений искусства. Так повторялось от эпохи к эпохе», — пишет в своей работе «Звук и цвет. Педагогика будущего — синтез

искусств» С. Московская (С. 76). Идеями синтеза искусств, поиска сочетаний звука и цвета пронизано творчество русского композитора А. Н. Скрябина (светомузыкальный синтез в «Поэме экстаза» и «Поэме огня») и литовского художника М. К. Чюрлёниса (широко известны его многочисленные живописные прелюдии, сонаты и фуги: «Соната звезд», «Соната моря», «Соната весны» и др.). «Еще два имени, — пишет С. Московская, — неразрывно связаны с поисками в области синтеза искусств — московский звонарь Константин Сараджев и костромской художник, сказочник и педагог — Ефим Честняков» (Звук и цвет... С. 77).

Среди ярких представителей — современных музыкантов, использующих визуальное сопровождение для своих произведений, — назовём Жана-Мишеля Жарра — французского композитора, работающего в жанре современной электронной музыки. Его концерты оказывают как музыкальное, так и зрительное воздействие на аудиторию.

«На рубеже XVIII–XIX веков немецкие романтики заметили, что “каждое из искусств потенциально содержится в другом”. Мечтая о новом синтетическом жанре, они видели своим идеалом природу, в которой звуки, цвета, формы и ощущения даны в целостном единстве. В законченное учение концепция синтеза искусств оформилась у Р. Вагнера, в чьем творчестве музыка, слово и драма слились в единый жанр. Синтез стал одним из базовых понятий искусства XX века» (Медкова М. Пюсеробютория, или Птицы, мадонны и мифы электроакустического Вагнера // Музыка и электроника. 2007. № 2. С. 3).

Теория синтеза искусств, как мы уже выяснили, выражается, в частности, через аудиовизуальную модальность и представляет единую художественную реальность, выражающую первозданную целостность Природы. «Аудиовизуальные композиции», где звуковая, визуальная и вербальная составляющие не соединены механически, а представляют собой единое неделимое целое, по представлениям композиторов, работающих в данном жанре, — это ещё один вид современного музыкального искусства. «Планетарные виды и голоса» современного бельгийского композитора Анри Пуссёра, созданные им при участии поэта Мишеля

Бютора, художника-анималиста Эжена Баньоли, — одно из ярких явлений современной музыкальной синкретической культуры.

«В результате ни музыка, ни изобразительный ряд не выступают во вспомогательной, второстепенной роли. Видеоряд не является наивной иллюстрацией, музыка не служит фоновым сопровождением к зрительным и поэтическим образам, текст становится органичной частью и звукового, и визуального потоков. Наложение параллельных содержательных пластов порождает в сознании “зрителя—слушателя” новые смыслы, создает объемный, цельный образ, и мы наблюдаем рождение некоего единого видео-музыкально-поэтического целого, все компоненты которого равноценны и слиты настолько, что не могут существовать по отдельности» (Медкова М. Пюсеробютория, или Птицы, мадонны и мифы электроакустического Вагнера // Музыка и электроника. 2007. № 2. С. 2).

«Аудиовизуальные средства открыли большой простор для самовыражения множества ярких творческих личностей, обращающихся к известным музыкальным или музыкально-сценическим произведениям, — отмечает Л. П. Казанцева в своём докладе “Музыкальное произведение в современной аудио-визуальной среде: личностный аспект”. — Идя по пути интерпретирования классики новыми техническими средствами (в радио- и ТВ-постановках опер, оперетт, балетов), союз искусства и прогрессивных технологий привел к зарождению жанров радио-оперы, фильма-оперы («Моя Кармен» Б. Окунцова на музыку Ж. Бизе, «Мадам Батерфлай» Фр. Миттерана на музыку Дж. Пуччини), фильма-балета («Евгений Онегин» Дж. Блэктона на музыку П. Чайковского), фильма-мюзикла («Мулен Руж» Б. Лурмана, «Чикаго» Р. Маршала); оперы балета и мюзикла — мультипликационного и телевизионного; видеоклипа. Перспективность этих жанров, демонстрирующих новые, современные ракурсы известной музыки, позволяет также творцам создать в них оригинальную музыку и тем самым сказать свое слово в искусстве» (Музыкальное произведение в современной аудиовизуальной среде: личностный аспект // Современные аудиовизуальные технологии в художественном творчестве и высшем

образовании. III Всероссийская научно-практическая конференция, 21 февраля 2006 г. СПб.: Изд-во СПбГУП, 2006. С. 38).

Представляют значительный интерес работы, в которых выражена идея многогранных взаимоотношений между музыкой и художественным образом, между звуком и краской¹⁴. В книге «Sound-Colour Musical Structure» (Светозвуковой музыкальный строй) (2006) В. В. Афанасьева, музыканта и художника, создавшего оригинальную коллекцию художественных полотен, в которых с помощью кисти и красок выражены образы, навеянные музыкальными произведениями, представлена элементарная теория аудиовизуальной композиционной техники и рассмотрены вопросы взаимопроникновения различных видов искусства и связь их с точными науками.

Неоценимый вклад в развитие современных представлений об искусстве внесли труды Б. М. Галеева, одного из ведущих отечественных специалистов в области теории и практики светомузыкального искусства (книги: «Светомузыка: становление и сущность нового искусства» (1976), «Человек, искусство, техника (проблема синестезии в искусстве» (1987) и др.).

Обратимся в этой связи к высказываниям Елены Рерих, которая под руководством своего мужа и учителя Николая Рериха создала уникальную серию книг «Живая Этика»:

«Вы, мои друзья, прикоснувшись к искусству, творчеству, умеете пользоваться этими дарами как конденсацией ваших сил, ибо звук и цвет, мысль и ритм — основы мироздания и нашего существования» (Учение Живой Этики: В 3 т. СПб.: Просвещение, 1993–1994).

Один из наиболее популярных композиторов наших дней, создавший рок-оперу «Юнона и Авось», спектакль «Звезда и смерть Хоакина Мурьеты», передавший музыкально-звуковую атмосферу доисторической Руси с помощью современных выразительных средств в музыке к фильму «Русь изначальная», автор

¹⁴ Среди которых: книга кандидата искусствоведения, профессора И. Л. Ванечкиной и И. А. Трофимовой «Дети рисуют музыку» (Казань: Изд-во «Фэн», 2000), компьютерная обучающая программа американского композитора и педагога М. Суботника «Making music», использующая элементы рисования.

«Литургии оглашенных», написанной для вокалистов и электро-ники, автор музыкальной сказки для детей в стиле современного рока «Бу-ра-ти-но», созданной на основе семплерной техники, и многих других замечательных музыкальных произведений Алексей Рыбников говорил в своем интервью:

«У меня есть некая своя разработка новой концепции звукового пространства. <...>. Это касается, прежде всего, музыкально-драматических произведений, записываемых на компактные диски — своего рода электронных музыкальных спектаклей. Такие диски “читаются” как звуковые книжки <...>. Жанр аудио-музыкально-драматического спектакля оказался очень интересным. У него хорошие перспективы» (Из интервью А. Рыбникова директору журнала «Музыка и электроника» Е. Орловой: 2006. № 2. С. 4).

С тембровой стороной звука связаны пространственные характеристики его воспроизведения и отражения (см. далее) — от расположения источников звука в физическом пространстве до моделирования акустики помещения. Наш знаменитый современник композитор Эдуард Артемьев отмечает:

«В пространстве можно бесконечно варьировать даже один звук: по-разному размещать, погружать, задерживать... Понятие музыки настолько расширяется! Буквально одним звуком можно заморозить публику, загипнотизировать. Просто одним звуком, одним тембром» (Артемьев Э. Электроника позволяет решить любые эстетические и технические проблемы // Звукорежиссер. 2001. № 2. С. 56–61).

«Издавна утверждается, что музыка представляет собой универсальный язык, и в определённом смысле это верно. В ближайшие годы мы должны стать свидетелями объединения музыкальных направлений, наряду с традиционными инструментами будут использоваться компьютеры и синтезаторы. Не исключено, что в отдалённом будущем “мировая гармония”, вековая

мечта музыкантов, зазвучит в действительности» (Спенс К., Коул Х. Всё о музыке. С. 132).

«Практика электроакустической музыки внесла существенные изменения в содержание понятия “музыкальный звук”, в котором на первый план выступила его семиотическая сторона. Это очевидно при сопоставлении традиционно “музыкальных” звучаний со словесной речью или со звуками окружающей среды, смысл которых можно понимать то как музыкальный, то как немusикальный, в зависимости от внимания слушателя к тем или иным аспектам соотношений между звуками и обозначенными ими объектами. Взаимоотношения между музыкой и более широкой категорией “искусство звуков” составляют одну из активно обсуждаемых проблем научного исследования. Несомненно, однако, что новая музыкально-историческая ситуация прояснила значение музыки как знаковой системы и способствовала также изучению взаимодействия между различными типами знаковости в музыкально-исторической традиции» (Из доклада М. С. Заливадного «Моделирование синестетических закономерностей музыки в литературе и живописи второй половины XIX — начала XX века». Дом Учёных им. А. М. Горького РАН, 28 февраля 2006 г.).

Спектр звука

Есть ещё одна характеристика звукового колебательного процесса — его спектрограмма. Ее можно изобразить графически (см. рис. 14).

Любой колебательный процесс (в том числе звуковую волну) можно охарактеризовать его спектрограммой, состоящей из совокупности спектральных линий составляющих его гармоник. Каждая линия изображается на частоте данной гармоник, а высота линий равна амплитуде гармоник.

Вернёмся к рис. 2. Он выражает колебательный процесс строго на одной частоте. Спектр такого колебания будет состоять из одной спектральной линии (рис. 14).

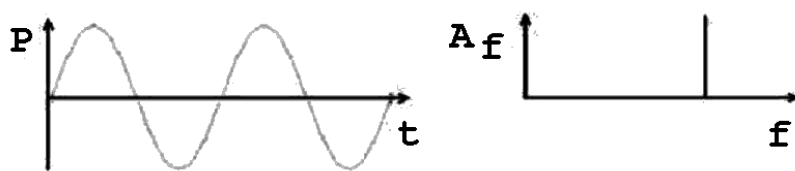


Рис. 14. Спектр монохроматического колебания
(A_f — амплитуда давления)

Спектры, соответствующие основному тону и его гармоникам, изображены на рис. 15. Полный спектр рассматриваемого звука представлен на рис. 16.

На рис. 17 приведён пример гармонического спектра (случай, когда интенсивность (амплитуда) звучания обертонов последовательно снижается).

На рис. 18 представлен пример негармонического спектра.

Человеческий слух обычно воспринимает гармонический спектр звучания как единый звук (гармонические спектральные

составляющие сливаются как бы в один звук). Негармонические спектры звучат для нас расплывчато, обычно определить на слух частоту основного тона почти невозможно.

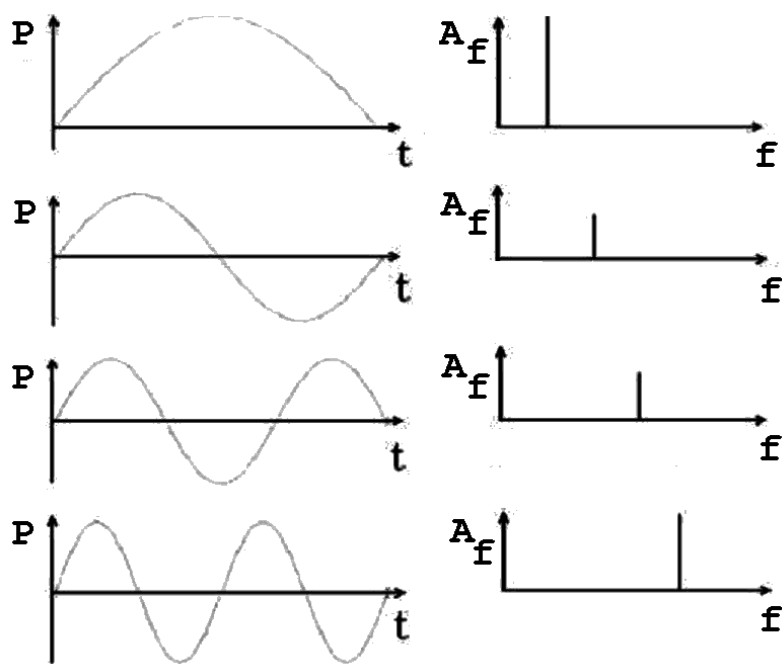


Рис. 15. Спектр нескольких колебаний, возникающих в одной и той же струне

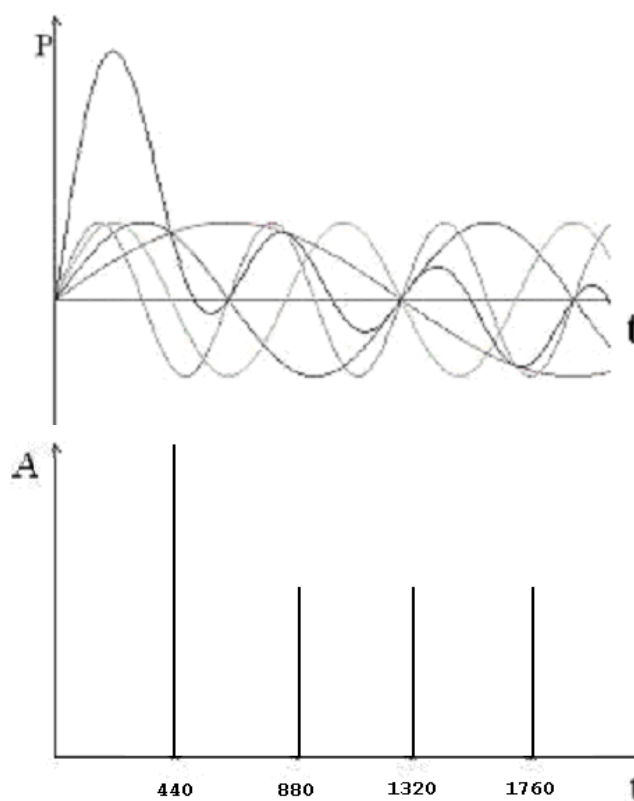


Рис. 16. Полный спектр рассматриваемого звука

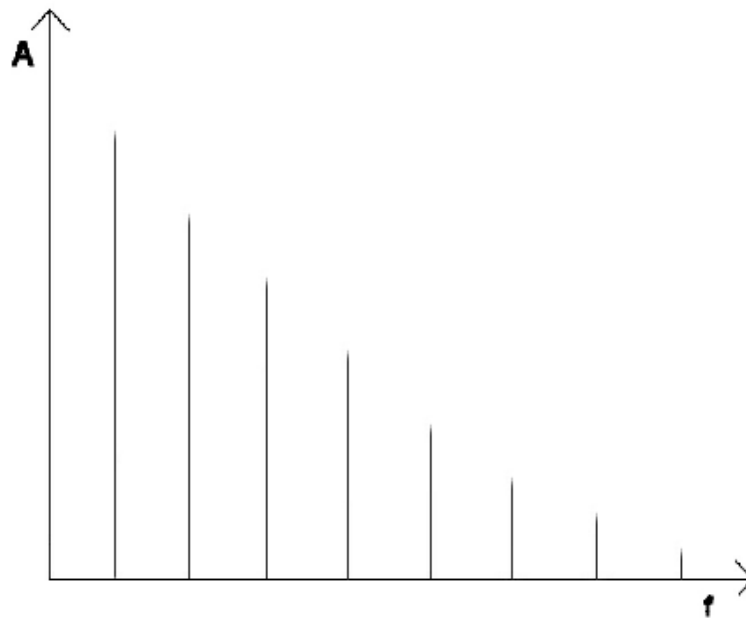


Рис. 17. Гармонический спектр

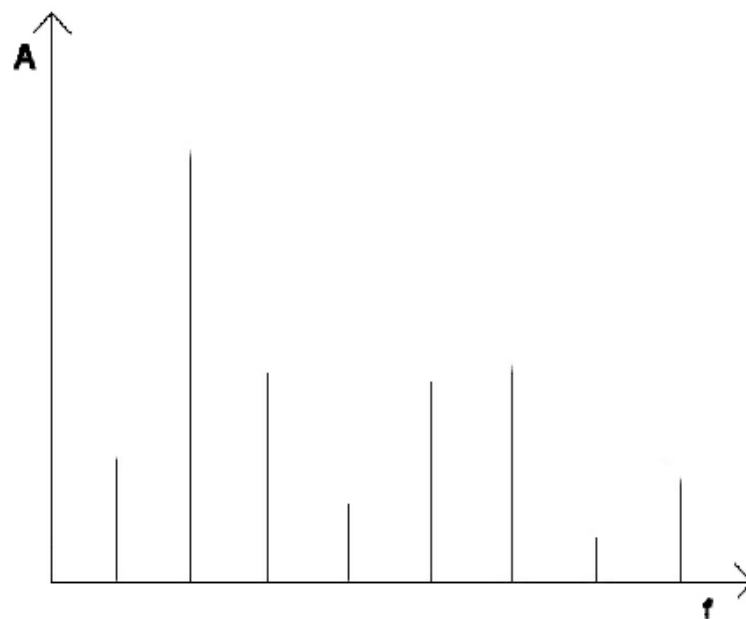


Рис. 18. Негармонический спектр

Звук, содержащий непрерывный ряд спектральных колебаний в какой-то частотной области (рис. 19), имеет ярко выраженный шумовой призыв.

Если эта шумовая частотная область занимает весь слышимый частотный диапазон, а спектральные составляющие имеют одинаковую амплитуду, то такой звук называют «белым шумом» (рис. 20).

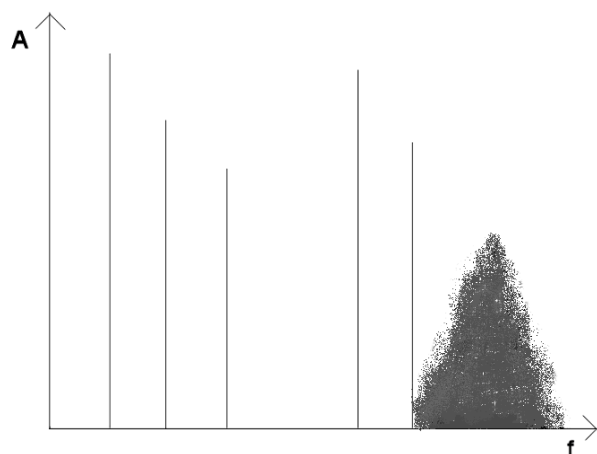


Рис. 19. Спектр звука с шумовым призвуком

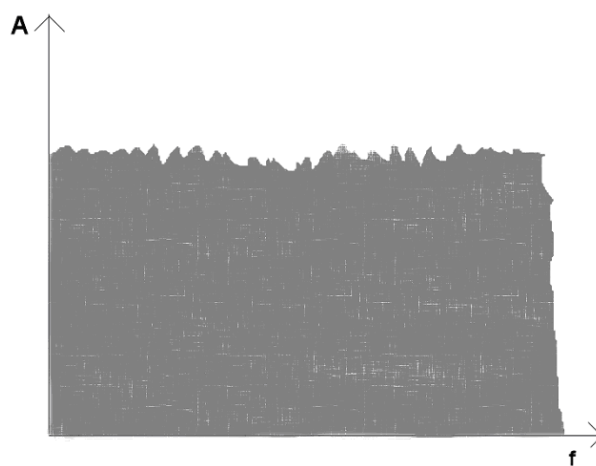


Рис. 20. Спектр «белого шума»

Графики колебаний и спектрограммы звуков некоторых музыкальных инструментов представлены на рис. 21.

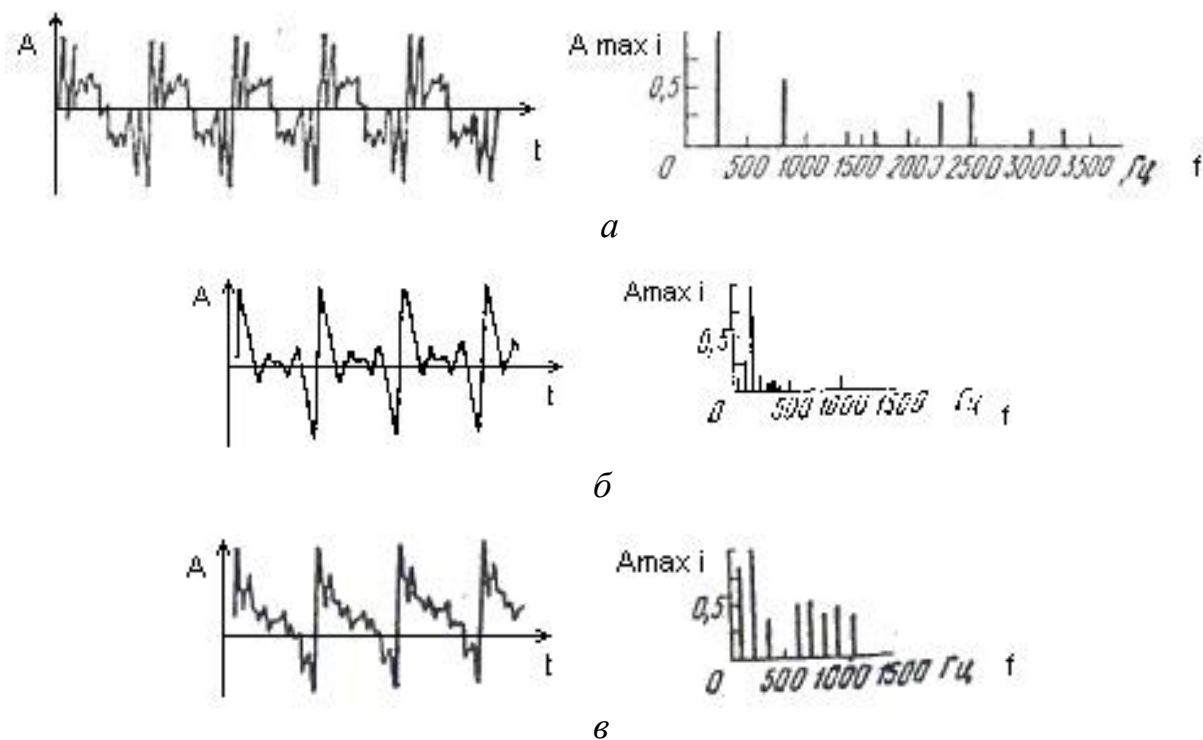


Рис. 21. Графики колебаний и спектрограммы звуков некоторых музыкальных инструментов: *а* — кларнет;
б — органная труба (регистр «виолончель»);
в — органная труба (регистр «тромбон»)

На рис. 22 *а*, *б*, *в* представлены результаты компьютерного моделирования звуковых волн, соответствующих звучанию одного тона, синтезированного для различных тембров (различных музыкальных инструментов).

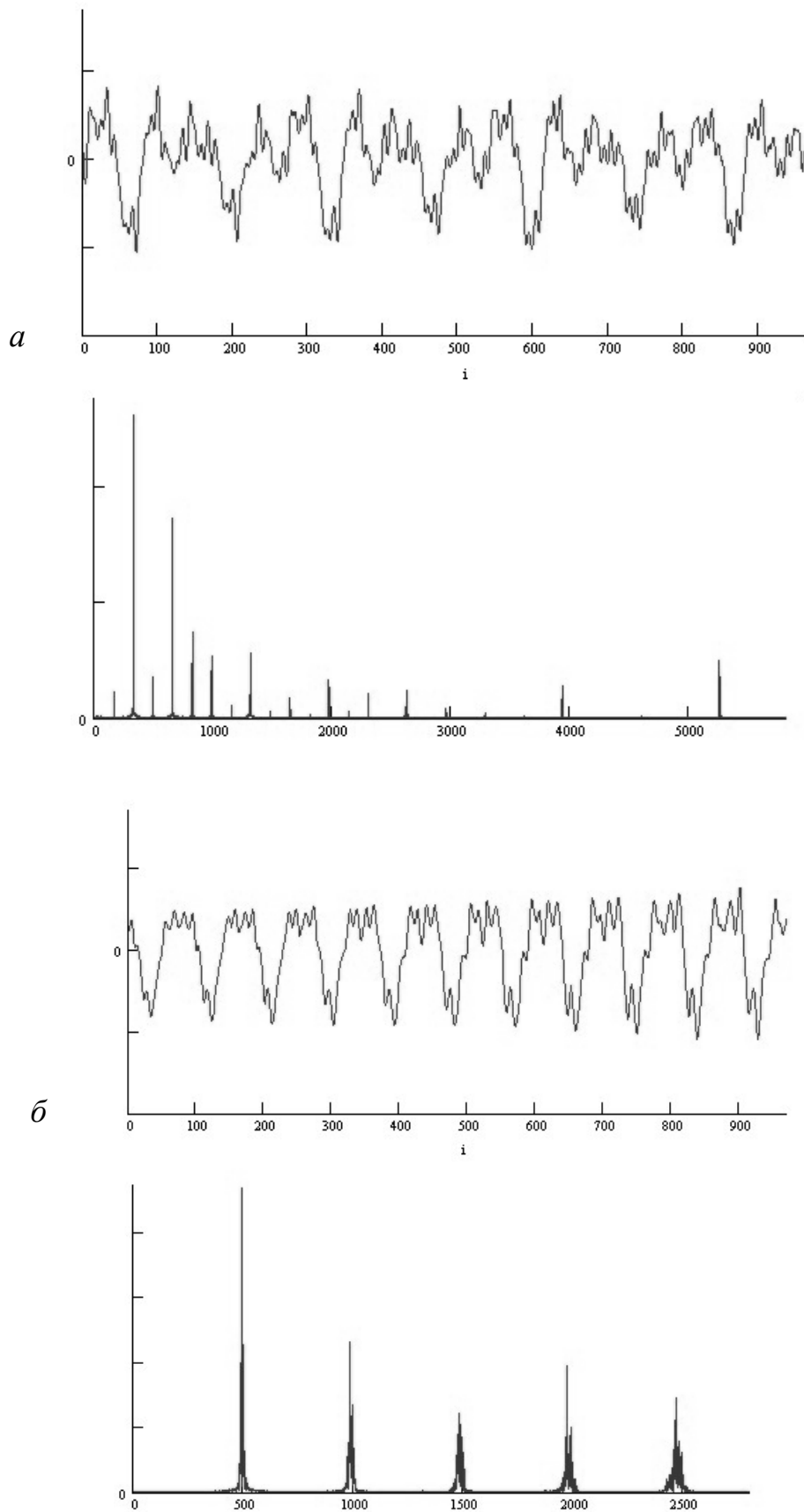


Рис. 22. Амплитудные характеристики и спектры одного тона различных музыкальных инструментов: *а* — контрабас; *б* — орган

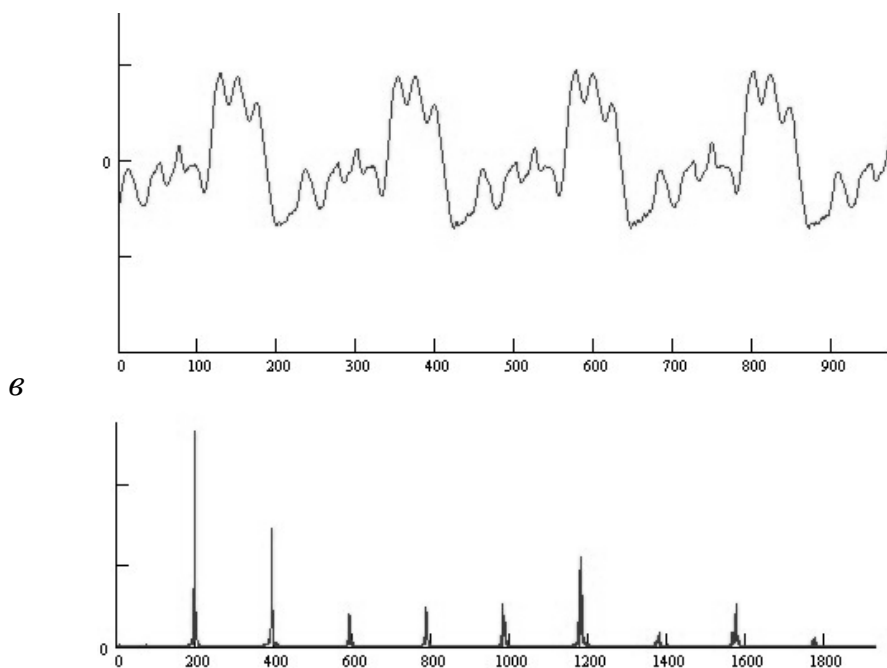


Рис. 22. Амплитудные характеристики и спектры одного тона различных музыкальных инструментов: в — виолончель

Спектрограмма состоит из совокупности линий, расположенных на определенных частотах, которые соответствуют его гармоникам. Высота каждой линии пропорциональна амплитуде колебания на данной частоте. Количество гармоник в спектре неодинаково: чем выше звук, тем меньше линий в спектре, всегда имеющем линейчатый характер. С ростом номера обертона амплитуды гармоник то возрастают, то убывают.

М. Маттьюз и Дж. Пирс в статье «Компьютер в роли музыкального инструмента» отмечают, что многочисленные компьютерные эксперименты в области моделирования звука выявляют существенное, если не основное воздействие на характер синтезируемого звука его динамических составляющих: «Во многих работах при описании музыкального звука рассматривается его “стационарное” состояние, или средняя часть его волновой формы, однако нам вскоре стало очевидно, что начальный участок нарастания амплитуды колебания и конечный участок (затухание) гораздо важнее».

Соединяя графически вершины линий спектра, можно провести некую огибающую линию (её так и называют «*огибающая спектра*» — *envelope*¹⁵).

¹⁵ Envelope (англ.) — буквально: «конверт», «оболочка».

Вид огибающей спектра определяется совместным действием ряда причин: способом звукоизвлечения (например, пиццикато или смычком на скрипке и даже местом прикосновения смычка к струне), конструкцией корпуса инструмента, акустическими характеристиками помещения, а также типом звукозаписывающей аппаратуры и другими составляющими. На рис. 23 изображены несколько спектрограмм звука различных музыкальных инструментов, и хорошо видна разница в огибающей спектра.

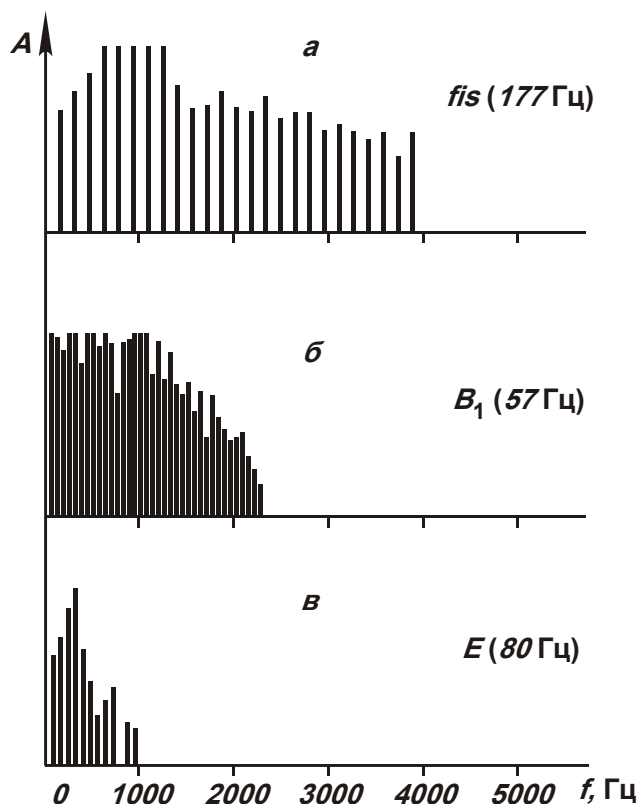


Рис. 23. Спектрограммы звуков:
а — трубы, б — тромбона, в — валторны

Огибающую можно провести сквозь «амплитудные пики» волновой формы звука, что будет соответствовать изменению громкости звучания, если преобразовать графически волновую форму звука фортепиано, соответствующего удару по клавише, то получится картина, соответствующая изображенной на рис. 24.

Исследования, проведённые физиологами, показали, что огибающая спектра играет значительно бóльшую роль в восприятии звука человеком, в «узнавании» тембра того или иного инструмента, чем собственно спектральный состав звука, созда-

ваемого данным инструментом. Например, если взять синусоиду и «наложить» на нее огибающую от звука скрипки или какого-либо другого музыкального инструмента, то весь звук будет воспринят человеческим слухом, как звук данного инструмента (скрипки и др.).

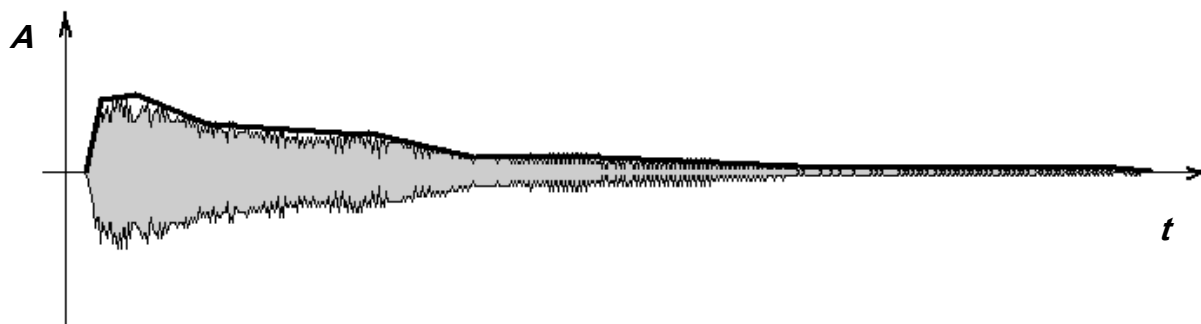


Рис. 24. Огибающая формы звука фортепиано, соответствующая моменту удара по клавише и постепенного установления колебания и его затухания

Если же изменять огибающую реального инструмента (предварительно записав его и, например, «засэмплировав») с помощью особых технологий, то такой измененный звук не будет уже ассоциироваться с данным инструментом. Очень важной характеристикой в «узнавании» тембра музыкального инструмента является момент «атаки», т. е. конкретные особенности нарастания звука (удар по клавише и т. д.) и его затухание. Существенным для нашего восприятия является и процесс перехода от одного элемента звука к другому, динамика «поведения» огибающей с течением времени (см. рис. 25).

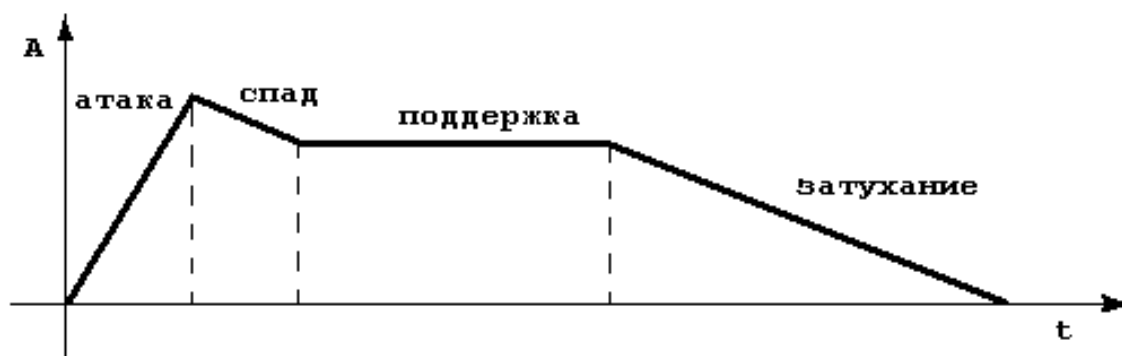


Рис. 25. Компьютерная модель звука: атака (attack), спад (delay), поддержка (sustain), затухание (release)

Понятие огибающей широко используется в технологиях звукового синтеза и при сэмплировании. Описанное ранее моделирование огибающей проводят с помощью музыкального компьютера, аппаратные и программные средства которого позволяют музыканту в удобной для него форме экспериментировать со спектральными составляющими звука.

На практике обычно не бывает, как мы уже выяснили, одного отдельно взятого звука определенной частоты: как правило, одновременно колеблется несколько разных, часто взаимосвязанных предметов. В результате сложения обертонов получается колебание более сложной структуры, чем синусоида. Из математики известно, что любое колебание сложной формы можно представить как сумму синусоидальных колебаний с различными частотами (см. рис. 26).

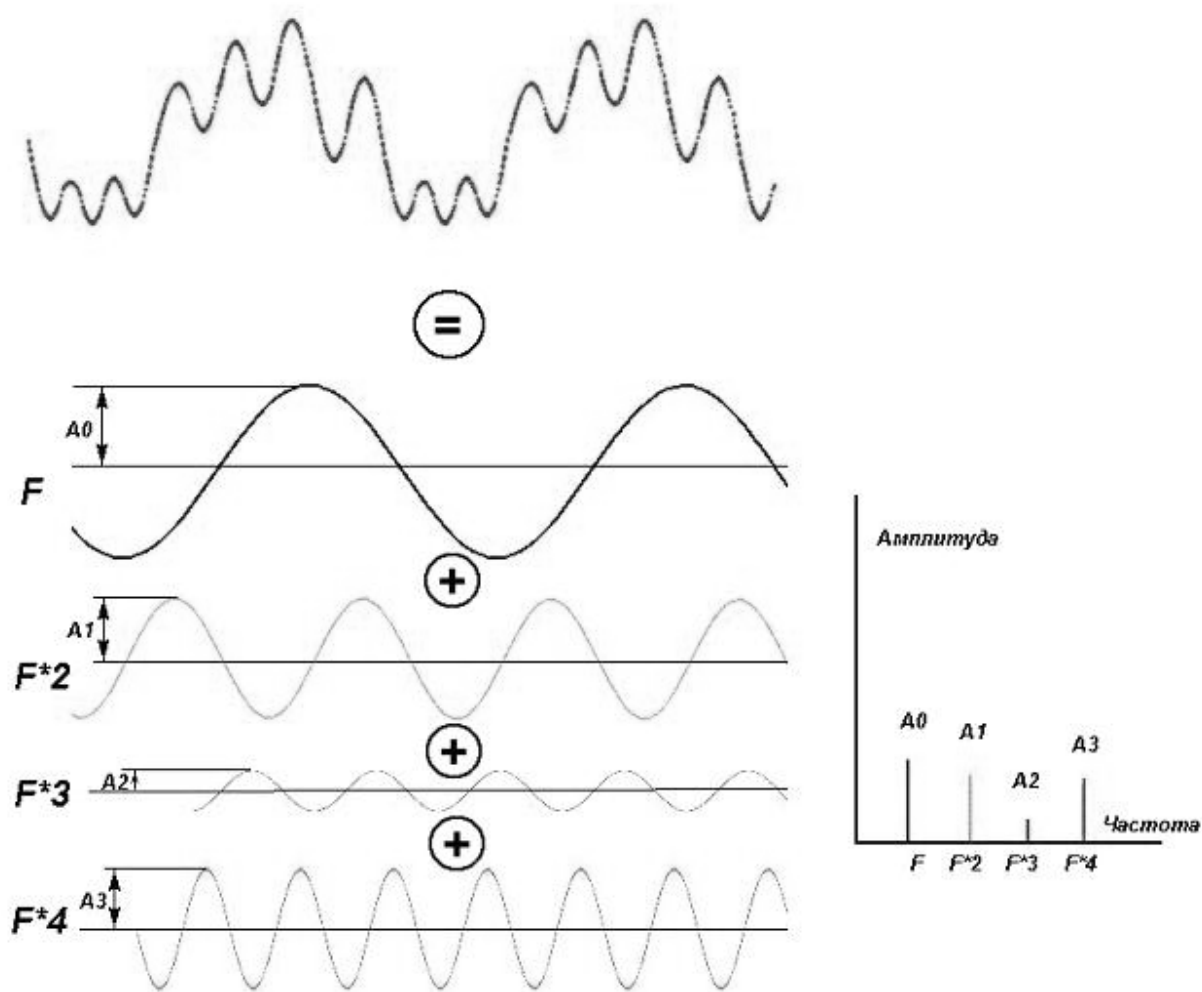


Рис. 26. Любое сложное колебание может быть представлено как суперпозиция простых синусоидальных колебаний

Выдающийся французский математик Ж. Фурье доказал, что звук, продолжающийся в течение некоторого времени τ и затем повторяющийся, можно представить в виде суперпозиции колебаний с разными частотами (в 2, 3, 4, 5 и более минимальной частоты), которая равна $f_{\min} = \frac{1}{\tau}$, где τ — время звучания фрагмента или период повторяемого фрагмента.

Учитывая порог слышимости человека, нужно говорить о диапазоне частот, простирающихся от 20 до 20 000 Гц, т. е. если музыкальный фрагмент звучит, например 100 с, то формально улавливаемый ухом диапазон составляет 2 000 000 значений частот, т. е. примерно 2 000 000 одновременно звучащих синусоид создадут любой музыкальный фрагмент, который через 100 с может быть повторен.

Если интервал между соседними частотами в спектре брать довольно большим (например, 1 Гц), то совокупность таких звуков даст короткие всплески, которые будут повторяться через каждую секунду.

Реальная спектральная картина звучания какого-либо инструмента представляет собой совокупность не четких тонких спектральных «линий», а совокупность «расширенных» спектральных линий, как бы «колоколов» (рис. 27).

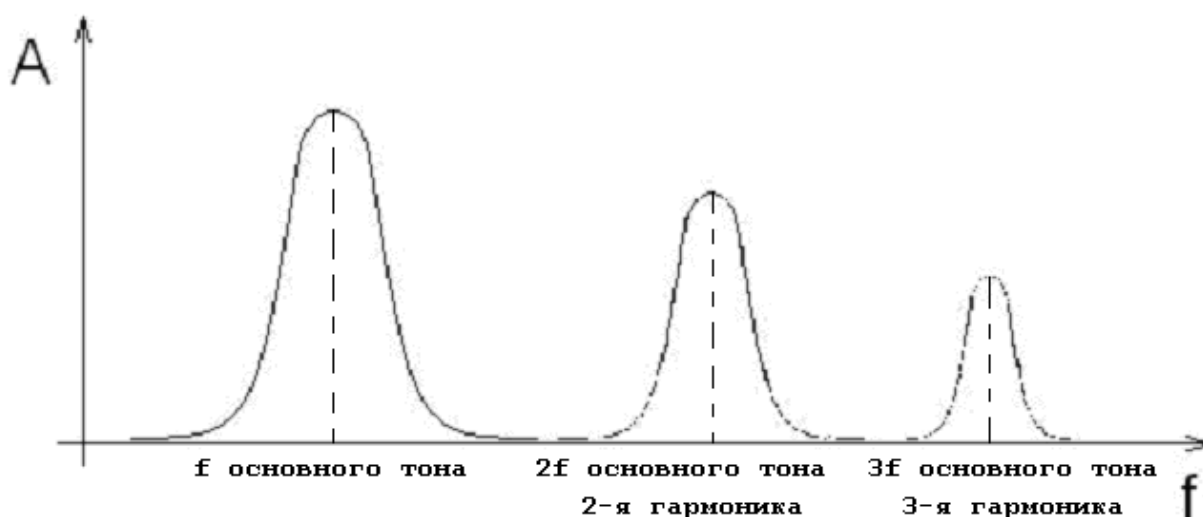


Рис. 27. Спектральная картина звучания музыкального инструмента

«Ширина» этих спектральных «колоколов» определяется прежде всего сопутствующими шумами и временем затухания

звука. Эти свойства спектральной структуры каждого тона, воспроизводимого данным инструментом, определяют тембр его звучания. Если звук очень короткий, то «колокол» становится слишком широким, и определить конкретную ноту (частоту), конкретный звук становится невозможно. Спектральная ширина обратно пропорциональна времени звучания. Например, если звук длится 0,1 с, то ширина спектральной линии будет порядка 10 Гц т. е. в диапазоне средних частот звукоряда (см. таблицу на форзаце учебника), звучание соседних полутонов будет перекрываться.

Нужно отметить большой интерес к изучению явлений, сопровождающих очень короткое звучание как среди музыкантов, так и среди физиков и математиков. Так, Нобелевский лауреат по физике за 1997 г. Стивен Чу пишет в своей автобиографии: «Я обратил внимание на то, что при очень быстрой игре на скрипке можно услышать расстроенные ноты. Простая оценка показывала, что точность частоты $\Delta \nu$, умноженная на продолжительность ноты Δt , может не удовлетворять соотношению неопределенности $\Delta \nu \Delta t \geq 1$. Для проверки чувствительности уха к восприятию частоты я связал акустический генератор с линейным затвором так, чтобы можно было генерировать звуковой сигнал различной длительности. Затем я попросил студентов измерять частоту произвольного выбранного тона, подбирая настройку другого акустического генератора, пока не получится такое же звучание. Студенты с хорошим музыкальным слухом способны определить основную частоту звукового сигнала, который звучит, как удар, с точностью до $\Delta \nu \Delta t \approx 0,1$ ».

Изучение особенностей спектра звука, которое проводилось в Международном исследовательском институте по координации исследований в области акустики и музыки — IRCAM совместно музыкантами и инженерами, показало, что путём влияния различными способами на огибающую спектра можно получить новые оригинальные звучания, создать выразительные комбинации тембров, формировать во времени процессы развития звуковой картины, её горизонтالي и вертикали (особого типа мелодики и гармонии). В 70–80-х гг. прошлого столетия во французском музыкальном искусстве возникло художественное направление, которое было названо «спектральной музыкой».

Понятие спектральной музыки было введено композитором Ю. Дюфуром (1978).

Как пишет об этом явлении во французской музыке 70–80-х гг. XX в. музыковед Д. Шутко: «Под определение спектральная музыка попадает вообще все, что связано с переводом акустических знаний о звуке в музыкальную композицию, в параметры музыкального языка». И далее: «Его “медийная” сила заключается в ясном описании идеи создания новой звуковысотной системы музыкального языка, не мажорно-минорного, не серийного, не связанного с “условностями” равномерно-темперированного строя и одновременно с тем не какого-либо искусственного, а коренящегося в имманентных свойствах звукового материала, а потому — естественного для слуха» (Шутко Д. В. Французская спектральная музыка 1970–1980-х годов (теоретические основы музыкального языка): Автореф. дис. ... канд. искусствовед. СПб., 2002. С. 5).

«К спектральной музыке относятся все те проявления композиторской мысли, которые избирают в качестве модели (или прототипа) законов организации музыкального языка и музыкальной речи принципы акустического строения и развития звука. С конца 70-х годов концепция сочинения спектральной музыки развилась в развернутую теорию, охватывающую, все более широкие научные и музыкальные сферы. Как техника композиции она ставит своей целью разработку иерархической функциональной системы музыкального языка, основными элементами которого являются тембры. В основу ее эстетической концепции положена идея музыкального искусства как искусства звука (в противовес логико-математической серийной композиции — главного объекта критики спектралистов). Опора на законы музыкального восприятия и особая забота о коммуникативной стороне спектральной техники получили отражение в развитии психоакустики. Включение в композиционные методы акустических исследований породили уникальный в истории мировой музыкальной культуры сплав науки и творчества» (Шутко Д. В. Французская спектральная музыка 1970–1980-х годов (теоретические основы музыкального языка). С. 5–6).

Родоначальники спектральной музыки, композиторы Ж. Гризе и Т. Мюрай создали музыкальные композиции, руководствуясь научно обоснованными принципами эстетического воздействия звуковых спектров на слушателя. Уже в те годы Ж. Гризе и Т. Мюрай успешно объединяли в своих инструментальных произведениях звучания инструментов симфонического оркестра с тембровыми красками входящих в мир музыки современных музыкальных синтезаторов. Принципы этого направления освещены в сборнике статей института IRCAM «Тембр, метафора для композиции»¹⁶.

Следует добавить, что любую музыку можно по понятным причинам назвать «спектральной» и к подобной терминологии — «спектральная музыка» — побудила музыкантов возможность визуализации спектра исполняемого произведения. Однако само художественное направление в музыке, названное «спектральным», имеет достаточно выраженные контуры своей музыкально-эстетической однозначности.

¹⁶ Le timbre, métaphore pour la composition. P.: Christian Bourgois, 1991.

Сила и громкость звука

При оценке амплитуды (интенсивности) звуковых волн в акустике часто применяется еще одно понятие — «сила звука». Оно характеризует поток звуковой колебательной энергии, которая каждую секунду проходит через квадратный сантиметр условной плоскости, расположенной перпендикулярно направлению распространения звуковой волны. Звуковое давление и сила звука находятся в квадратичной зависимости. То есть сила звука пропорциональна квадрату звукового давления.

Для того чтобы мы смогли услышать тот или иной звук, его сила должна быть больше определенного уровня. Этот уровень называется *порогом слышимости*. Если звуковая волна имеет малую интенсивность — ниже этого порога, мы просто не воспринимаем её, и нам кажется, что вокруг стоит полная тишина. Точно так же 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 $10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$ раз!

Наш слуховой аппарат устроен таким образом, что линейное изменение силы звука не воспринимается нами как пропорциональное изменение громкости. Громкость звука и его сила связаны между собой более сложной зависимостью. Увеличение громкости в два раза соответствует увеличению силы звука в 100 раз

(звукового давления — в 10 раз), а увеличение громкости в 4 раза соответствует изменению силы звука в 10 000 раз (звукового давления — в 100 раз). Такая зависимость называется *логарифмической*, и именно из-за такой особенности нашего восприятия изменение уровня (громкости) звука принято измерять в логарифмических единицах — *белах (Б)*¹⁷. Десятикратное увеличение силы звука соответствует 1 белу ($\lg 10 = 1$), а стократное увеличение соответствует 2 белам ($\lg 100 = 2$) и т. д. Словом, логарифмическая шкала позволяет достаточно сильно «сжимать» линейную шкалу, находясь в хорошем соответствии с особенностями нашего слуха. Таким образом, бел — это логарифмическая единица измерения уровня звука, показывающая минимально слышимое изменение громкости. Таким образом динамический диапазон нашего слуха (разница между самым тихим и самым громким воспринимаемым звуками) составляет 12 Б.

На практике оказывается, что бел — это слишком большая величина для изменения уровня. Поэтому чаще применяется *децибел (дБ)* — *десятая часть бела*. *Минимальный перепад уровня громкости, который способно воспринять наше ухо, как раз и равен 1 децибелу*. Это одна из главных причин введения такой системы измерения уровня громкости. А весь динамический диапазон слуха составляет 120 дБ. Это удобно: мы оперируем единицами, которые можем оценить на слух.

Изменение уровня звука обычно оценивается в децибелах относительно порога слышимости. Когда говорят, что уровень звука в колонках равен 100 децибелам, подразумевают, что колонки работают на уровне, превышающем порог слышимости на 100 дБ.

Таблица, приводимая ниже, наглядно демонстрирует логарифмическую шкалу уровня звука. Последняя строчка таблицы показывает уровень звука, превышающий болевой порог.

Звуковой объект	Уровень звука, дБ
Слуховой порог	0
Шепот на расстоянии 1 м	20
Шум в квартире	40
Шепот на расстоянии 10 см	50

¹⁷ Названа в честь одного из изобретателей телефона — А. Г. Белла.

Звуковой объект	Уровень звука, дБ
Тихий разговор на расстоянии 1 м	50
Аплодисменты	60
Игра на акустической гитаре пальцами; звук на расстоянии 40 см	70
Тихая игра на фортепиано	70
Игра на акустической гитаре медиатором; звук на расстоянии 40 см	80
Шум в метро во время движения	90
Громкий голос на расстоянии 15 см	100
Фортиссимо (максимально энергичный пассаж) оркестра	100
Реактивный самолет на расстоянии 5 м	120
Барабанный бой на расстоянии 3 см	140

Итак, мы рассмотрели некоторые физические параметры звука, которые окажутся необходимыми для понимания принципов работы с ним музыкальных акустических инструментов, а также музыкального синтезатора и музыкального компьютера.

Стереофония

Существенную роль при воспроизведении звука играет *стереофония*, т. е. способность человека определять место расположения источника звука. Именно она помогает слушателям различать звучание разных музыкальных инструментов. Когда мы слушаем в филармоническом зале, например, концерт для скрипки с оркестром, то, несмотря на то, что солирующая скрипка звучит не намного сильнее, чем остальные двадцать скрипок оркестра, и, во всяком случае, значительно тише тромбона, мы, тем не менее, четко слышим ее звук. Точно так же в гудящей толпе можно выделить какой-нибудь отдельный голос. Возможность такого восприятия звуков человеком прежде всего объясняется тем, что у него два уха. Пути, пройденные звуковыми сигналами, попавшими в левое ухо и правое ухо, различны, поскольку последние разделены некоторым расстоянием. Кроме того, голова человека является механическим препятствием для звука: например, звук, пришедший с левой стороны, воспринимается левым ухом как более громкий, чем правым. Именно различия во времени восприятия и громкости помогают нам определять направление на источник звука и выделять звучание солирующей скрипки из звучания всего оркестра.

Кроме того, с помощью стереофонии передается косвенном образом информация об условиях, в которых производилась запись. (Мы помним о том, что одним из основных элементов, характеризующих акустические свойства помещения и влияющих значительным образом на качество воспроизведения, а соответственно и на запись звука, является реверберация.)

Какова технология передачи стереофонического эффекта при записи и воспроизведении звука? Ведь любой источник звука мы воспринимаем как единый, но стереофонический объект.

Стереофонический эффект от единственного объекта впервые был продемонстрирован в 1881 г. в Гранд-опера в Париже. На сцене установили два микрофона, а слушателям раздали наушники. Звук от первого микрофона поступал к одному наушнику, от второго — к другому.

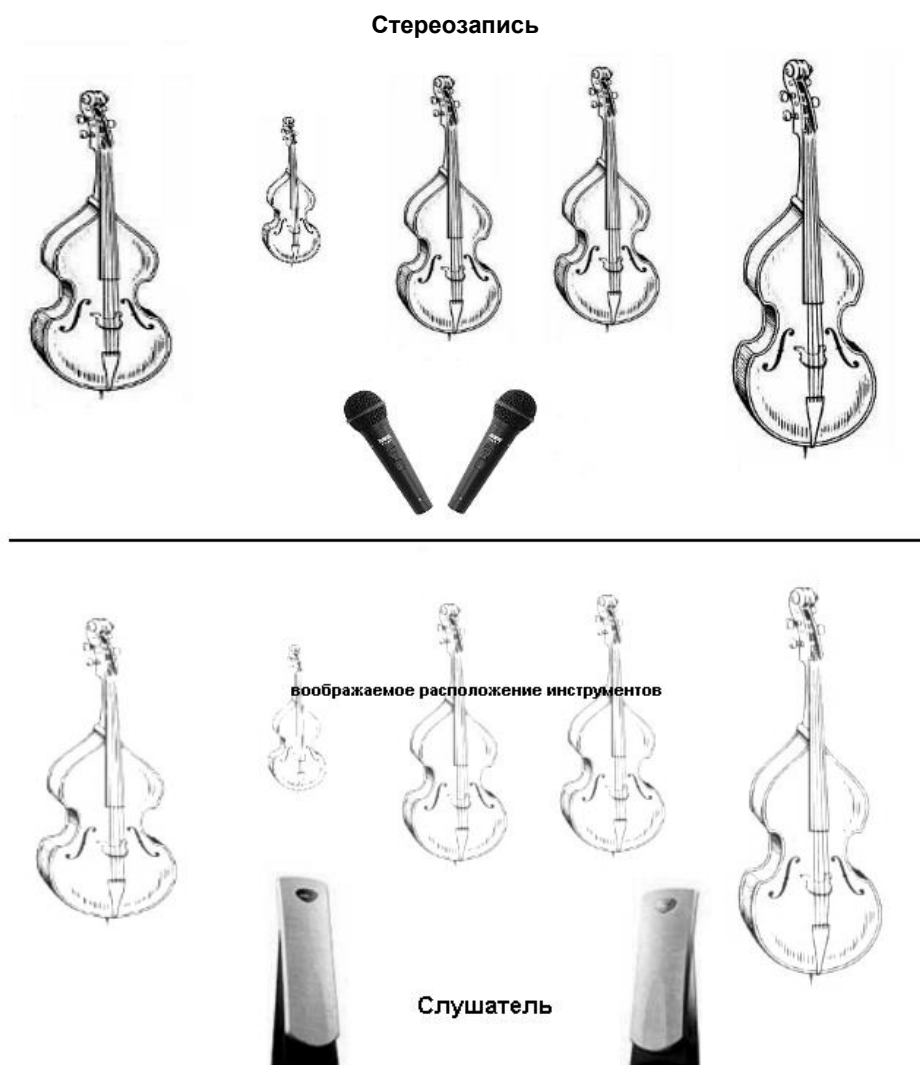


Рис. 28. Принцип стереозаписи и ее воспроизведение слушателем

Позже, в 1931 г., английский ученый Бламлейн разработал метод стереозаписи звука, который практически сохранился до настоящего времени. Звук, который хотят записать, разделяют на два сигнала, один из которых поступает в левый канал записывающего устройства, другой — в правый. На стереопластинке или стереоплёнке имеются две звуковые дорожки. С одной из них при проигрывании звук поступает в левый громкоговоритель, а с другой — в правый.

До недавнего времени современная цифровая аудиозапись была основана на том же принципе двухканальной записи и воспроизведения стереозвука.

В простейшем случае стереозапись производится на два разведенных в пространстве микрофона. Во время прослушивания запись с каждого микрофона попадает в конкретное ухо слушателя. В результате воспроизводится информация о размещении источников звука в помещении. Каким образом это происходит? Есть два параметра, которые характеризуют информацию, связанную с размещением источника звука:

— громкость: источник находящийся ближе к тому или иному уху будет звучать громче;

— фазовый сдвиг: от источника, находящегося ближе к тому или иному уху, сигнал дойдет быстрее, к другому уху сигнал придет с небольшим опозданием.

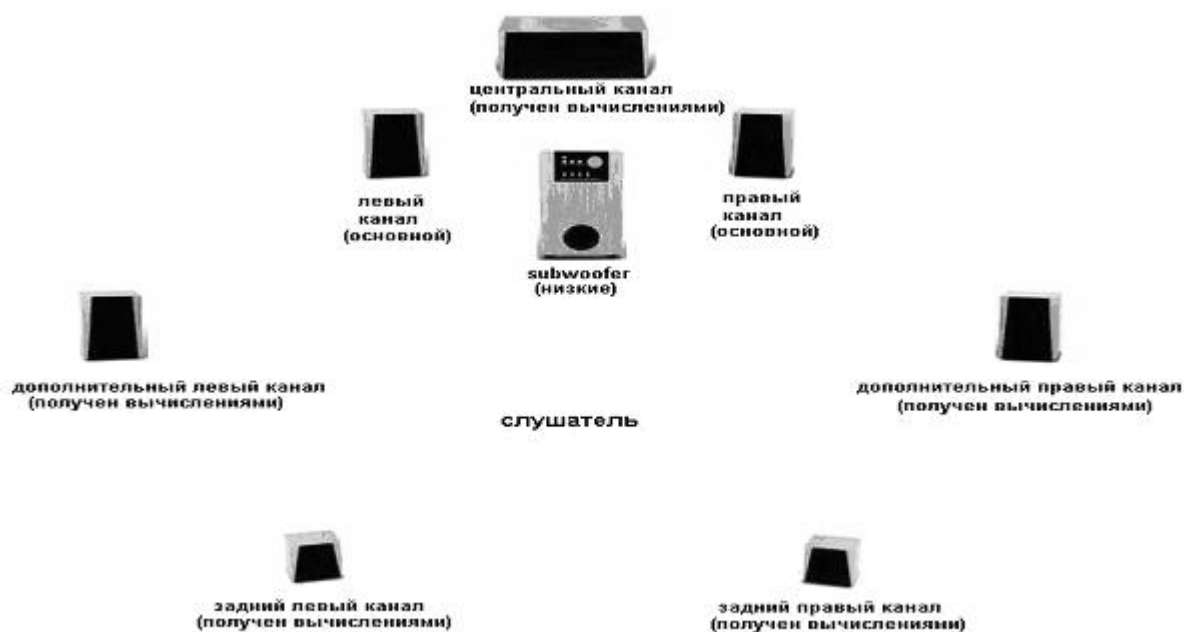


Рис. 29. Псевдопространственная система (surround system)

В настоящее время используются различные псевдопространственные системы с большим количеством колонок. При этом сигналы, которые подаются на дополнительные колонки, получаются путем цифровых вычислений на компьютере и имитируют прохождение звука из расчетных точек, соответствующих точкам размещения колонок.

Следует отметить, что пространственному, «структурному», или «объёмному» звуку, законам его воздействия на человека (психоакустика) сегодня уделяется значительное внимание.

Системы создания и развития «звуковой картины» (терминология музыканта, звукорежиссера В. Г. Динова. Это же понятие в начале XX в. использовал блистательный пианист, композитор, педагог Иосиф Гофман), художественного, музыкального представления, а также «проблемы воссоздания пространственной структуры звукового поля» (по работам доктора технических наук, профессора И. А. Алдошиной) являются интенсивно развивающейся областью знаний современного специалиста — звукорежиссёра, саунд-дизайнера.

Развитие пространственных систем звукопередачи от классической стереофонии к современному компьютерному виртуальному моделированию звукового пространства и соответствующего аппаратного и программного инструментария (Wave Field Synthesis и другие системы моделирования структуры «звукового поля») определяет большой интерес к данной сфере деятельности как профессиональных музыкантов, так и специалистов в области музыкальной акустики, звукорежиссеров.

«Современный звукорежиссёр — это переводчик между языком техники и языком искусства, профессионально владеющий тем и другим. Он должен обладать серьезными научными познаниями в различных направлениях акустики и аудиотехники, глубоко понимать физическую природу звука, законы его создания, распространения и восприятия. Звукорежиссеру необходимо овладеть компьютерными технологиями работы со звуком, знать технологию записи в кино, на телевидении, системы озвучивания и звукоусиления, владеть всей современной звукозаписывающей и звуковоспроизводящей техникой» (Алдошина И. А. Современные компьютерные технологии в преподавании музыкальной акустики для звукорежиссёров // Современные аудиовизуальные технологии в художественном творчестве и высшем образовании. III Всероссийская научно-практическая конференция. 21 февраля 2006 года. СПб.: Изд-во СПбГУП, 2006. С. 82).

«Современная музыкальная акустика представляет собой в широком смысле синтез различных направлений науки и техники: акустики речи и пения, акустики музыкальных инструментов (в том числе электронных); электроакустики (в том числе систем звукозаписи, звукопередачи и звуковоспроизведения); архитектурной акустики (акустики концертных залов, театров, студий и так далее, а также техники звукоусиления и озвучивания в них); психоакустики и др.» (Там же).

«Обращение к электроакустическому звуковому материалу, — как пишет в своей работе “Стереофонический склад фактуры как сущностное свойство электронной музыки” И. М. Красильников, — нередко порождает особое качество музыкального звучания, в котором пространственный фактор становится по отношению к нему не чем-то внешним случайным, но входит в самую его плоть. <...> “Вначале был ритм” (Г. Бюлов) — первобытная музыка строилась на основе одной горизонтальной координаты фактуры. Появление мелодического рисунка монодии, а затем полифонии — это, по сути, конкретизация ритмического узора по новой вертикальной шкале. Третья координата фактуры — глубина — связана с возникновением гомофонно-гармонического склада. Она делит голоса на главные (рельефные) и второстепенные (фоновые). Тем самым их движение в двухмерной плоскости вписывается в трехмерный объем. И наконец, ее четвертая координата так или иначе конкретизирует эти рельефно-фоновые соотношения в виртуальном электроакустическом пространстве, что делает их частным проявлением значительно более сложной, разветвленной организации фактуры стереофонического склада» (Музыка и электроника. 2007. № 4. С. 11).

Пространственная составляющая стереофонической фактуры такой музыки является ее неотъемлемой частью, художественным средством выражения его идеи, фактически, своеобразным музыкальным инструментом. Музыкальная фактура, как говорит Игорь Михайлович Красильников, «обретает четырёхмерность», и новая пространственная координата становится её реальной, неотъемлемой частью, «физическим воплощением ее пейзажной координаты».

«В основе всех этих качественных преобразований фактурного пространства всегда лежало совершенствование инструментального аппарата музыкального творчества. Формирование стереофонического склада не стало исключением. За сравнительно небольшой по историческим меркам отрезок времени электроакустическая техника прошла путь от монофонического звучания к двухбазовому стерео, квадрофоническому и стандарту звукового окружения (Surround Sound). Совершенствование этих стандартов звучания обусловило развитие художественного потенциала музыки стереофонического склада, а их распространение стало “всеобщей филармонией”, ее пропагандирующей» (Там же. С. 12).

Отметим, что квадрофония Surround Sound — это отдельная большая тема, которая подробно рассмотрена в последующих главах нашего издания.

Музыкальный инструмент — синтезатор музыкального звука

Любая самая близкая к совершенству музыкальная машина, будь то скрипка Страдивариуса или электронный синтезатор, бесполезна пока к ней не прикоснулся человек, обладающий музыкальным мастерством и воображением.

И. Ф. Стравинский
(Диалоги. Л.: Музыка, 1971)

Музыкальный инструмент... Как дорог он каждому исполнителю, как незаменим! Каждый музыкальный инструмент имеет свой неповторимый «голос». Об иных из них сложены легенды, прикоснуться к другим разрешается лишь выдающимся мастерам искусства.

Появление новых музыкальных инструментов или музыкальных синтезаторов обусловлено двумя основными причинами. Первая из них — стремление музыкантов обогатить палитру своего музыкального творчества. Вторая причина связана с историческим совершенствованием музыкального инструментария, который в своей конструкции стремится опираться на современные достижения науки и техники в области создания звука.

Слово «синтезирование» означает создание чего-либо с помощью комбинаций отдельных элементов его составляющих. Синтезированный звук — это звук, который музыкант создает с помощью какого-либо музыкального инструмента из элементов, его составляющих. Синтезированный звук может быть традици-

онным акустическим музыкальным тембром или похожим на него, либо он может быть также совершенно новым, не существовавшим ранее, оригинальным. Однако общим для всей синтезированной музыки является то, что звучание «само по себе» не есть музыка, музыка возникает в результате взаимодействия этих звуков и музыканта, который воспроизводит звучание или создает композицию. (Утверждение о том, что синтезаторная музыка находится только в рамках имитации традиционного музыкального инструментария и музыкальных форм, что синтезаторная музыка создается автоматически, механически, т. е. без взаимодействия с музыкантом, является совершенно необоснованным. Напротив, электронные музыкальные инструменты расширяют палитру звучания, музыкального произведения и тембровая окраска его становится ярче, богаче.)

Вместе с тем следует понимать, что любой, самый совершенный музыкальный инструмент — это рукотворный «образ», рукотворная «музыкальная машина», благодаря взаимодействию с которой происходит таинство звукотворчества, истинный музыкант оказывается способным выразить все нюансы звучания многогранного тембрового пространства, эмоциональный «настрой» души человека, его чувства, переживания, и художественное воздействие музыки становится осязаемым. Композитор запечатлевает в своем произведении целый мир особых музыкальных образов, фантазий, созданный его воображением, отражает художественное слышание мира с помощью конкретных музыкальных инструментов.

«Композитор как творец определяет и выявляет имеющимися в его распоряжении и изобретаемыми им средствами художественную идею произведения, устанавливает особенности организации целого, границы произведения, грани частей, типы связей, необходимых для выражения этой идеи; он устанавливает также детали целого, вплоть до того, например, сколько звуков и какие именно следует изменить, добавить или убавить в уже почти сочиненной пьесе, чтобы она была, с его точки зрения, наиболее совершенной в художественном плане. Он руководствуется своим творческим замыслом, опытом общения с музыкантами, слушателями, самой музыкой (своей и других

композиторов), своим музыкальным вкусом, личными пристрастиями, личными представлениями о гармоничности, о красоте и т. п.» (Рагс Ю. Н. Уровни и содержание музыковедческих измерений. Эстетика: информационный подход. М.: Смысл, 1997. С. 28).

Исполнитель пытается донести до слушателя идеи, высказанные композитором, и обязательно вносит свое понимание в исполняемое произведение, делает его «живым», дополняет его, отражая современное мироощущение.

«Музыкант-исполнитель в своей деятельности может быть даже выше композитора (конечно, если его исполнительский опыт выше, чем у композитора): он также творит художественную целостность, только не нотную, а акустическую. Он находит способы объединить или разъединить звуки, где это нужно, “выстроить” динамику развития, что-то подчеркнуть, что-то убавить — при помощи громкости, звуковысотной интонации, тембра, длительности, т. е. с помощью тех средств, которые в нотах никак или почти никак не отражены.

*В теории музыки, музыкально-исполнительского искусства деятельность исполнителя определяется как **исполнение, воспроизведение** (или трактовка), **сотворчество** и т. п. в зависимости от степени творческой активности музыканта»* (Рагс Ю. Н. Уровни и содержание музыковедческих измерений... С. 28).

Под правильным исполнением музыкального произведения понимают такое исполнение, при котором способ выражения полностью соответствует его содержанию. Иосиф Гофман пишет о том, что если десяти талантливым исполнителям дать исполнить одну и ту же пьесу, то каждый из них станет ее играть «совершенно иначе, чем девять других», потому что каждый из них стремится выразить по-своему то, что «он усвоил умом и сердцем». «Особенность, определяющая различие между этими десятью толкованиями, <...> и есть то, в чем закономерно проявляется индивидуальность и в чем только можно усмотреть

действительное слияние композиторской и исполнительской мысли» (Гофман И. Фортепьянная игра. Ответы на вопросы о фортепьянной игре. М.: Музгиз, 1961. С. 66–67).

Художник-исполнитель должен извлечь из дошедших до него материальных обозначений (нот или других видов записи) духовную сущность произведения и передать ее слушателям посредством музыкального инструмента (к числу которых отнесем здесь и человеческий голос), «вызвать» к звуковой жизни то, что постиг его музыкальный интеллект. Именно благодаря музыкальному инструменту («музыкальной машине», как говорил И. Стравинский) происходит творческое «слияние композиторской и исполнительской мысли». «Тесная связь между музыкой и технологией — это намного больше, чем просто интересный факт, — пишет Д. М. Рабин в своей книге “Музыка и компьютер: настольная студия”. — По существу, в ней и заключается суть музыкальной выразительности» (С. 11.) Именно рассмотрению технологических¹⁸ аспектов музыкального творчества и посвящена данная глава.

«С самого начала появления у человека потребности в самовыражении музыка постоянно опиралась на имеющиеся средства, придавая полет мыслям и остроту чувствам. После того как доисторический охотник, услышав звон тетивы своего лука, впервые решил применить этот звук для творчества, он использовал доступную ему технологию производства музыки. Когда члены первобытного племени открыли для себя, что стук по полым бревнам имеет интересный ритмический потенциал, они тоже использовали имеющуюся технологию. И когда кто-то понял, что можно извлекать приятные звуки, дуя в обломок бамбука, еще один вид музыки появился на свет благодаря технологии.

¹⁸ Мы не рассматриваем здесь моменты, подробно освещающие структуру музыкальных инструментов и способы создания извлечения музыкального звука, приемы исполнительского мастерства. Эти и многие другие вопросы подробно освещены, например, в фундаментальном учебнике для звукорежиссёров и саунд-дизайнеров «Музыкальная акустика», написанном профессором, доктором технических наук Ириной Аркадьевной Алдошиной совместно с Р. Приттсом и опубликованном в 2006 г.

<...> Звон тетивы доисторического лука послужил отправным пунктом для появившихся впоследствии очаровательных каденций пианиста Владимира Горовица. Полые бревна послужили тысячелетиями позже для головокружительных барабанных соло Бадди Рича. А свист, извлекаемый из ростков бамбука, привел в конце концов к спирально вьющимся саксофонным риффам Чарли Паркера.

Важно осознать, что во всех случаях музыка была отражением имеющейся технологии, и это создало динамическую ситуацию, где улучшение технологии непрерывно расширяло и улучшало средства музыкальной выразительности. Таким образом, охотничий лук со временем превратился в арфу, затем в клавесин и в конце концов — в фортепиано. С развитием средств производства изменялась и сама музыка — от средневековых мелодий ирландских арфистов к сложным клавесинным партиям Доменико Скарлатти и далее — к потрясающим фортепианным произведениям Ференца Листа.

Итак, мы подходим к мысли о том, что “музыкальный инструмент” — это фактически не более чем просто особый вид инструмента или машины. И ограниченные возможности инструментов приводят к ограничениям в музыке. Конечно же, ограничения сами по себе не всегда такая уж плохая вещь. (Кто будет критиковать струнный квартет Бетховена за то, что в нем слишком мало инструментов?) Но, по сути, именно они определяют характер получаемого результата.

К примеру, с улучшением техники и инструментов для обработки дерева примитивные музыкальные инструменты, сделанные из черепаших панцирей, палок и нескольких струн, превратились в утонченные декоративные лютии эпохи Ренессанса. Соответственно изменилась и музыка. С развитием металлургии мы получили предшественников современных труб, валторн и туб — так появлялись новые ансамбли и звуки.

Таким образом, неудивительно, что с появлением электричества его мощь тоже была использована в музыке. Электричество породило вакуумную лампу, впоследствии замененную транзистором. Транзистор с течением времени привел к со-

временному микропроцессорному чипу и персональному компьютеру.

Первые популярные музыкальные инструменты, использующие электричество — электрогитара, электроорган и электрическое пианино, — быстро изменили звучание популярной музыки, внося новые краски в существовавшую звуковую палитру. Когда несколькими годами позже появились первые предки современных синтезаторов, музыка перешла на качественно новый уровень.

На сегодняшний день музыканты получили изобилие музыкальных звуков для самовыражения. И никогда еще не было в истории времени с большим количеством слушателей. Это великое время для исследования мира музыки, и компьютеры — значительная часть этого исследования» (Рабин Дэвид М. Музыка и компьютер: настольная студия / Пер. с англ. Минск: ООО «Попурри», 1998. С. 15).

Рассмотрим более детально некоторые аспекты структуры **(архитектоники)** акустического и электронного музыкального инструмента.

Традиционный (акустический) музыкальный инструмент представляет собой «собрание» акустических элементов, взаимное отношение между которыми устанавливается с помощью строения (конструкции) самого музыкального инструмента. Так, например, скрипка состоит из четырёх струн (вибрирующих элементов), которые расположены над грифом («играющей» поверхностью) и разделены на две неравные части и соединены с корпусом инструмента (акустическим резонатором). Скрипач приводит струны во взаимодействие со смычком и создает вибрацию струн и всего инструмента в целом. Но исполнитель не может изменить ни положение струн относительно подставки, ни положение подставки относительно деки (корпуса) скрипки, ни саму конфигурацию структуры скрипки.

Акустический музыкальный инструмент представляет собой также сложный комплекс резонаторов (см. рис. 30).

Совокупность конкретных масс, упругостей отдельных «частей» музыкального инструмента, его геометрическая форма,

способы извлечения звука создают неповторимое, присущее данному инструменту звучание или **тембр** данного инструмента.

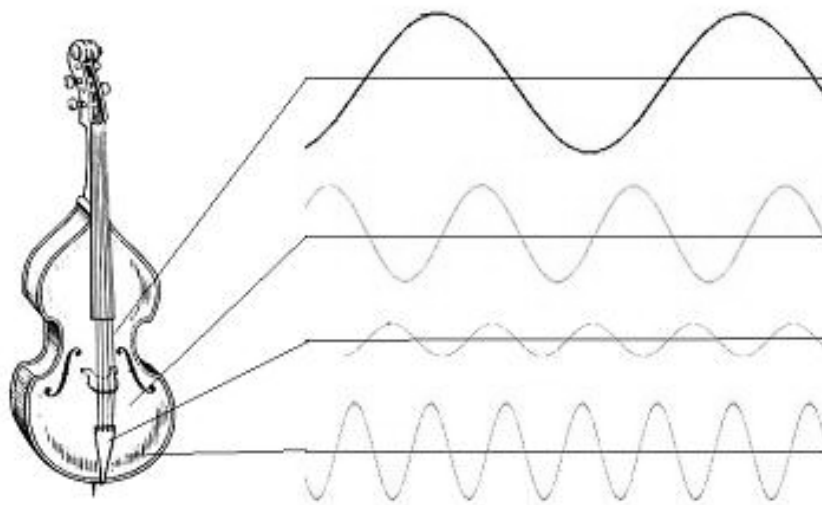


Рис. 30. Музыкальный инструмент — это сложный комплекс резонаторов

Вот как поясняет особенности звучания акустических музыкальных инструментов автор труда по теории музыкального звука «О физиологических причинах музыкальной гармонии» Г. Гельмгольц: «Все красивые музыкальные тембры должны скорее изобиловать обертонами, в особенности пятью первыми, образующими октавы, квинты и терции основного тона, и в органы вставляют нарочно побочные трубы, чтобы получить звуки полного и сочного тембра для аккомпанемента хоровому пению, так что и здесь можно видеть, какую важную роль играют обертоны в художественном воспроизведении музыки.

Но так как существование обертонов зависит от формы волн, то тембр соответствует форме волн. Легче всего можно слышать обертоны, когда они не гармоничны с основным тоном, как, например, у колоколов. Искусство лить колокола заключается в том, чтобы придать им такую форму, при которой наиболее сильные и низкие обертоны гармоничны с основными, иначе получается немusикальный звук...» (*Гельмгольц Г. О физиологических причинах музыкальной гармонии. СПб., 1896. С. 14*).

Итак, любой акустический инструмент, как мы уже отмечали, представляет собой сложный комплекс резонаторов. Разберем это более подробно. Акустический резонатор в общем случае представляет собой колебательную систему, способную совершать

колебания (резонировать) максимальной амплитуды (собственные колебания) при воздействии внешней силы определенной частоты. Под действием несинусоидальных сложных колебаний резонатор совершает также сложные колебания. Однако при этом в спектре колебаний резонатора выделяются колебания тех частот, которые наиболее близки к частотам его собственных колебаний. Простейшими случаями являются струны, ножки камертона, различные объемные воздушные полости, называемые объемными резонаторами.

При возбуждении струны возникают колебания в находящемся около нее объемном резонаторе с определенным соотношением интенсивности различных обертонов, что однозначно показывает тембр данного инструмента, который определяется формой и материалом, из которого сделан резонатор (музыкальный инструмент).

Свойства резонатора (усиление отдельных колебаний) связаны с длиной волны (λ) колебаний, возникающих в воздухе. Вместе с тем, поскольку длина волны при данной частоте зависит от скорости звука ($\lambda = \frac{c}{f}$), а скорость звука зависит от плотности

воздуха ($c = \sqrt{\frac{1,4P_0}{\rho}}$), то тембр звучания также оказывается зави-

симым от плотности воздуха, которая в свою очередь зависит от величины атмосферного давления (чем больше давление, тем больше плотность). Поэтому, например, одна и та же гитара будет иметь различный тембр звучания в случае, если на ней играют высоко в горах или на берегу моря. При изменении атмосферного давления резонатор попадает в другие внешние условия, и это сказывается на качестве звучания, оказывая влияние на тембральные характеристики акустического музыкального инструмента.

Итак, мы рассмотрели технологические принципы и физические законы, лежащие в основе звукообразовательного процесса в так называемых акустических инструментах.

Как уже отмечалось ранее, на протяжении веков постепенно изобретались новые способы извлечения музыкального звука и соответственно технологии изготовления новых музыкальных инструментов, отвечающих замыслам композиторов, вслушиваю-

щихся в звучание (музыку) окружающего их мира. В течение XX столетия не только сформировалась новая звуковая аура, но и в последние десятилетия XX в. и в начале XXI в. стремительно развивается новая область музыкального творчества (и образования!) — музыкально-компьютерные технологии. Как отмечено в статье «Musical Forms and Genres: Instrumental Computer music: Computer sound synthesis. Р. 2», опубликованной в «Британской энциклопедии» еще в конце 70-х — начале 80-х гг. прошлого века, с возникновением и развитием *новых электронных музыкальных инструментов* оказалась **перевернутой новая страница** в истории развития музыкального искусства. В чем это выражается? Для ответа на поставленный вопрос поясним, что понимаем под термином «электронный музыкальный инструмент». В основе любого *современного электронного музыкального инструмента* имеется микропроцессор (компьютер), с помощью которого, в частности, по одной из известных технологий синтезируется звук. Контроллер, посредством которого музыкант исполняет то или иное музыкальное произведение на таком инструменте, может быть выполнен в форме скрипки, фортепиано, арфы, аккордеона и т. д., может представлять собой любой широко известный или совершенно новый музыкальный инструмент; контроллер как таковой может и вовсе отсутствовать, если нет необходимости в его использовании. Самыми основными отличительными особенностями такого музыкального инструмента от его предшественников являются:

— *возможность редактирования (обратная связь)*. Как пишет в своей статье «Современное цифровое фортепиано» наш современник пианист, педагог, ученый К. Цатурян: **«Работа с электронным редактированием версий исполнения — совершенно новая область деятельности музыканта-исполнителя XXI века.** Она основана на специфической слуховой работе современного пианиста-звукорежиссера, на активизации в первую очередь художественного воображения, фантазии, эмоционально-образного мышления музыканта» (С. 11). И далее: «Электронная редакция — это бесконечные варианты замысла. Сами же “исправления” студийной фонограммы — это варианты трактовки произведения, а не исправления одних лишь случайных рутинных ошибок! <...> Она основана на специфической слуховой работе современного пианиста-звукорежиссера, на активизации в

первую очередь художественного воображения, фантазии, эмоционально-образного мышления музыканта» (Цатурян К. Современное цифровое фортепиано // Музыка и электроника. 2008. № 1. С. 14);

— *возможность изменения конфигурации музыкального инструмента* (дополнительные возможности настройки) в зависимости от конкретных целей использования такого инструмента (этот аспект подробно изложен в начале данной главы);

— *возможность создания звукового образа всех предшествующих инструментов*, как каждого в отдельности, так и звучание ансамблей инструментов и целых симфонических оркестров;

— *его программируемость*, т. е. возможность создания предварительного музыкального материала, его запись, сохранение и использование при необходимости в процессе последующего исполнения;

— *благодаря использованию электронных музыкальных инструментов сокращается путь к творческому постижению музыки*. «В эпоху невиданного распространения компьютеров, неведомого музыкантам во времена Гульда и, тем более, Рахманинова, впервые появляется возможность использовать редактирование записи собственной игры учащихся для того, чтобы сократить их путь к творческому постижению музыки. <...> Проблема техники как бы элиминируется, снимается или отходит на второй и третий план» (Цатурян К. Современное цифровое фортепиано. С. 15).

Проиллюстрируем сказанное, обратившись к некоторым аспектам исполнительского мастерства как к *главному музыкально-художественному явлению*, в частности к пианизму, и к фортепиано как к инструменту, который был и остается одним из наиболее популярных на протяжении двух с половиной веков, к некоторым аспектам пианистического искусства, которому посвятили себя выдающиеся музыканты прошлых и настоящего столетий. В последнее десятилетие ярко заявили о себе новые электронные музыкальные инструменты, среди которых один из наиболее широко используемых современных инструментов — электронное (цифровое) фортепиано¹⁹.

¹⁹ Современное электронное фортепиано — один из наиболее распространенных новых электронных музыкальных инструментов в период конца XX — начала XXI в. На страницах образовательного журнала «Музыка и электроника»

Проанализируем возможности реализации творческой идеи (эмоционально-звуковой, звукоокрасочной, художественно-образной, возможности трактовки художественной идеи музыкального произведения) с помощью современного электронного фортепиано, которое можно рассматривать как инструмент «переходного этапа» к развитию исполнительского мастерства на электронных музыкальных инструментах, поскольку цифровое (электронное) фортепиано сочетает в себе как свойства своего акустического предшественника, так и особенности нового музыкального инструментария — электронных музыкальных инструментов (исходя из основных задач художника-исполнителя, учащегося, артиста, музыканта и возможностей музыкальных инструментов), и сравним их с особенностями исполнительского мастерства на акустических фортепиано.

Обратимся к высказываниям известных музыкантов прошлого и настоящего столетий. Так, Иосиф Гофман (ученик Антона Григорьевича Рубинштейна), творческий путь которого пришелся на период высшего расцвета фортепианного искусства и имя которого входит в число имен блистательных пианистов конца XIX — начала XX в., таких как Д'Альбер, Зауэр, Годовский, Розенталь, Тереза Карреньо, Бузони, Падеревский, Пахман, Пауэр, Рейзенауэр, Пюньо, Корто, Шнабель, Гальстон, Грюнфельд, Сафонов, Зилоти, Лешетицкий, Рахманинов), о высочайшем мастерстве которого восхищенно высказывались Г. Нейгауз, Э. Гилельс, в книге «Фортепьянная игра. Ответы на вопросы о фортепьянной игре»²⁰, обращаясь к своим ученикам, говорил о

публикуется серия статей, посвященных данному музыкальному инструменту как инструменту современного профессионального музыканта-исполнителя. Особого внимания заслуживают статьи пианиста, педагога и ученого Константина Амаяковича Цатуряна (см. статьи в журналах за 2006–2008 гг.).

²⁰ Книга много раз переиздавалась, что иллюстрирует пристальное внимание к мыслям великого пианиста, высказанным им в его книге-наставлении: в 1911 г. — вышло в свет первое издание под названием «Фортепианная игра» (в 1912 г. — второе, в 1913 г. — третье). В 1913 г. вышла вторая книга Иосифа Гофмана под названием «Вопросы и ответы». В 1929 г. музсектор Госиздата переиздал обе книги. Переводы были неточны, содержали много искажений авторского текста. В 1938 г. издательство «Искусство» подготовило новое, объединенное издание с предисловием Г. Нейгауза. В 1961 г. издательством Музгиз (Москва) было опубликовано новое, уточненное издание книги под названием «Фортепьянная игра. Ответы на вопросы о фортепьянной игре», с новым переводом и предисловием Г. М. Когана.

высшем назначении глубоко идейного содержания искусства пианиста:

«В некотором отношении исполнение музыкального произведения напоминает чтение книги вслух. Если книгу будет читать нам человек, который ее не понимает, сможет ли она произвести на нас впечатление правдивости, убедительности или хотя бы вероятности? Может ли недалекий человек, читая нам такую книгу, вразумительно передать ее яркие мысли? Если даже такого человека и обучат внешне правильно читать то, смысл чего он не в состоянии постигнуть, чтение все равно не займет всерьез нашего внимания, потому что отсутствие понимания у чтеца наверняка вызовет потерю интереса у нас» (С. 33–34).

«Работа эта имеет преимущественно аналитический характер и требует, чтобы ум, дух и чувство, подкрепленные знаниями и эстетическим чутьем, образовали счастливый союз, позволяющий достигнуть ценных и достойных результатов. Именно в этой области учащийся должен учиться постигать то невидимое, что объединяет отдельные как будто ноты, группы, периоды, разделы и части в некое органическое целое. Проникновение духовным взором в это невидимое и есть то, что подразумевают музыканты, говоря о “чтении между строк”, являющемся в одно и то же время наиболее увлекательной и наиболее трудной задачей для исполнителя, поскольку именно между строк таится — в литературе, как и в музыке, — душа произведения искусства. Играть же ноты, даже если играть их правильно, — этого еще далеко не достаточно для того, чтобы воздать должное жизненной сущности художественного произведения» (С. 32).

Приведём слова нашего современника, пианиста и педагога, создавшего антологию фортепианного этюда (CD), автора статей об особенностях исполнительского мастерства на электронных музыкальных инструментах Константина Цатуряна, который говорит о процессе исполнения музыкального произведения на современном цифровом фортепиано следующее:

«Собственный опыт работы убеждает меня в том, что творческий подход к работе на цифровом инструменте означает известный в веках универсум — наличие, прежде всего, творческой идеи. В фортепианном искусстве — звукообразной идеи: эмоционально-смысловой, звукоокрасочной, временной, **архитектонической**. Сначала я играю как пианист, а уже затем работаю как студиец. Это дает необыкновенное качество». И далее: «С каждой новой версией записанного исполнения, повтор всего произведения или его раздела, и даже детали, все больше сближаются с высшим смыслом исполнения музыки — с её образным видением, с художественной трактовкой» (Цатурян К. Современное электронное фортепиано // Музыка и электроника. 2007. № 4).

Остановимся более детально на исполнительском аспекте художественного мастерства пианиста.

Великий музыкант и педагог Антон Григорьевич Рубинштейн на занятиях со своими учениками восклицал: «Главное — чтобы музыка звучала как следует, хотя бы даже вам пришлось играть носом!» «Рубинштейну не было дела до *ignis fatuus*²¹, — пишет И. Гофман о наставлениях своего учителя, — единственно правильного метода. Любой метод, приводящий к отличным художественным результатам, к прекрасному и впечатляющему исполнению, был оправдан в его глазах» (Гофман И. Фортепьянная игра. Ответы на вопросы о фортепьянной игре. М.: Музгиз, 1961. С. 90).

Как и в чём это выражается? Как передать истинный смысл исполняемого музыкального произведения? «Звучала как следует», как именно?

И. Гофман: «Другая, гораздо более тонкая область фортепьянной игры зависит от воображения, утонченности чувств и духовного видения и состоит в стремлении передать аудитории то, что композитор, сознательно или бессознательно скрыл между строк» (Гофман И. Фортепьянная игра. Ответы на вопросы о фортепьянной игре. С. 31).

²¹ *Ignis fatuus* (лат.) — «блуждающий огонь».

«Только путем тщательного изучения каждого произведения самого по себе можно отыскать ключ к правильному его пониманию и исполнению» (Там же. С. 64).

«Этот ключ мы найдем отнюдь не в книгах о композиторе и не в тех, где рассматриваются его произведения, а только в самих этих произведениях, в каждом из них *per se*²². <...> Учащийся окажет себе очень хорошую услугу, если он не устремится к клавиатуре до тех пор, пока не осознает каждой ноты, секвенции, ритма, гармонии и всех указаний, имеющих в нотах. <...> Только когда овладеешь музыкой таким образом, можно ее “озвучивать” на рояле. <...> Играя, исполнитель никогда не потеряется, не запутается, ибо “игра” — это только выражение при помощи рук того, что он прекрасно знает» (Там же. С. 217).

Композитор и пианист Родион Щедрин об исполнении музыкального произведения говорил следующее: «Когда ты созидаетшь целое, ты не учишь, а участвуешь в созидании целого» (Беседа с корр. Московского бюро радио «Свобода» М. Тимашевой 3.12.2000 // Лицом к лицу: www.svoboda.org).

О создании музыки к спектаклю «Нина и двенадцать месяцев» композитор рассказывает:

«В партитуру “Конька-Горбунка” я ввел одноголосный французский электромузыкальный инструмент клавиолин — древний провозвестник нынешних “Ямах”. Он попал в яму Большого театра, как всегда бывает в России, неисповедимыми и противоестественными путями. Помню, что, когда пришел на спектакль Флиер, Рождественский перед вступлением клавиолина употребил всю свою недюжинную мимику, чтобы просигнализировать: сейчас звучит нечто немыслимое... А я в ложе сидел, поэтому, видел и Рождественского, и Флиера, и видел, что Яков Владимирович даже привстал, когда заиграл этот “голос будущего”. Действительно, для стен Большого это было тогда неожиданно...» (Щедрин Р. К. Монологи разных лет. М.: Композитор, 2002. С. 34).

²² *Per se* (лат.) — самом по себе.

«В состав оркестра я включил балалайку, а в ударную группу — много русских инструментов: деревянные ложки, трещотки, бубенцы-тройки и пр. Важная роль отводилась четырем синтезаторам Yamaha-DX7, на которых играли два исполнителя, поставив перед собой клавиатуру на клавиатуру» (Щедрин Р. К. Автобиографические записи. М.: АСТ: АСТ Москва: Новости, 2008. С. 190).

Ю. Рагс: «Сотворчество, во-первых, может быть понято в широком смысле — как участие исполнителя (вместе с композитором) в создании музыкального произведения: без исполнения не может быть музыки, так же как и без сочинения ее; лишь в совместной деятельности она рождается и живет. Во-вторых, сотворчество, понимаемое в более узком смысле, — это совместная работа композитора и исполнителя над нотным текстом и при подготовке к концертному выступлению. Подобным образом Арам Хачатурян и Давид Ойстрах работали над “Концертом для скрипки с оркестром” Хачатуряна. <... >

Но, конечно, всё это не означает, что в дальнейшем, следующие исполнители должны придерживаться только этого “образца”; интерпретационный процесс не может быть остановлен. Не меняя ни одной ноты, не игнорируя ни одного пояснения, ни одного замечания композитора, исполнитель всегда имеет возможность по-новому “прочитать” нотный текст, внести свою интонацию» (Рагс Ю. Н. Уровни и содержание музыковедческих измерений. Эстетика: информационный подход. М.: Смысл, 1997. С. 30).

К. Цатурян: «...Работа на электронном рояле в компьютерной студии записи представляет дополнительные возможности для погружения в художественное содержание музыки.

Устранение зависимости от непреодолимых технических трудностей — не столько физических, сколько психологических — ведет к высвобождению и расширению творческого про-

странства в работе учащегося-пианиста. Постоянное участие в созидании “целого” дает глубокое, стойкое удовлетворение, ни с чем не сравнимое ощущение радости и уверенности в собственном постижении музыки» (Цатурян К. Современное электронное фортепиано // Музыка и электроника. 2008. № 1. С. 15).

Гениальный пианист Гленн Гульд, формулируя основные цели пианистического мастерства в книге «Нет, я не эксцентрик!» (Пер. с франц. М.: Классика—XXI, 2003), делится своими творческими находками.

Г. Гульд: *«Прежде всего, я стремлюсь избежать золотой середины, увековеченной на пластинке многими превосходными пианистами. Я считаю, что при записи очень важно подчеркнуть те аспекты, которые освещают данное произведение с совершенно необычной точки зрения».*

«В студийной работе его более всего привлекала возможность многократных повторений разделов произведения для получения желаемого результата, — пишет Габриэла Рой, хранительница электронного архива Г. Гульда, — невозможных в концертной обстановке. Гульд также широко использовал возможности стереозаписи, в частности, распределение в пространстве регистров фортепианной клавиатуры»²³ (Цатурян К. Современное электронное фортепиано // Музыка и электроника. 2008. № 1. С. 11).

Проблеме, связанной с постижением сути музыкального произведения и возможностью интерпретации музыкантом-исполнителем, осознанного и постигнутого музыкального текста посвящено большое количество книг.

Вопрос об осмыслении подлинности выражения трактовки музыкантом-исполнителем музыкального произведения, традициях и авторской интерпретации (текста): индивидуальности, творческой свободе, подмене идеально корректного воспроизведения «буквы» текста чересчур вольным обращением с текстом,

²³ Официальный сайт Г. Гульда в Национальной библиотеке Канады: <http://www.gould.nlc-bnc.ca/egould/htm>.

педантически-точное воспроизведение «каждой ноты» либо чересчур вольное исполнение. — Это вечный вопрос. Однако исполнение подлинного артиста, который проработал, понял, изучил, «прочувствовал» произведение «должно быть свободным и индивидуальным выражением, руководимым лишь общими законами или правилами эстетики — иначе оно «не будет художественным и окажется лишенным жизненной силы» (С. 34).

А. Рубинштейн: *«Сыграйте сперва точно то, что написано; если вы полностью воздали этому должное и затем вам ещё захочется что-нибудь добавить или изменить, что ж, сделайте это»* (цит. по: Гофман И. Фортепьянная игра. Ответы на вопросы о фортепьянной игре. С. 67, 27).

И. Гофман: *«Несомненно, композитор выразил в пьесе все, что знал и чувствовал, когда ее писал. <...> Почему в таком случае не вслушаться в ее специфический язык?»* (Там же. С. 65).

«В некотором отношении исполнение музыкального произведения напоминает чтение книги вслух. Если книгу будет читать нам человек, который ее не понимает, сможет ли она произвести на нас впечатление правдивости, убедительности или хотя бы вероятности? Может ли недалекий человек, читая нам такую книгу, вразумительно передать ее яркие мысли? Если даже такого человека и обучат внешне правильно читать то, смысл чего он не в состоянии постигнуть, чтение все равно не займет всерьез нашего внимания, потому что отсутствие понимания у чтеца наверняка вызовет потерю интереса у нас» (Гофман И. Фортепьянная игра. Ответы на вопросы о фортепьянной игре. С. 33–34).

К. Цатурян: *«В студийной работе учащегося-исполнителя рутинный повтор чудодейственным образом превращается в редакторскую версию пианиста. Именно редакторская версия вызывает необходимость интерпретировать само содержание музыки, находить адекватные средства его воплощения.*

Возможности цифрового рояля с его звуковыми эффектами, компьютерной технологией программной обработки и редактирования звука лежат в иной плоскости, они находятся далеко за пределами “короля инструментов” — акустического рояля. В этом смысле музыкально-дидактическая роль digital piano оказывается значительно важнее его концертных возможностей» (Цатурян К. Современное электронное фортепиано // Музыка и электроника. 2007. № 1. С. 15).

Сегодня очень важно уделить должное внимание зарождающемуся исполнительскому мастерству на новых электронных музыкальных инструментах, очень важно подойти к этому со всей высочайшей степенью ответственности. Следует отметить, что клавишные электронные музыкальные инструменты пока являются наиболее часто используемыми в исполнении и обучении музыкальными инструментами.

«Если же заглянуть вперед, то звучание цифрового рояля и сама игра на нем, по существу, являют зачатки новой музыкальной эстетики. Исполнительский “продукт” сам по себе интересен и интригует слушателя, особенно наших молодых музыкантов. Не исключено, что сегодня звучание электронного фортепиано в сравнении с обычным роялем может показаться музыкальной экзотикой. Но и двести с лишним лет назад клавесинисты так же воспринимали молоточковое фортепиано» (Цатурян К. Современное электронное фортепиано // Там же. С. 11).

Отметим, что процесс вхождения любого нового инструмента не был легким. Так, рассказывают, что «французский просветитель Вольтер, признававший лишь клавесин, скептически прозвал фортепиано “инструментом кастрюльщика”» (цит. по: Цатурян К. Современное электронное фортепиано // Музыка и электроника. 2007. № 4. С. 11).

К. Цатурян: *«Проблема стара как мир. Мы видели, что с ней люди сталкивались ещё в XVIII–XIX веках, когда клавесин с пёрышками постепенно уступал место новому фавориту — фортепиано с молоточками. На самом деле — это всё разные*

инструменты. И звучат они по-разному. И требуют различного исполнительского подхода, иной выучки» (Там же. С. 9).

«Однако возможно уже завтра совершенное электронное фортепиано станет обыденным явлением, как это случилось с акустическим фортепиано — роялем и пианино» (Там же. С. 14).

Приведём высказывания известных музыкантов по обсуждаемому вопросу.

Музыкант и изобретатель, ученый и мастер, Лев Сергеевич Термен закончил Санкт-Петербургскую консерваторию как виолончелист. Наряду с многочисленными своими изобретениями он создал поистине волшебный по тембру звучания электронный музыкальный инструмент — терменвокс. Музыкант, стоящий у истоков электронной музыки, говорил:

Л. Термен: *«Особенно значимы, дороги для человека мелодии и звуки, которые он слышал в далеком прошлом, <... > [они] приобретают положительный эстетический смысл. А это значит, что звуки электромузыкальных инструментов, воспринятые детским ухом, станут через десяток лет эстетическим материалом музыки для огромного множества слушателей» (цит. по: Назайкинский Е. В. Звуковой мир музыки. М.: Музыка, 1988. С. 82).*

Интересно и показательно в этом отношении мнение выдающегося музыканта Михаила Плетнёва. На вопрос К. Цатуряна: «Смогли бы Вы поддержать профессиональных пианистов, играющих сегодня на электронном или цифровом рояле?» пианист ответил:

«Конечно. Безусловно, тем более, Вы знаете, что Бах и Бетховен тоже с большим интересом относились ко всем новинкам развития такого инструмента, как рояль. Бах даже сам участвовал в усовершенствовании рояльного механизма. Бетховен написал сонату для появившегося молоточкового рояля Hammerklavier сразу же после его изобретения. Даже стиль

бетховенский менялся в зависимости от того инструмента, на котором он играл. То, что рояль может развиваться и дальше, какие-то новые эффекты в нём появятся, новые возможности — это очень хорошо» (Плетнёв М. Телеканал «Культура», 18.10.05. «Ночной полёт». № 1475, прямой эфир: www.tvkultura.ru).

«Электронный рояль — другой инструмент, он не похож ни на хаммерклавир, ни на акустический рояль. И вообще, различия между клавишным синтезатором и фортепиано гораздо более существенны, чем различия между фортепиано и органом, или фортепиано и аккордеоном. Цифровой рояль — это рояль нового века. Он стремительно совершенствуется. Но, как бы конструкторы ни стремились к совершенству, цифровой инструмент навсегда сохранит свой собственный “голос” — близкий к концертному роялю и, одновременно, чем-то непохожий на него. Именно в этой области музыкальная индустрия переживает сейчас исторический переход, равный по значимости смене клавирина на молоточковое фортепиано в XVIII веке» (Цатурян К. Современное электронное фортепиано // Музыка и электроника. 2007. № 4).

Е. Назайкинский: «История инструментов есть по существу постепенная эмансипация музыки, отделения ее от жизни на благо самой жизни. Это путь, ведущий от прямого слияния тела и звука в синкретичном от природы человеческом голосе к полному отделению звука от человека в органном и фортепианном звучании, затем в электромузыкальных инструментах» (Назайкинский Е. В. Звуковой мир музыки. М.: Музыка, 1988. С. 82–83).

Виктор Пулатович Сраджев в своем докладе на заседаниях международной научно-практической конференции «Современное музыкальное образование»²⁴:

²⁴ В стенах Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена и Санкт-Петербургской государственной консерватории им. Н. А. Римского-Корсакова ежегодно проходит Международная научно-прак-

«Положение принципиально изменилось с появлением цифровых фортепиано. Впервые за многие десятилетия пианисты обрели возможность усовершенствовать и обогатить методы обучения игре. При качестве звучания, вполне сопоставимом с акустическими инструментами такого же класса, цифровые обладают значительно большими возможностями, из-за включения в их конструкцию многочисленных дополнительных устройств. Обратимся к тем из них, которые могут помочь педагогу в развитии образно-колористического мышления исполнителя и в активизации обратной связи.

Даже самые простые цифровые инструменты, помимо фортепианного звука, могут имитировать клавишин, орган, струнные инструменты, электропианино. Исполнение произведений или их фрагментов композиторов XVIII–XIX вв. на “органе или клавишине”, различные колористические эффекты, достигаемые динамическими и артикуляционными изменениями воздействуют непосредственно на восприятие обучающегося. Слуховой опыт юного пианиста обогащается новыми музыкальными впечатлениями, необычными для слуха современного музыканта колористическими эффектами. Это приводит к активизации ассоциативной сферы. В сознании пианиста возникают новые звуковые эталоны, средства музыкальной выразительности. Обогащённые музыкальные представления он переносит в область фортепианной игры, добиваясь ощутимых художественных результатов» (Сраджев В. П. Использование цифровых

тическая конференция «Современное музыкальное образование», учреждённая в 2002 г. В ней совместно с педагогическими вузами и консерваториями из разных регионов России и зарубежья принимали участие представители крупнейших учреждений культуры и образования Санкт-Петербурга, таких как Университет культуры и искусств, Санкт-Петербургская филармония, Союз композиторов России.

Секционная структура конференции отражает широкий спектр научных и педагогических проблем: «Актуальные проблемы современного музыкального образования в системе целостного художественного образования», «Проблемы модернизации профессионального музыкального образования», «Новые информационные технологии в современном музыкальном образовании и творчестве», «Инновационные методики преподавания музыкальных дисциплин в сфере общего и специального музыкального образования».

фортепиано в учебном процессе // Современное музыкальное образование — 2004: Материалы международной научно-практической конференции (26–29 октября 2004 г.). СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2004. Ч. 2. С. 141–142).

Наконец, музыкальный компьютер — новый инструмент музыканта. Петербургский композитор, ученик Д. Д. Шостаковича, музыкант, педагог, ученый Геннадий Григорьевич Белов пишет:

«Доступность компьютерной техники и удобство программного обеспечения создадут невиданные по масштабам условия для музыкального творчества (музыкального “рукоделия”).

На фоне такого массового увлечения многократно возрастёт престиж и качество музыкального образования, содержание которого благодаря компьютеру существенно изменится, станет более высокотехнологичным и интенсивным, гибко настраиваемым на любые специфические задачи. Каждый учитель музыки в специальном лицее или школе (безразлично) в совершенстве будет владеть музыкально-компьютерными технологиями. Конечно, он сможет интересно и увлекательно вести свой предмет, ему совсем нетрудно будет сочинить песенку или танец, сделать полнзвучные аранжировки, сформировать яркий школьный концерт, качественно записать его на цифровой диск и затем дарить своим воспитанникам такую запись на память о прекрасной поре детства и юности.

Как важно, чтобы, по возможности, каждый мог сам попробовать создать в музыке что-то своё, вынести это творение на суд людей (Интернет — прекрасная, по-существу, мировая площадка для опуса, сработанного дома), услышать о своём произведении непредвзятое мнение со всех концов света. Ведь когда в каждой школе, а то и в каждом доме (подобно телевизору в нынешнее время) будет музыкальный компьютер, который поможет скромному, взыскательному музыканту решать в тишине (надев наушники) свои амбициозные звуковые проекты, тщательно доводить свой замысел до высшего совершенства (ведь технических пределов виртуозности компьютер не ведает!) —

тогда многие поймут, что родить великое творение может только талантливый, широко образованный, умелый художник, отнюдь — не машина» (Белов Г. Г., Горбунова И. Б., Горельченко А. В. Музыкальный компьютер — новый инструмент музыканта. СПб.: «СМИО Пресс», 2006. С. 273).

Необходимо также отметить, что в традиционной музыкальной культуре мы привыкли понимать под музыкальным инструментом конкретный физический объект, с помощью которого можно создавать (синтезировать) музыкальные звуки определенного (характерного) тембра. Однако в музыкально-компьютерных технологиях, в электронном музыкальном творчестве понятием «инструмент» определяют более широкую категорию устройств; «музыкальным инструментом» в данном случае может быть и внешний звуковой модуль с клавиатурой, например фирмы Korg (см. рис. 31), и инструмент той же фирмы Korg, но его рэковая модификация (рис. 32) и звуковой модуль, например фирмы Roland (см. рис. 33), содержащий сотни, тысячи «инструментов» («банки» электронных инструментов звуков).



Рис. 31. Клавишная модификация аналогового синтезатора фирмы Korg



Рис. 32. Рэковая модификация аналогового синтезатора фирмы Korg



Рис. 33. Звуковой модуль фирмы Roland

Это также может быть модуль с синтезаторными и сэмплерными возможностями (см. рис. 34).



Рис. 34. Music Sequencer фирмы Yamaha с сэмплерными возможностями

И, наконец, современная рабочая станция, по сути, музыкальный компьютер с музыкальной клавиатурой, имеющий DVD-ROM, «снабжённый» необходимой программной и аппаратной поддержкой (см. рис. 35).



Рис. 35. Рабочая станция фирмы Yamaha — новый электронный музыкальный инструмент

«Электромузыкальные инструменты (ЭМИ), появившиеся в начале XX века, сыграли значительную роль в развитии музыкального искусства, послужив основой формирования новых классов явлений как в сфере его академического направления (электронная, конкретная, магнитофонная, компьютерная, живая электронная музыка), так и массового (рок- и поп-музыка)» (И. М. Красильников).

«Характер звукового материала и роль в формообразовании, в свою очередь, во многом определяют жанры и стили музыки, с которыми преимущественно связано использование того или иного ЭМИ, а также преобладающую форму представления музыкального материала (концертная или студийная)» (И. М. Красильников).

В такой «музыкальный инструмент», изначально содержащий десятки тысяч электронных музыкальных «инструментов», можно загрузить их еще сколько угодно и каких угодно (выбор зависит только от репертуара, тонкости музыкального восприятия исполнителя, его потребностей и художественно-эстетического вкуса).

Композитор, музыковед и автор книг по музыкально-компьютерным технологиям В. Белунцов, отвечая на вопрос, что такое электронный музыкальный инструмент, и отмечая его отличие от традиционного понятия, пишет: «Любой внешний звуковой модуль хочется назвать словом “инструмент”, но это неверно, поскольку он уже содержит в себе несколько десятков инструментов, еще некоторые инструменты могут быть в него загружены дополнительно. Что же в данном случае называют “инструментом”»?

Этим словом называется набор сэмплированных и/или синтезированных звуков и параметров для их воспроизведения, предназначенный для управления с клавиатуры или через MIDI-интерфейс. Один звуковой модуль, внешний или встроенный в звуковую карту, содержит десятки и даже сотни таких наборов, а при наличии ОЗУ они могут быть загружены в него с внешнего накопителя (CD-ROM, DVD-ROM, флоппи-диски, специальные картриджи и пр.). “Инструменты”, загруженные в оперативную

память, могут использоваться так же, как и находящиеся в постоянной памяти» (Белунцов В. Что такое музыкальный инструмент. Отличие от традиционного понятия // Компьютер для музыканта. СПб.: Питер, 2001).

Для управления тембром звука (его модификациями и даже созданием тембра) в современных компьютерных студиях звукозаписи служат особые частотные фильтры (см. рис. 36), в основе которых лежат «**электронные резонаторы**». Они настроены на различные частоты, повышающие или понижающие уровень разных призвуков по желанию звукорежиссёра.

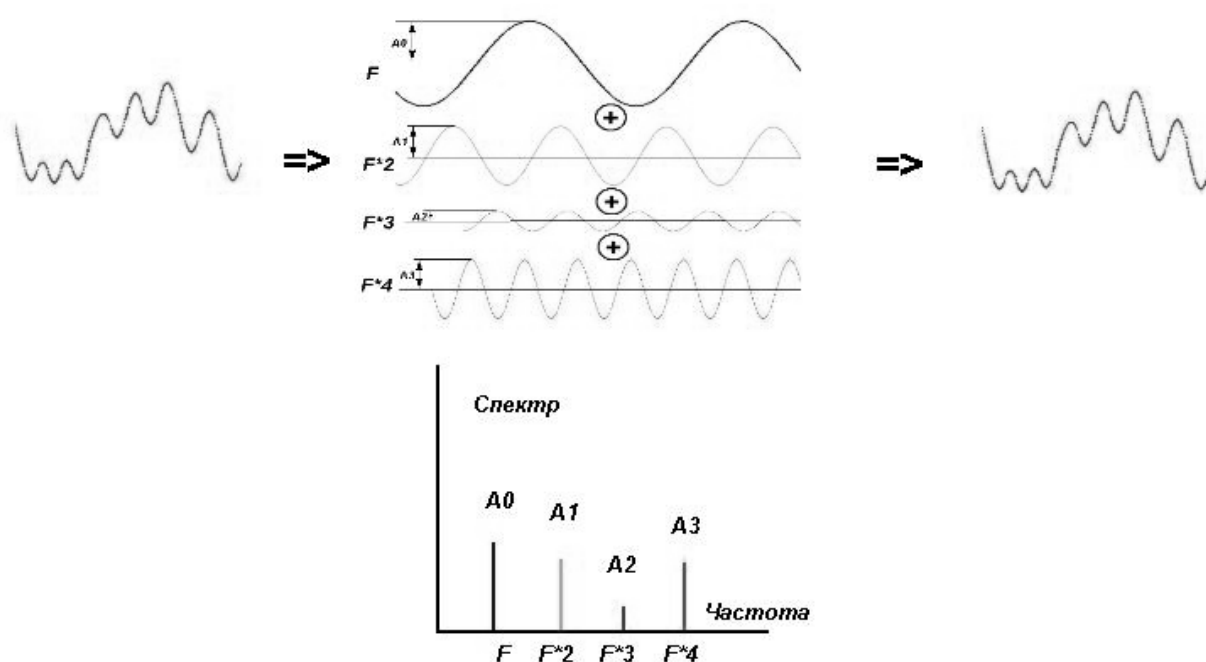


Рис. 36. Применение частотных фильтров

Широкое применение сегодня нашли многополосные частотные фильтры — эквалайзеры. С помощью музыкального компьютера очень удобно производить частотную обработку звука и оказывается возможным **искусственное создание тембра** в цифровом виде.

Наконец, само акустическое пространство (т. е. пространственное расположение источников звука), или «звуковая картина», как образно обозначает звучащий мир музыкальных звуков автор популярных изданий звукорежиссёр Динов, становится инструментом композитора, исполнителя, дирижёра: от первых пьес с перемещающимися в акустическом пространстве музыкальными

инструментами Штокхаузена, системами цифровой обработки звука — составной частью оркестра в ансамбле InterContemporain при исполнении сочинения Булеза «Ответ»²⁵ (сам маэстро дирижировал таким оркестром), до партитур электронных сочинений Э. Артемьева, включающего виртуальное пространственное моделирование звука как необходимый элемент звучания музыкального произведения, для исполнения которых необходим «открытый воздух» (Жан-Мишель Жарр) и «планетарные масштабы» Анри Пуссёра.

Таким образом, в роли музыкального инструмента может выступать пространство, которое музыкант способен моделировать с помощью музыкально-компьютерных технологий.

«Для меня самым могучим средством музыки является пространство. Раньше композиторы не задумывались о нём, они зависели от акустики зала. А его можно выстроить, электроника дала возможность. Говорят, развитие музыки зашло в некий тупик: шкала звуков ограничена температурой. Но могучий резерв музыки — пространство, композитор может его “сочинять”: где, как, куда послать звук, откуда он придёт» (Э. Артемьев).

²⁵ «Ответ», или «Респонсорий» (“Repons”). Респонсорий — форма средневековой музыки, основу которой составляет чередование двух хоров.

Акустика помещений и её виртуальное моделирование

Во взаимоотношениях между техникой и музыкой (мы имеем в виду звуковые колебания, создаваемые солистами или оркестром) до недавнего времени основная задача техники заключалась в том, чтобы донести до слушателя без каких-либо искажений всю прелесть и очарование музыкального произведения. Здесь нужно остановиться на двух основных вопросах. Первый — *архитектурная акустика*, т. е. технология проектирования и строительства концертных залов с хорошим звучанием; второй вопрос — воспроизведение звука — технология записи и восстановления звучания музыкального произведения.

Одним из первых ученых, систематизировавших сведения об акустике, в частности об архитектурной акустике, был древне-римский архитектор Витрувий (I век до н. э.), написавший десяти томный трактат по архитектуре. Работы Витрувия, насыщенные конкретным измерительным и фактологическим анализом, не потеряли своей актуальности и по сей день.

Начало современной науки об архитектурной акустике было положено американским учёным У. К. Сэбином. В 1895 г. ему предложили выявить акустические помехи в лекционном зале только что построенного Музея искусств Фогга в Гарварде.

На основе своих опытов Сэбин сформулировал *три фундаментальных требования*, которым должны удовлетворять любые залы, предназначенные для концертов, лекций и выступлений:

- 1) достаточно громкий звук;
- 2) сохранение относительных интенсивностей одновременно звучащих компонент сложного звука;
- 3) чёткость и разделение как друг от друга, так и от посторонних шумов последовательных звуков речи или музыки при быстрой артикуляции.

Он писал: «Эти три положения являются как необходимыми, так и полностью достаточными условиями хорошей акустики зала. Говоря научно, проблема архитектурной акустики связана с тремя явлениями: *реверберацией, интерференцией и резонансом*. Кроме того, как инженерная проблема она включает в себя вопросы особенностей аудитории с её размерами и материалами, из которых она построена».

Любой звук, возникший в замкнутом помещении, прежде чем затухнуть в результате поглощения стенами, потолком и полом, успевает несколько раз отразиться от их поверхностей.

В результате первым приемника достигает прямой сигнал, а после небольшой паузы — сигнал, однократно отразившийся от стен и других предметов. Как свидетельствует рис. 37, такой сигнал может достичь приемника различными путями, которые обычно незначительно отличаются длиной и соответственно временем следования.

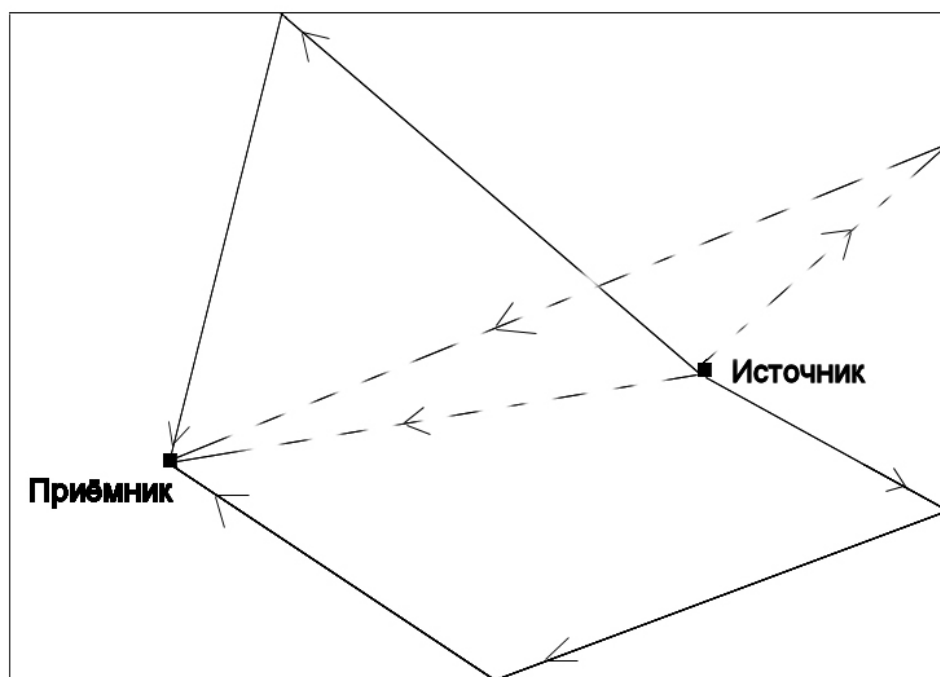


Рис. 37. Схема естественной реверберации

Это же явление образно описывает и В. Белунцов: «Поскольку звуковой сигнал продолжает “летать” по помещению, отражаясь от стен и мебели, до тех пор, пока окончательно не затухнет, приемника будут постепенно достигать вторичные, третичные и последующие его отражения. Появление сигналов может быть настолько частым, что они “практически сольются в один постоянный, но затухающий “шлейф”» (Там же. С. 96–97).

В небольшом лекционном зале поглощение может быть столь малым, что произнесенное обычным тоном слово продолжает звучать в течение 5 и более секунд из-за многократного отражения от стен, потолка, пола. Такое явление Сэбин назвал *реверберацией*. За время 5 с даже медленно говорящий человек может произнести несколько слов, поэтому слушать речь в таком зале трудно.

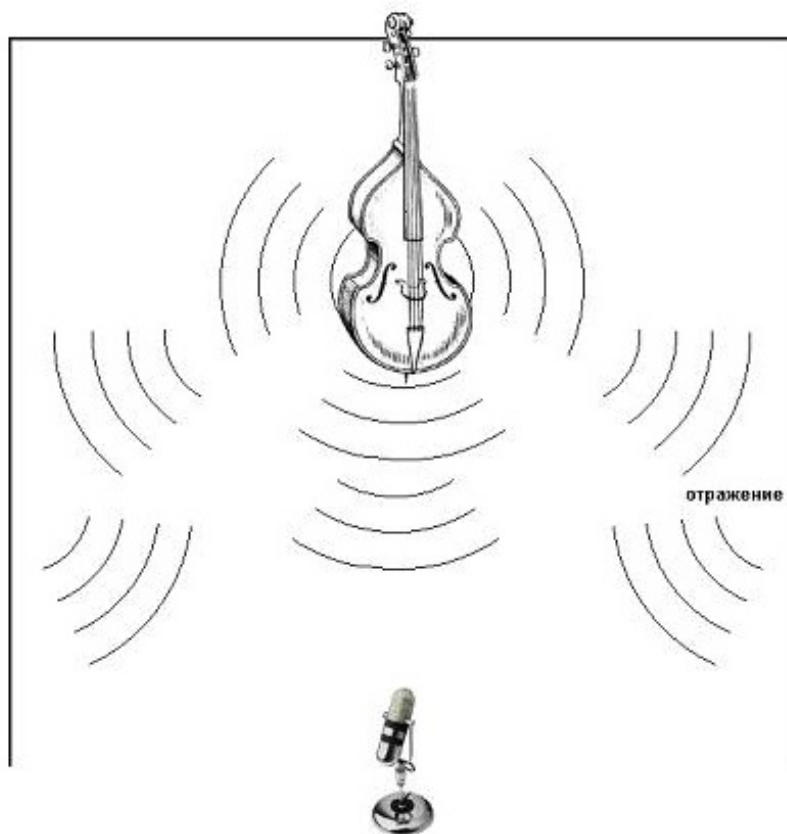


Рис. 38. Реверберация

Сэбин, будучи членом комиссии по проектированию нового здания Бостонского мюзик-холла (известного ныне как Симфонический зал), попытался сделать время реверберации в нём таким же, как в старинном концертном зале Лейпцига Гевандхаузе:

при полной аудитории оно чуть превышало 1 с. Открытый 15 октября 1900 г. Бостонский мюзик-холл, построенный с учетом всех требований акустики, до сих пор остается в числе самых лучших концертных залов мира, предназначенных для исполнения симфонической музыки.

Ещё до начала строительства можно рассчитать время реверберации. Однако трудность заключается в выборе оптимального времени, и наука здесь не в силах помочь, так как выбор относится к области субъективного восприятия. *Было принято оценивать время реверберации по наилучшему восприятию некоторых музыкальных звуков.* Как было установлено, идеальное время реверберации существенно зависит от того, для каких целей предназначен зал.

Так, например, зал для декламаций и камерной музыки должен иметь очень малое время реверберации (менее 1 с), в залах же, предназначенных для концертов симфонических оркестров, оно составляет от 1 до 2 с, а предназначенных для концертов хора в сопровождении — около 2,5 с (таково время реверберации в церкви Св. Фомы в Лейпциге). Все эти значения определены для полной аудитории. Интересно отметить, что, например, в лондонском Ройял фестивал-холле сидения спроектированы так, что они одинаково поглощают звук, независимо от того, сидят ли на них слушатели или нет. Подобным же образом строятся все современные концертные залы.

Время реверберации изменяется с изменением частоты звука. Это связано с тем, что поглощение звука любым конкретным материалом зависит от частоты конкретной звуковой волны. Таким образом, подбирая материалы для постройки зала, можно добиться того, что он будет хорошо «звучать» либо на высоких, либо на низких частотах. Можно также получить хорошее звучание в целой полосе частот, именно той, которая характерна для данного музыкального произведения.

Следует отметить, что звукозапись всегда несёт информацию не только об источнике звука, но и обо всех характеристиках помещения, в котором производится запись, поскольку в точку размещения микрофона «приходит» не только основная звуковая волна, а еще и добавочная, отраженная от стен, потолка, пола и других предметов, находящихся в помещении (естественная реверберация помещения). Естественной реверберацией очень

трудно управлять. Для улучшения акустических качеств помещения применяются различные меры: от обивки помещения звукопоглощающим материалом до его полной перестройки.

Однако звук без отражений воспринимается как механический, неестественный, поэтому, например, в современных условиях в электронной студии звукозаписи добавляют искусственную реверберацию с помощью компьютерных программ обработки звукового сигнала.

Но это ещё не все условия для создания зала с идеальной акустикой. При их сооружении необходимо учитывать еще два явления: **интерференцию** и **резонанс**. Их продолжительность значительно меньше, нежели реверберация. Интерференция происходит тогда, когда прямая волна, идущая от источника, встречается с волной, отраженной от одной из стен. Если две звуковые волны совпадают по фазе, то они усиливают друг друга — слушатель слышит более громкий звук. Если же фазы двух волн противоположны, то волны способны полностью погасить друг друга. На самом же деле интерференция звука происходит несколько иначе. Во-первых, звук от источника «размазан» почти по всей комнате. Во-вторых, поскольку интерференционная картина различна для разных частот, некоторые музыкальные звуки вообще могут не гаситься. Обычно архитекторы стараются сделать отраженный звук рассеянным, в результате чего в любую точку комнаты со всех сторон приходят отраженные волны с совершенно рассогласованными фазами. Как правило, это достигается либо тем, что стены комнаты делают с выступами и нишами, либо покрывают их материалом, поглощающим звук.

Если нужно познакомиться с эффектом резонанса, то это можно сделать, пропев в помещении, облицованном кафелем, какую-нибудь мелодию. Любое помещение имеет некую критическую частоту звука, при которой возникает резонанс. Причем у помещений с разными геометрическими размерами будут разные критические частоты. Эту частоту называют *частотой резонанса*, или *собственной частотой*. Резонанс чаще всего возникает именно на низких частотах, так как длина волны низких звуков сравнима с длиной и шириной помещения. Кстати, бас-гитаристы, репетирующие дома, отлично знакомы с таким эффектом: некоторые взятые на инструменте ноты неожиданно усиливаются, при этом начинают угрожающе звенеть стекла в окнах и шкафах.

И когда в закрытом помещении возникает звук, то он усиливается на частотах, равных или близких собственным частотам этого помещения. Степень возбуждения колебаний различна для разных частот. Она зависит от положения источника в комнате и, что более важно, от того, насколько близки частоты источника к собственным частотам помещения. Резонансные гармоники продолжают еще долго звучать и после того, как все другие уже давно погасли. Поэтому перед архитекторами встает задача подавить такие колебания, прибегая к различным «архитектурным уловкам».

Вот как описывает этот процесс Г. Гельмгольц (рис. 39): «Всего лучше пользоваться для этого опыта камертоном, укреплённом на резонаторе, а другим камертоном того же строя возбуждать в воздухе звуки. Если мы ударим по одному из них, то через несколько секунд мы услышим, что звенит и другой. Когда же мы прекратим звучание первого камертона (приложив к нему палец), второй все еще будет издавать звук. Если же отнять палец от первого, то второй в свою очередь приведет его опять в движение, и т. п.

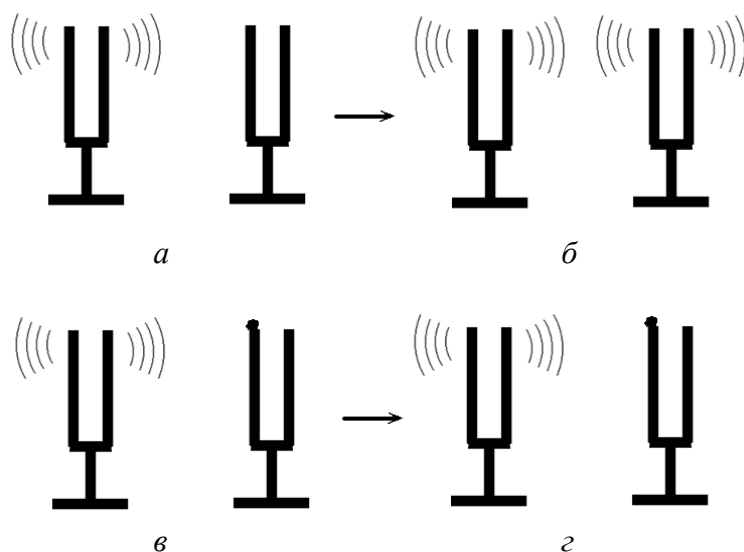


Рис. 39. Опыт с камертонами (по Г. Гельмгольцу)

Но если наклеить немного воску на концы одного камертона, благодаря чему высота его измениться едва заметным образом для нашего уха, то созвучие второго камертона прекратится, потому что тогда периоды колебания уже не будут равны и толчки, сообщаемые колебаниями воздуха, которые в свою очередь вы-

званы одним камертоном, другому камертону, хотя и будут некоторое время иметь одно направление с колебаниями его концов, но скоро будут замедлять движение, вызванное предыдущими толчками» (Гельмгольц Г. О физиологических причинах музыкальной гармонии. СПб., 1896).

Существует ещё одно явление, которое необходимо учитывать при проектировании театральных и концертных помещений. Это — эхо.

Эхо — это отражение звука от препятствий, в результате которого мы повторно слышим первоначальный звук. Для того чтобы отчетливо различать два отдельных звука, необходимо, чтобы они были разделены во времени, по крайней мере, на 0,63 с. Если же интервал времени меньше, отраженный звук усиливает первоначальный, и создается картина, аналогичная реверберации.

Рассмотрим известный пример. В Лондоне в 1871 г. был открыт Ройял Альберт-холл (рис. 40). Этот зал имел весьма серьёзные акустические недостатки: время реверберации оказалось чрезмерным даже при полной аудитории.

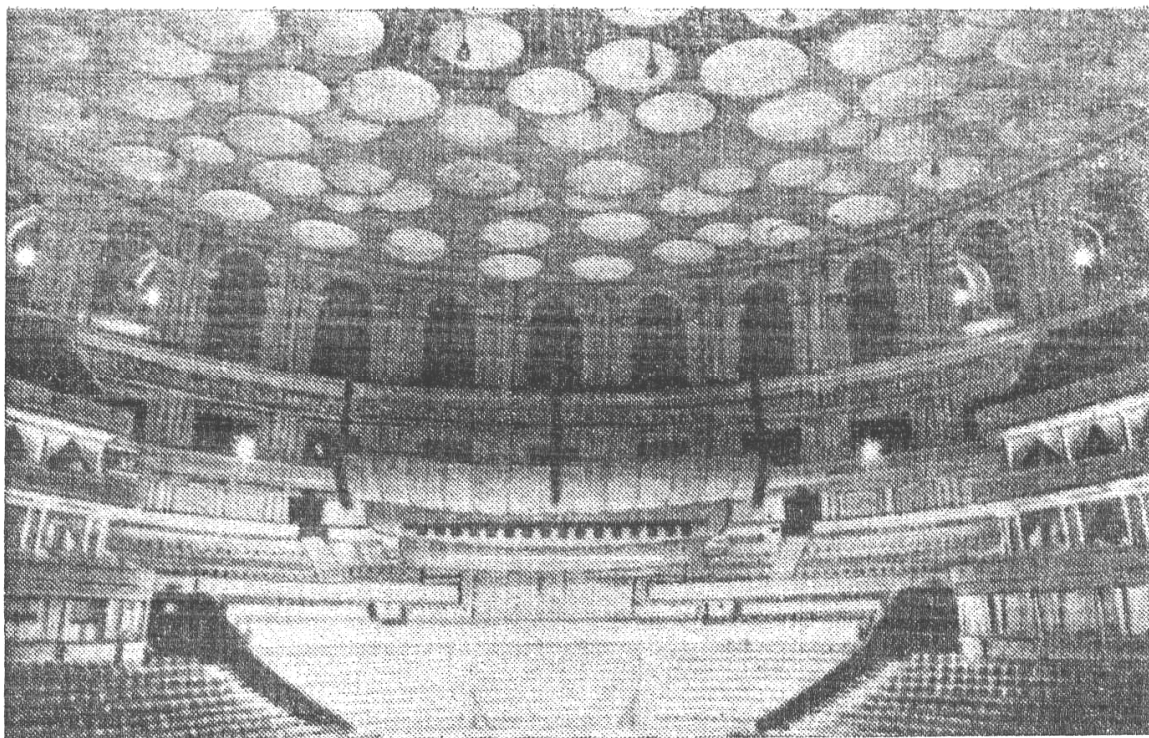


Рис. 40. Ройял Альберт-холл

Но ещё более существенной была проблема эха. Потолок зала действовал, словно гигантская фокусирующая линза, и в некото-

рых местах эхо достигало такой высокой интенсивности, что слушатели испытывали болезненные ощущения. Сплошными линиями на рис. 41 показаны пути отраженных сигналов, которые они проходят за равные промежутки времени. Слушатели первого ряда через $\frac{1}{5}$ с после восприятия прямого звука слышали отраженный. Подобный эффект близко связан с интерференцией, о которой мы уже говорили. Полотно из тяжелой ткани (пунктирная линия) уменьшило эхо и время реверберации в этом зале.

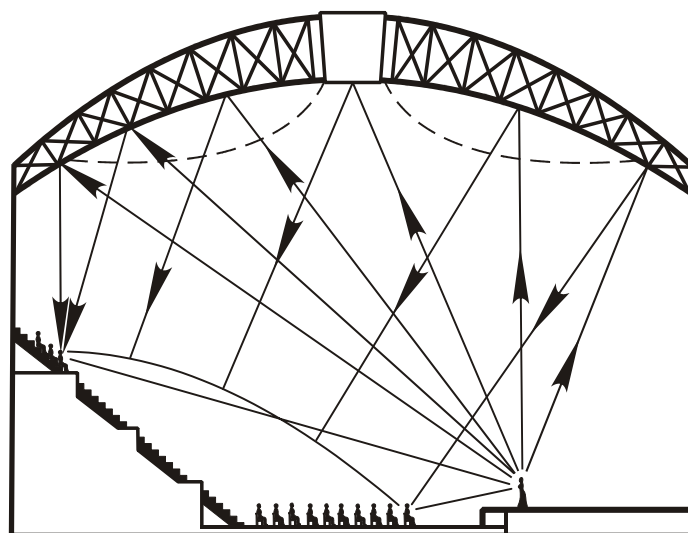


Рис. 41. Схема, показывающая, как в результате отражения звука от куполообразного потолка возникает серия эхо

Часто акустические свойства проектируемых аудиторий изучаются на моделях. Изготавливаются макет будущего зала и маленькие манекены людей, позволяющие исследовать акустические свойства пустой и заполненной аудитории, а волновая картина звукового поля фиксируется микрофонами.

Длина волны звука также уменьшается во столько раз, во сколько уменьшены размеры всего зала. Чтобы исследовать изменения качества звучания модели, применяют различные преграды, диффузоры и отражатели. Опыты такого рода обычно проводят в помещениях, стены которых полностью поглощают звук, что позволяет исключить влияние внешних факторов на акустику изучаемого объекта. XXI век полностью вытеснит такое дорогостоящее моделирование, поручив эти сложнейшие расчёты технологиям виртуального компьютерного моделирования.

Детальное понимание всех физических процессов, влияющих на распространение звуков в помещениях, является очень важ-

ным в работе звукорежиссёра (во времена Сэбина, видимо, такого понятия не было, и вся «тяжесть» звукорежиссёрской работы падала на плечи архитектора, конструирующего данный концертный зал, и исполнителя, учитывающего его акустические особенности).

Современные музыкально-компьютерные технологии позволяют «раздвинуть» стены концертных залов, дают возможность представить музыкальные композиции динамического плана. Сегодня композитор может «оперировать» пространством, его объёмом, «звуковым полем», создавая необходимую ему «звуковую картину».

«Одним из наиболее важных параметров современной Новой музыки является параметр музыкального пространства. То есть пространственная локализация оказывается столь же принципиально важной, как и его высотная позиция, продолжительность, громкость, тембр и т. д. И в этом отношении электронная музыка обнаруживает совершенно особые возможности, а именно возможности сочинения “пространственной композиции” необыкновенно разнообразно и с большой точностью» (Просняков М. Живая легенда электроники. Отец «Техно» в музыке // Музыка и электроника. 2004. № 4).

«Многослойная пространственная композиция означает следующее: звук может не только двигаться вокруг слушателя на стабильном расстоянии от него, но также отодвигаться от слушателя, уходить вдаль и придвигаться, находиться в непосредственной близости от него» (К. Штокхаузен).

«Я почувствовал, что началась новая эра с совершенно иными методами композиции <...>. Я сочинял так, как если бы я был астрономом из другого мира, реорганизуя планеты и звуки, а также циклы и временные пропорции» (К. Штокхаузен).

Заключение

С середины 90-х гг. XX столетия, с момента, когда компьютеры стали способны полноценно обрабатывать звуковую информацию в реальном времени, появились новые методы интерактивного взаимодействия пользователя с музыкальной моделью, сформировались новые взгляды на компьютер как на инструмент музыканта. Получили развитие направления, связанные с анализом и моделированием процесса музыкального творчества, которые открывают новые возможности как в области теории музыки, так и психологии музыкального творчества в целом.

В последнее время обозначился значительный интерес музыкантов к музыкально-компьютерным технологиям, в частности к электронной музыке: многогранность, глобальная применимость электронной музыки дают новые, по сути, безграничные возможности самореализации, стимулируют стремительное развитие интеллекта, поднимая обучение на новый уровень. Совместимость электронной музыки с традиционными музыкальными технологиями создает условия для преемственности музыкальных эпох и стилей, их взаимопроникновения и синтеза, укрепляя интерес к музыкальной культуре в целом.

Успех в современном использовании подобных систем лежит в интеграции всех компьютерных возможностей (символьный и численный интерфейс, встроенная графика, музыка, мультипликация, анимация, базы и банки данных и т. д.).

Всё это требует, с одной стороны, подготовки музыкантов, разбирающихся в современных мультимедийных технологиях; с другой же стороны, необходима подготовка специалистов технического профиля, имеющих основы общего музыкального

образования и владеющих знаниями в области программирования звука, звукосинтеза, аудиоинжиниринга, звукотембрального программирования, моделирования музыкально-творческих процессов и профессионально владеющих технологиями студийной звукозаписи, компьютерными программами, специалистов, способных заниматься моделированием как одним из перспективных методов объективного исследования музыкального творчества.

Указатель имен

Алдошина Ирина Аркадьевна — российский учёный-акустик, один из видных отечественных специалистов в области музыкальной акустики, доктор технических наук, профессор, председатель Санкт-Петербургской секции международного общества AES (Audio Engineering Society), почетный член AES, член Координационного Совета по акустике РАН.

Альбер Эжен д' (1864–1932) — немецкий пианист и композитор французского происхождения, ученик Ф. Листа.

Антейл (Энфел) Джордж (1903–1959) — американский композитор, один из видных представителей авангардных течений в музыке первой половины XX в.

Аристоксен из Тарента (ок. 330 — 270 до н. э.) — древнегреческий философ, ученик Аристотеля, автор первых классических работ в области теории музыки.

Арон Пьетро (ок. 1480 — ок. 1550) — итальянский музыкальный теоретик эпохи Возрождения.

Артемов Эдуард Николаевич (род. 1937) — российский композитор, один из основателей отечественной школы электронной музыки

Афанасьев Валентин Владимирович (род. 1945) — художник, музыкант, композитор, автор оригинальной цвето-звуковой системы.

Бах Иоганн Себастьян (1685–1750) — великий немецкий композитор, органист, один из крупнейших представителей европейской музыки первой половины XVIII в., оказавший огромное влияние на последующее развитие музыкального искусства.

Белов Геннадий Григорьевич (род. 1939) — российский композитор, музыковед, педагог.

Белунцов Валерий Олегович (1969–2006) — советский и российский композитор, звукоинженер, пианист, компьютерный писатель,

Бизе, Жорж (Александр Сезар Леопольд) (1838–1875) — французский композитор, один из классиков французской музыки XIX в.

Бламлейн (Блюмлейн) Алан Дауэр (1903–1942) — английский инженер-электронщик, автор изобретений в области телекоммуникаций, звукозаписи, стерео, телевидения и радаров.

Блэктон Джеймс Стюарт (1875–1941) — американский режиссёр и продюсер, один из пионеров графической мультипликации.

Бузони Данте Микеланджело Бенвенуто Ферруччо (1866–1924) — итальянский пианист, композитор, музыкальный педагог.

Булесз Пьер (род. 1925) — французский композитор, дирижёр, пианист, один из видных представителей музыкального авангарда второй половины XX в.; в 1975–1991 гг. возглавлял созданный им в Париже Институт исследований и координации музыкально-акустических проблем (IRCAM).

Бюлов Ханс Гвидо фон (1830–1894) — немецкий пианист, дирижёр, композитор, музыкальный писатель.

Вагнер Вильгельм Рихард (1813–1883) — немецкий оперный композитор, дирижёр, драматург, музыкальный критик, публицист.

Варез Эдгар (1883–1965) — американский композитор и дирижёр французского происхождения, один из пионеров электронной и электроакустической («конкретной») музыки.

Веберн Антон (фон) (1883–1945) — австрийский композитор, дирижёр, представитель «Новой венской школы».

Веркмайстер Андреас (1645–1706) — немецкий органист, композитор и музыкальный теоретик.

Вышнеградский Иван Александрович (1893–1979) — русский и французский композитор, один из видных представителей микротоновой музыки.

Гайдн Франц Йозеф (1732–1809) — великий австрийский композитор, представитель венской классической школы, один из основателей жанров симфонии и струнного квартета.

Галеев Булат Махмудович (1940–2009) — доктор философских наук, профессор, один из видных отечественных специалистов в области теории и практики светомузыкального искусства и ряде смежных областей теоретического и экспериментального искусствознания.

Гальстон Готфрид (1879–1950) — австрийский пианист, ученик Т. Лешетицкого; с 1927 г. жил в США.

Гарбузов Николай Александрович (1880–1955) — российский и советский ученый-акустик и музыкант-теоретик, автор теории зонной природы слуха

Гельмгольц Герман фон (1821–1894) — немецкий физик, физиолог, математик, музыкальный исследователь.

Герцман Евгений Владимирович — российский музыковед, доктор искусствоведения, профессор, один из крупнейших отечественных специалистов в области изучения античного и византийского музыкального искусства.

Гилельс Эмиль Григорьевич (1916–1985) — советский пианист, один из крупнейших представителей отечественного пианистического искусства XX в.

Годовский Леопольд (1870–1938) — польско-американский пианист, композитор и педагог.

Горовиц Владимир Самойлович (1903–1989) — русский и американский пианист, один из крупнейших пианистов XX в.

Гофман Иосиф (Юзеф) (1876–1957) — американский пианист польского происхождения, ученик А. Г. Рубинштейна.

Гризе Жерар (1948–1998) — французский композитор, один из основателей течения спектральной музыки, один из видных деятелей института IRCAM в 80–90-е гг. XX в.

Грюнфельд Альфред (1852–1924) — немецкий пианист и композитор, работал в Австрии.

Гульд Гленн Херберт (1932–1982) — канадский пианист; наиболее известен интерпретациями музыки И. С. Баха; с 1964 г. прекратил давать концерты и сосредоточился на звукозаписи своих выступлений.

Дебюсси Клод (1862–1918) — французский композитор, пианист, дирижёр, музыкальный критик; оказал своим творчеством значительное воздействие на европейское музыкальное искусство XX в.

Динов Виктор Григорьевич — российский звукорежиссёр, один из видных отечественных специалистов в области звукорежиссуры

Дюфур Юг (род. 1943) — французский композитор и философ, один из видных представителей школы спектральной музыки.

Жарр Жан-Мишель (род. 1948) — французский композитор, активно работающий в различных жанрах электронной музыки; известен также как постановщик музыкально-световых представлений.

Заливадный Михаил Сергеевич (род. 1946) — советский и российский музыковед, кандидат искусствоведения, автор работ по вопросам взаимодействия музыки, математики и информатики; один из организаторов студии электронной музыки при Санкт-Петербургской консерватории.

Зауэр Эмиль фон (1862–1942) — немецкий пианист, композитор, педагог; ученик Н. Г. Рубинштейна и Ф. Листа.

Зилоти Александр Ильич (1863–1945) — русский пианист, дирижёр, музыкально-общественный деятель, ученик Ф. Листа; с 1919 г. жил за рубежом (с 1924 г. в США)

Казанцева Людмила Павловна — российский музыковед, один из видных отечественных специалистов в области теоретического музыкознания.

Карильо Хулиан Трухильо (1875–1965) — мексиканский композитор, дирижёр, скрипач и музыкальный теоретик; один из первых авторов микроновых произведений.

Карреньо Мария Тереза (1853–1917) — венесуэльско-американская пианистка и композитор; с 1886 г. жила преимущественно в Европе.

Кейдж Джон Милтон (1912–1992) — американский композитор и теоретик, один из видных представителей американского музыкального авангарда XX в.

Козут Геннадий Александрович (род. 1944) — украинский музыковед, автор первой монографии на русском языке, посвященной проблематике микротоновой музыки (Киев, 2005)

Конен Валентина Джозефовна (1909–1991) — советский музыковед, видный представитель отечественного исторического музыкознания второй половины XX в.

Корто Альфред Дени (1877–1962) — французский пианист, педагог и музыкально-общественный деятель.

Красильников Игорь Михайлович — российский композитор, музыковед, педагог; один из видных отечественных специалистов в области электронной музыки

Ксенакис Янис (1922–2001) — французский композитор и архитектор греческого происхождения; один из видных представителей музыкального авангарда второй половины XX в.; известен также практическими опытами в области светомузыкального искусства.

Лаплас Пьер-Симон (1749–1827) — французский математик и астроном; один из создателей теории вероятностей; известен также работами в области небесной механики, дифференциальных уравнений и ряде других областей математики и астрономии.

Лассо Орlando (ок. 1532–1594) — нидерландский композитор. Один из крупнейших мастеров хоровой полифонии в музыке второй половины XVI в.

Лешетицкий Теодор (в России — *Фёдор Осипович*) (1830–1915) — польский пианист и педагог, ученик К. Черни; в 1862–1878 гг. — профессор Петербургской консерватории.

Лист Ференц (Франц) (1811–1886) — венгерский композитор, пианист, педагог, дирижёр, публицист, один из крупнейших представителей музыкального романтизма.

Лурман Баз (настоящее имя *Лурманн Марк Энтони*) (род. 1962) — австралийский режиссёр, сценарист, актёр и продюсер.

Маршал Роб (род. 1960) — американский кино- и театральный режиссёр и хореограф,

Маттьюз Макс Вернон (1926–2011) — американский инженер, один из пионеров в области компьютерной музыки; автор MUSIC — первой широко используемой программы для генерации звука.

Медкова Майя — выпускница социологического факультета МГУ; автор и администратор сайтов, посвящённых музыкальному театру.

Мерсенн Марен (1588–1648) — французский музыкальный теоретик, философ, теолог, физик, математик,

Мессиан Оливье (1908–1992) — французский композитор, органист, музыкальный теоретик, педагог.

Миттеран Фредерик (род. 1947) — французский кинорежиссёр, актёр, продюсер и сценарист.

Московская Светлана Витальевна — российский искусствовед, педагог, художница; в 1990-е гг. — директор экспериментальной художественной студии «Звук и цвет».

Моцарт Вольфганг Амадеус (Амадей) (1756–1791) — великий австрийский композитор, инструменталист и дирижёр, представитель венской классической школы

Моцарт Иоганн Георг Леопольд (1719–1787) — австрийский композитор, дирижёр, педагог и скрипач, отец и учитель В. А. Моцарта.

Мурзин Евгений Александрович (1914–1970) — советский инженер-конструктор. Создатель электронного синтезатора звуков «АНС»; в 1967–1970 гг. директор Экспериментальной студии электронной музыки в Москве.

Мюрай Тристан (род. 1947) — французский композитор и педагог; в 1980–1990-е гг. — один из видных деятелей института IRCAM.

Назайкинский Евгений Владимирович (1926–2006) — советский и российский музыковед, ученик Н. А. Гарбузова; один из видных представителей отечественного теоретического музыкознания второй половины XX в.

Нейгауз Генрих Густавович (1888–1964) — российский советский пианист, педагог, создатель одной из ведущих пианистических школ в отечественном исполнительском искусстве XX в.

Ньютон Исаак (1643–1727) — великий английский физик, математик и астроном.

Оголевец Алексей Степанович (1891–1967) — российский советский музыковед, ученик Б. Л. Яворского; наиболее известен как теоретик и экспериментатор в области микротоновой музыки.

Ойстрах Давид Федорович (1908–1974) — советский скрипач, педагог; один из крупнейших представителей отечественного исполнительского искусства.

Окунцов Виктор Федорович (род. 1924) — советский и российский режиссёр, один из создателей студии «Лентелефильм».

Орлова Елена Владимировна — российский музыковед, автор статей о современных цифровых технологиях в музыкальном образовании, директор объединенной редакции журналов «Музыка и электроника» и «Музыка в школе», организатор конференций и конкурсов, посвященных организации обучения исполнительскому мастерству на электронных музыкальных инструментах.

Падеревский Игнацы Ян (1860–1941) — польский пианист, композитор, государственный и общественный деятель, дипломат; с января по декабрь 1919 г. занимал пост премьер-министра и министра иностранных дел Польши.

Паркер Чарли (Чарльз) (1920–1955) — американский джазовый саксофонист и композитор

Пауэр Макс фон (1866–1945) — немецкий пианист и педагог.

Пахман Владимир де (фон) (1848–1933) — российский пианист немецкого происхождения; известен как интерпретатор произведений Шопена; сопровождал игру устными пояснениями, создавшими ему славу «одного из эксцентричайших пианистов».

Пирс Джон Робинсон (1910–2002) — американский инженер, писатель (в жанре научной фантастики), один из видных специалистов в области теории информации; выдвинул ряд перспективных идей, способствовавших развитию компьютерной музыки.

Плетнёв Михаил Васильевич (род. 1957) — советский и российский пианист и дирижёр. С 1978 г. — солист Московской филармонии. С 1990 г. — художественный руководитель и главный дирижер Российского национального симфонического оркестра.

Прокофьев Сергей Сергеевич (1891–1953) — русский советский композитор, один из крупнейших представителей отечественной композиторской школы в музыке XX в.

Просняков Михаил — российский музыковед, руководитель музыкального центра «Институт К. Штокхаузена», автор лекционного курса «Философия и композиция новейшей музыки» в Московской консерватории, преподаватель музыкального училища им. С. С. Прокофьева (Пушкино).

Пуссёр Анри (1929–2009) — бельгийский композитор, музыкальный писатель, педагог; один из видных представителей музыкального авангарда второй половины XX — начала XXI в.; основатель студии электронной музыки в Брюсселе (1958); и руководитель музыкально-электронной студии в Гентском университете (с 1965)

Пуччини Джакомо Антонио Доменико Микеле Секондо Мариа (1858–1924) — великий итальянский оперный композитор, один из классиков веристской оперы конца XIX — начала XX в

Пюньо Рауль (1852–1914) — французский пианист, органист, композитор и педагог.

Рагс Юрий Николаевич (род. 1926) — советский и российский музыковед, ученик и последователь Н. А. Гарбузова; один из крупнейших отечественных специалистов второй половины XX — начала XXI в. в области музыкальной акустики и психоакустики. Автор многочисленных научных работ, посвященных теории музыки в культурологическом, социологическом аспектах, статей о цветомузыке, музыкальном мышлении, эстетике, музыкальной критике, методологии музыковедческой деятельности, о творческой деятельности музыковеда, о музыкальном слухе, об анализе музыкального произведения, методиках преподавания музыкальных дисциплин, музыкально-компьютерных технологиях.

Рамос де Пареха Бартоломео (ок. 1440 — после 1491) — испанский музыкальный теоретик; оказал большое влияние на последующее развитие теоретической мысли и композиторского творчества.

Рахманинов Сергей Васильевич (1873–1943) — русский композитор, пианист и дирижёр, один из крупнейших представителей русской музыкальной культуры конца XIX — первой половины XX в.

Рейзенауэр Альфред (1863–1907) — немецкий пианист, ученик Л. Кёлера и Ф. Листа.

Рерих Елена Ивановна (1879–1955) — жена Николая Константиновича Рериха; известна как автор целостной религиозно-философской системы, названной «Агни-йога», или «Живая Этика»; переводила также на русский язык изданные на Западе труды основательницы теософского учения Е. П. Блаватской.

Рерих Николай Константинович (1874–1947) — русский живописец, театральный художник, археолог, путешественник, писатель, философ, общественный деятель; с 1920-х гг. жил в Индии. Инициатор движения в защиту памятников культуры (в 1954 г. на основе выдвинутых им принципов заключен Международный пакт Рериха по охране культурных ценностей).

Римский-Корсаков Георгий Михайлович (1901–1965) — русский советский композитор, музыковед, музыкально-общественный деятель; представитель микротоновой музыки, автор статьи «Обоснование четвертитоновой музыкальной системы», руководитель «Ансамбля четвертитоновой музыки» в 1925–1932 гг., занимался проблемами музыки в кино.

Римский-Корсаков Николай Андреевич (1844–1908) — русский композитор, педагог, дирижёр, общественный деятель, музыкальный критик; представитель «Могучей кучки» — содружества композиторов и музыкальных деятелей, сыгравшего важную роль в формировании и развитии отечественной композиторской школы.

Рич Бадди (Бернард) (1917–1987) — американский джазовый барабанщик, известный своей виртуозной техникой, мощностью и скоростью исполнения на ударных инструментах.

Рождественский Геннадий Николаевич (род. 1931) — советский и российский дирижер, один из крупнейших представителей дирижерского искусства второй половины XX — начала XXI в.

Розенталь Морис (1862–1946) — польский пианист, ученик Ф. Листа.

Рой Габриэла — хранительница сетевого архива пианиста Г. Гульда в Национальной библиотеке Канады.

Рубинштейн Антон Григорьевич (1829–1894) — русский пианист, композитор, дирижёр, музыкально-общественный деятель; по его инициативе основаны Певческая академия (1858), Русское музыкальное общество (1859), Петербургская консерватория (1862) — первая в России (до 1867 и в 1887–1891, он был её директором и профессором).

Руссоло Луиджи (1885–1947) — итальянский живописец, композитор; представитель итальянского футуризма,

Рыбников Алексей Львович (род. 1945) — советский и российский композитор; автор ряда произведений популярных музыкальных жанров

(в том числе — рок-опера «Звезда и смерть Хоакина Мурьеты», «“Юнона” и “Авось”»), в которых существенную роль играет использование звучания электронных музыкальных инструментов.

Салинас Франсиско (1513–1590) — испанский музыкальный теоретик, органист; один из видных представителей музыкально-теоретической мысли эпохи Возрождения.

Сараджев Константин Константинович (1910–1942) — московский звонарь. Записал звуковые спектры 317 колоколов-благовестников Москвы и Московской области.

Сати Эрик (1866–1925) — французский композитор; сыграл важную роль в формировании ряда авангардных течений в музыке конца XIX — начала XX в.; использовал шумы (в частности, звучание пишущей машинки, автомобильной сирены) в одном из самых известных своих произведений — балете «Парад» (1917).

Сафонов Василий Ильич (1852–1918) — русский пианист и дирижёр; в 1885–1905 гг. — профессор (с 1889 г. — также директор) Московской консерватории; создатель одной из ведущих дореволюционных русских пианистических школ; среди его учеников — А. Н. Скрябин, Н. К. Метнер, Е. А. Бекман-Щербина. Автор руководства по фортепьянной игре «Новая формула» (1916).

Скарлатти Джузеппе Доменико (1685–1757) — итальянский композитор и клавесинист; один из классиков жанра клавирной сонаты в музыке первой половины XVIII в.

Скрябин Александр Николаевич (1872–1915) — русский композитор и пианист; один из ярких представителей романтизма и символизма в русской музыке XIX — начала XX в.; развивал идею светомузыки, впервые в музыкальной практике ввел в симфоническую поэму «Прометей» партию света.

Сраджев Виктор Пулатович (род. 1947) — российский пианист-педагог, доктор искусствоведения (1990), профессор, член-корреспондент Международной академии «Контенант», профессор Нижегородской государственной консерватории.

Стравинский Игорь Фёдорович (1882–1971) — русский композитор, дирижёр и пианист, один из крупнейших представителей мировой музыкальной культуры XX века.

Сэбин Уоллес Клемент (1868–1919) — американский физик, основатель архитектурной акустики.

Термен Лев Сергеевич (1896–1993) — российский физик, музыкант, изобретатель, создатель первого в мире концертного электронного музыкального инструмента — терменвокса (1920).

Ульянич Виктор Степанович — композитор, музыковед, кандидат искусствоведения (1997), заведующий кафедрой компьютерной музыки, акустики и информатики Российской академии музыки им. Гнесиных.

Фелдман Мортон (1926–1987) — американский композитор, один из видных представителей американского музыкального авангарда второй половины XX в.

Флиер Яков Владимирович (1912–1977) — российский пианист, один из крупных представителей отечественной пианистической школы.

Фоккер Адриан Даниэль (1887–1972) — голландский физик, член Нидерландской Академии наук; теорией музыки начал заниматься под воздействием работ Христиана Гюйгенса по 31-ступенной равномерной темперации; автор большого числа микротоновых музыкальных произведений.

Фурье Жан Батист Жозеф (1768–1830) — великий французский математик и физик.

Хаба Алоис (1893–1973) — чешский композитор, теоретик, педагог, общественный деятель. Представитель авангардных направлений 20–30-х гг. XX в. В музыкальных сочинениях и теоретических трудах разрабатывал принципы четвертитоновой системы (а также 1/3–1/6- и 1/12-тоновой), которую выводил из моравского и словацкого музыкального фольклора.

Хачатурян Арам Ильич (1903–1978) — российский и армянский советский композитор, один из крупнейших представителей отечественной композиторской школы в музыке XX в.

Херф Франц Рихтер (1920–1989) — австрийский музыкант, исследователь, композитор; с начала 1970-х гг. исследовал вместе с коллегой и соратником *Рольфом Мэделем* проблемы микротоновой музыки, в частности 72-ступенную равномерную темперацию.

Царлино Джозеффо (1517–1590) — итальянский музыкальный теоретик, эстетик, композитор; один из крупнейших музыкантов-теоретиков эпохи Возрождения.

Цатурян Константин Амаякович — пианист, профессор кафедры музыкальных инструментов Московского педагогического государственного университета, кандидат педагогических наук, член Международной ассоциации фортепиано (ЕРТА, Лондон), Международной ассоциации фортепианных дуэтов (IPDA, Токио), Российского общества интернет-технологий (ROCIT, Москва), почетный профессор Вологодского университета.

Чайковский Пётр Ильич (1840–1893) — великий русский композитор, один из классиков русской музыки XIX в.

Честняков Ефим Васильевич (1874–1961) — российский советский художник, писатель и педагог; один из выдающихся мастеров русского примитивизма.

Чу Стивен (род. 1948) — американский физик-экспериментатор.

Чюрлёнис Микалоюс Константинас (1875–1911) — литовский живописец и композитор; один из видных представителей символизма в изобразительном искусстве начала XX в.

Шляпин Фёдор Иванович (1873–1938) — великий русский оперный певец (бас).

Шёнберг Арнольд Франц Вальтер (1874–1951) — австрийский композитор, дирижёр, музыковед и художник, один из наиболее влиятельных деятелей западной музыки XX в.; родоначальник атональной музыки и 12-тоновой системы композиции (известной так же, как «додекафония», или «серийная техника»),

Шеффер Богуслав (род. 1929) — польский композитор и музыковед; один из характерных представителей авангардных течений в музыке второй половины XX века.

Шеффер Пьер (1910–1995) — французский инженер-акустик, композитор, педагог; один из основателей электроакустической музыки (названной им «конкретной музыкой»); в 1948 г. создал при Французском радио «Группу музыкальных исследований», экспериментировавшую в этой области.

Шлик Арнольд (ок. 1455–1525) — знаменитый немецкий органист, автор сочинения «Зеркало органных строителей и органистов» (1511), в котором, в частности, рассматриваются вопросы настройки органа.

Шнабель Артур (1882–1952) — австрийский пианист, композитор и педагог, ученик Т. Лешетицкого

Штокхаузен Карлхайнц (1928–2007) — крупнейший современный немецкий композитор, исполнитель (дирижер и звукорежиссёр), а также теоретик музыки, оказавший значительное влияние на развитие музыкального искусства и культуры второй половины XX — начала XXI в.

Штраус Рихард (1864–1949) — немецкий композитор и дирижер, один из видных представителей эпохи позднего романтизма.

Шулер Гантер (Гюнтер) (род. 1925) — американский валторнист, композитор, руководитель оркестра, один из лидеров «третьего течения», крупнейший исследователь джаза.

Шутко Даниил Владимирович (род. 1975) — российский музыковед, кандидат искусствоведения, доцент, Санкт-Петербургской государственной консерватории; автор исследований по проблематике спектральной музыки.

Щедрин Родион Константинович (род. 1932) — российский композитор, один из видных представителей отечественной композиторской школы, в 1973–1990 гг. — председатель Союза композиторов Российской Федерации.

Использованная литература

Алдошина И. А., Приттс Р. Музыкальная акустика: Учебник. СПб.: Композитор — Санкт-Петербург, 2006.

Афанасьев В. В. Светозвуковой музыкальный строй: элементарная теория аудиовизуальных стимулов. М.: Музыка, 2002.

Белов Г. Г., Горбунова И. Б., Горельченко А. В. Музыкальный компьютер (новый инструмент музыканта): Учебное пособие для учащихся 10–11-х классов общеобразовательных учреждений. СПб.: СММО Пресс, 2006.

Белунцов В. Компьютер для музыканта. М.: Попурри, 2000.

Бьюик П. Живой звук. РА для концертирующих музыкантов / Пер. с англ. М.: Шоу-Мастер, 1998.

Ванечкина И. Л. Художественные эксперименты СКБ «Прометей» под руководством Б.М. Галеева // Планета Галеев. Статьи, воспоминания, документы. Казань: КГК, 2010. С. 36–80.

Галеев Б. М. Музыкальная композиция методом рисования // Электронная технология и музыкальное искусство. Новосибирск: НГК, 1990. С. 51–54.

Галеев Б. М. Предисловие // Пространственная музыка: история, теория, практика. Казань: ФЭН, 2004. С. 3–4.

Галеев Б. М., Скороходов В. А. Из рисунка — в мелодию // «Синестезия: содружество чувств и синтез искусств»: Материалы межд. научно-практ. конф. 2008. Казань: КГТУ, 2008. С. 236–241.

Гельмгольц Г. О физиологических причинах музыкальной гармонии. Соч. Т. 2. СПб.: Тип-я А. А. Пороховщикова, 1896 г. (Издание журнала «Научное обозрение»).

Гельмгольц Г. Учение о слуховых ощущениях как физиологическая основа для теории музыки. СПб., 1875.

Горбунова И. Б. Информационные технологии в музыке. Т. 1: Архитектоника музыкального звука: Учебное пособие. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009.

Горбунова И. Б. Информационные технологии в музыке. Т. 2: Музыкальные синтезаторы: Учебное пособие. Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2010.

Горбунова И. Б. Информационные технологии в музыке. Т. 3: Музыкальный компьютер: Учебное пособие. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2011.

Горбунова И. Б. Информационные технологии в современном музыкальном образовании // Современное музыкальное образование — 2011: Материалы межд. научно-практич. конф. / Под общ. ред. И. Б. Горбуновой. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2011. С. 30–34.

Горбунова И. Б. Информационные технологии в художественном образовании // Философия коммуникации: интеллектуальные сети и современные информационно-коммуникативные технологии в образовании / Под ред. С. В. Клягина, О. В. Шипуновой. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. С. 192–202.

Горбунова И. Б. Музыкально-компьютерные технологии — новая образовательная творческая среда // Universum: Вестник Герценовского университета. 2007. № 1. С. 47–51.

Горбунова И. Б. Музыкально-компьютерные технологии в общем и профессиональном музыкальном образовании // Современное музыкальное образование — 2004: Материалы межд. научно-практич. конф. Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербургская государственная консерватория им. Н. А. Римского-Корсакова. СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2004. С. 52–55.

Горбунова И. Б. Музыкально-компьютерные технологии в системе современного музыкального воспитания и образования // Педагогика и психология, культура и искусство: Материалы VII Межд. научно-практ. конференции «Педагогика и психология, культура и искусство: проблемы общего и специального гуманитарного образования». Министерство образования и науки Российской Федерации; Министерство культуры республики Беларусь; НОУ ВПО «Российский университет» (Рос НОУ) Климовский филиал; УО «Белорусский государственный университет культуры и искусств» (БГУКИ), 2013. С. 7–12.

Горбунова И. Б. Музыкально-компьютерные технологии как новая образовательная творческая среда // Актуальные вопросы современного университетского образования: Материалы XI Российско-Американской научно-практической конференции. Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Американские советы по международному образованию (АСМО), Университет Северной Айовы (США), Учебно-методическое объединение по направлениям педагогического образования / Отв. ред. Г. А. Бордовский. 2008. С. 163–167.

Горбунова И. Б. Музыкальный звук: Монография. СПб.: Издательство «Союз», 2006.

Горбунова И. Б. Музыкальный компьютер: Монография. СПб.: Изд-во «СМИО Пресс», 2007.

Горбунова И. Б. Новые художественные миры. Интервью профессора РГПУ им. А. И. Герцена И. Б. Горбуновой // Музыка в школе. 2010. № 4. С. 11–14.

Горбунова И. Б. Феномен музыкально-компьютерных технологий как новая образовательная творческая среда // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2004. № 4 (9). С. 123–138.

Горбунова И. Б. Эра информационных технологий в музыкально-творческом пространстве // XII Санкт-Петербургская межд. конф. «Региональная информатика — 2010» («РИ — 2010»), Санкт-Петербург, 20–22 октября 2010 г.: Труды конф. СПОИСУ. СПб., 2010. С. 232–233.

Горбунова И. Б., Горельченко А. В. Технологии и методики обучения: Музыкально-компьютерные технологии в системе начального музыкального образования: Учебное пособие. СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2007.

Горбунова И. Б., Заливадный М. С. Информационные технологии в музыке. Т. 4: Музыка, математика, информатика: Учебное пособие. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2013.

Горбунова И. Б., Заливадный М. С. Музыка, математика, информатика: некоторые педагогические проблемы современного этапа // Современное музыкальное образование — 2013. Материалы межд. научно-практич. конф. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. С. 22–25.

Горбунова И. Б., Заливадный М. С. Музыкально-теоретические воззрения Леонарда Эйлера: актуальное значение и перспективы // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина, 2012. № 4 (Т. 2). С. 164–172.

Горбунова И. Б., Заливадный М. С. О математических методах в исследовании музыки и подготовке музыкантов // Проблемы музыкальной науки. 2013. № 1(12). С. 272–276.

Горбунова И. Б., Заливадный М. С. Опыт математического представления музыкально-логических закономерностей в книге Я. Ксенакиса «Формализованная музыка» // Общество. Среда. Развитие, 2012. № 4(25). С. 135–139.

Горбунова И. Б., Заливадный М. С., Кибиткина Э. В. Основы музыкального программирования: Учебное пособие. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2012.

Горбунова И. Б., Камерис А. Концепция музыкально-компьютерного образования в подготовке педагога-музыканта: Монография. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2011.

Горбунова И. Б., Панкова А. А. Компьютерная музыка. Т. 1: Компьютерное музыкальное творчество: Учебное пособие. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2013.

Горбунова И. Б., Панкова А. А. Компьютерное музыкальное творчество (Теория и практика). LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany, 2014.

Горбунова И. Б., Чибирёв С. В. Компьютерное моделирование процесса музыкального творчества // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2014. № 168. С. 84–93.

Горбунова И. Б., Чибирёв С. В. Музыкально-компьютерные технологии: к проблеме моделирования процесса музыкального творчества: Монография. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2012.

Гофман И. Фортепианная игра. Ответы на вопросы о фортепианной игре / Пер. с англ. Г. А. Павловой. М.: Музгиз, 1961.

Денисов Э. В. Стабильные и мобильные элементы музыкальной формы и их взаимодействие // Денисов Э. В. Современная музыка и проблемы эволюции композиторской техники. М.: Сов. композитор, 1986. С. 112–136.

Динов В. Г. Звуковая картина: Записки о звукорежиссуре. СПб.: Геликон Плюс, 2002.

Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1977.

Заливадный М. С. Графика, музыка, электроника // Электроника, музыка, свет (к 100-летию со дня рождения Л. С. Термена): Материалы межд. научно-практич. конф. Казань: ФЭН, 1996. С. 96–99.

Заливадный М. С. Применение закономерностей слухо-зрительных синестезий в композиции // Синестезия: содружество чувств и синтез искусств: Материалы межд. научно-практ. конф. Казань: КГТУ, 2008. С. 156–159.

Заливадный М. С., Соловьева Н. А. Виртуальные миры на основе графических моделей музыки // Современное музыкальное образование — 2003: Материалы межд. научно-практич. конф. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2003. С. 254–258.

Заливадный М. С., Буриштын Л. Н., Будейкина Т. Б. Декартово произведение множеств и композиция функций: взаимодействие в музыкальном пространстве // Науч. сессия ГУАП. Ч. I. Технич. науки. СПб.: СПбГУАП, 2007. С. 101–102.

Заливадный М. С., Игнатьев М. Б., Решетникова Н. Н. Комплексная модель семантического пространства музыки // VII Международная научно-метод. конф. «Высокие технологии образования и науки». СПб.: СПбГТУ, 2000. С. 57–58.

Заринов Р. Х. Кибернетика и музыка. М.: Наука, 1971.

Когут Г. А. Микротоновая музыка. Киев: Наукова думка, 2005.

Красильников И. М. Электромusикальные инструменты. М.: ООО МЦ «Искусство и образование», 2007.

Курт Э. Основы линейного контрапункта / Пер. с нем. З. В. Эвальд. М.: Музгиз, 1931.

Лосев А. Ф. Музыка как предмет логики // Лосев А.Ф. Из ранних произведений. М.: Правда, 1990. С. 195–392.

Лукач Д. Своеобразие эстетического. В 4 т. М.: Прогресс, 1986. Т. 2.

Моль А. Теория информации и эстетическое восприятие. М.: Мир, 1966.

Н. А. Гарбузов — музыкант, исследователь, педагог. М.: Музыка, 1980.

Назайкинский Е., Рагс Ю. Восприятие музыкальных тембров и значение отдалённых гармоник звука // Применение акустических методов исследования в музыкознании. М.: Музыка, 1964. С. 79–100.

Назайкинский Е., Рагс Ю. О художественных возможностях синтеза музыки и света (на материале «Прометея» А. Скрябина) // Музыкальное искусство и наука. Вып. 1. М.: Музыка, 1970. С. 166–190.

Николенко Д. В. MIDI — язык богов. СПб.: Наука и техника, 2000.

Рабин Д. М. Музыка и компьютер: настольная студия / Пер. с англ. Р. Н. Онищенко и А. Э. Лашковский. Минск: Попурри, 1998.

Рагс Ю. Акустические знания в системе музыкального образования: Очерки. Рязань: Литера М, 2010.

Рагс Ю. Н. О сайте «Трибуна музыканта-педагога» // Современное музыкальное образование — 2004: Материалы межд. научно-практ. конф. (26–29 октября 2004 г.). СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2004. Ч. I. С. 64–67.

Рагс Ю. Перспективы развития курса информатики в музыкальных образовательных учреждениях // Современное музыкальное образование — 2003: Материалы межд. научно-практ. конф. (9–11 октября 2003 г.). СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2003. С. 200–203.

Рагс Ю. Уровни и содержание музыковедческих измерений // Эстетика: информационный подход. Проблемы информационной культуры. Вып. 5. / Ред. Ю. Зубов, В. Петров. М.: Смысл, 1997.

Рустамов А. Р. Звуковой образ пространства в структуре художественного языка звукорежиссуры: Дис. ... канд. искусств. СПб., 2013.

Скребков С. С. Художественные принципы музыкальных стилей. М.: Музыка, 1973.

Смирнов В. В. Игорь Фёдорович Стравинский: Учебное пособие. СПб.: Композитор — Санкт-Петербург, 2008.

Спенс К., Коул Х. Всё о музыке: Популярная энциклопедия. Минск: Белфаксиздатгруп, 1996.

Танеев С. И. Подвижной контрапункт строгого письма. М.: Музгиз, 1959.

Ульянич В. С. Компьютерная музыка и освоение новой художественно-выразительной среды в музыкальном искусстве: Автореф. дис. ... канд. искусствоведения. М., 1997.

Чернышов А. В. Медиамузыка: основы теории, практика и история: Дис. ... д-ра искусств. М., 2014.

Швейцер А. Иоганн Себастьян Бах. М.: Классика-XXI, 2011.

Шубников А. В., Кончик В. А. Симметрия в науке и искусстве. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004.

Эйзенштейн С. М. Вертикальный монтаж // Эйзенштейн С. М. Избр. произв. В 6 т. М.: Искусство, 1964. Т. 2. С. 189–266.

Эйлер Л. Опыт новой теории музыки, ясно изложенный в соответствии с непреложными принципами гармонии / Пер. с лат. Н. А. Алмазовой / Отв. ред. Н. Н. Казанский / Санкт-Петербургский научный центр РАН. — СПб.: Нестор-История, 2007.

Ядова И. В. Визуализация музыки как средство развития образного мышления детей // Галеевские чтения: материалы межд. научно-практ. конф. («Прометей» — 2012). Казань: КГТУ, 2012. С. 342–346.

Afanasiev V. Sound-Colour Musical Structure: An Elementary Theory of Audio-Visual Stimuli. Russia, Saint-Petersburg: «Russkaya Classica», 2004.

Boulez P. Penser la musique aujourd'hui. Genève : Gonthier, 1964.

Erlanger R. d'. La musique arabe, ses règles et leur histoire. T. 3. Safiyu-d-Din. Paris: Geuthner, 1938.

Fechner G. T. Vorschule der Aesthetik. Bd. 1–2. Berlin: Breitkopf&Härtel, 1876.

Jiránek J. Semantická analýza hudby // Hudební věda, 1981. № 4. S. 291–302.

Lissa Z. O wielowarstwowości kultury muzycznej // Muzyka. 1959. № 1. S. 3–22.

Marx A. B. Die Lehre von der musikalischen Komposition. Bd. 1–4. Leipzig: Breitkopf & Härtel, 1837–1846.

Mathews M. W., Pierce J. R. Current Directions in Computer Music Research. Cambridge, Mass., and London: MIT Press, 1989.

Matossian N. Iannis Xenakis, sa vie et son œuvre. Paris : Fayard/Sacem, 1981.

Nordwall T. Krzysztof Penderecki — studium notacji i instrumentacji // Res facta 2. Kraków: PWM, 1968. S. 79–112.

Osgood Ch., Suci J., Tannenbaum P. The Measurement of Meaning. Urbana, Illinois: Illinois University Press, 1957.

Reti R. The Thematic Process in Music (1951). London: Faber & Faber, 1961.

Riemann H. Grundriss der Kompositionslehre. T. 1–2. Leipzig: Max Hesse, 1897.

Schillinger J. The Schillinger System of Musical Composition. V. 1–2. New York: Carl Fischer, 1946.

Slonimsky Nicholas. Music Since 1900. N. Y.: Norton & C^o, 1938.

Soft Computing. Third International Workshop on Rough Sets and Soft Computing. San Diego, CA (USA), 1995.

Stockhausen K. ...wie die Zeit vergeht // Stockhausen K. Texte. Bd. 1. Köln: DuMont Schauberg, 1962. S. 99–139.

Wyschnegradsky I. L'ultra-chromatisme et les espaces non octavians // La Revue musicale, No. 290/291. Paris, 1972. P. 71–141.

Xenakis I. Formalized Music. Thought and Mathematics in Music. Stuyvesant and Hillsdale, N. Y.: Pendragon Press, 1992.

Xenakis I. Musiques formelles // La Revue musicale, № 253/254. Paris, 1963.

Оглавление

Введение	5
Звуковые колебания	7
Музыкальные звуки (основной тон, гармоника, ноты)	16
Спектр звука	47
Сила и громкость звука	60
Стереофония	63
Музыкальный инструмент — синтезатор музыкального звука	69
Акустика помещений и её виртуальное моделирование	96
Заключение	105
Указатель имен	107
Использованная литература	117

Горбунова Ирина Борисовна

АРХИТЕКТОНИКА ЗВУКА

Монография

Публикуется в авторской редакции

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами

Подписано в печать 2014 г. Формат 60 × 84¹/₁₆. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Объем: уч.-изд. л.; усл. печ. л.
Тираж экз. Заказ

Типография
Санкт-Петербург