



ISSN 2658-4824 (Print)

УДК 781.1+534.3

DOI: 10.33779/2658-4824.2019.3.112-128

**И. Б. ГОРБУНОВА**

*Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена  
г. Санкт-Петербург, Россия  
ORCID: 0000-0003-4389-6719  
gorbunovaib@herzen.spb.ru*

**IRINA B. GORBUNOVA**

*Herzen State Pedagogical University of Russia  
St. Petersburg, Russia  
ORCID: 0000-0003-4389-6719  
gorbunovaib@herzen.spb.ru*

**Архитектоника  
музыкального звука**

На рубеже XX и XXI веков возникло новое направление в музыкальном творчестве и музыкальной педагогике, обусловленное быстрым развитием электронных музыкальных инструментов: от простейших синтезаторов до мощных музыкальных компьютеров. В современном электронном музыкальном инструментарии наиболее полно и совершенно воплотились веками накопленные информационные технологии в музыке и искусстве музицирования. В данном и последующих выпусках журнала будут последовательно представлены 4 лекции, составляющие основу дисциплины «Информационные технологии в музыке» и ряда программ повышения квалификации, среди которых «Информационные технологии в музыкальном образовании», «Компьютерное музыкальное творчество» и др.

В первой лекции «Архитектоника музыкального звука» раскрываются темы, связанные с изучением физических характеристик музыкальных звуков, способов их записи и воспроизведения; объясняется слуховое восприятие звука человеком, рассматриваются основные принципы компьютерной генерации музыкального звука.

Освещаемый в лекциях материал имеет теоретическую и практическую направленность и содержит сведения, в которых рассматриваются технологические аспекты современных представлений о музыке, о музыкальном инструментарии (в том числе —

**The Architectonics  
of Musical Sound**

At the turn of the 20th and 21st centuries there appeared a new trend in musical composition and musical pedagogy conditioned by the fast development of electronic musical instruments: from the simplest synthesizers to powerful musical computers. In the wide range contemporary electronic musical instrument the accumulated informational technologies in music and the art of music making have manifested themselves in the fullest and most perfect manner. The current and the subsequent issues of the journal shall provide a consecutive presentation of four lectures, compiling the basis of the discipline “Informational Technologies in Music” and a set of programs of advanced training, which include “Informational Technologies in Music,” “Informational Technologies in Musical Education,” “Computer Musical Composition,” etc.

The first lecture, “The Architectonics of Musical Sound” shall disclose themes connected with the study of the physical characteristics of musical sounds, the means of their recording and reproduction; explanation is given to the aural perception of sound by the human being, and the basic principles of computer generation of musical sound are examined.

The material elucidated in the lection possesses a theoretical and practical directedness and contains information in which the technological aspects of contemporary perceptions of music, about the musical instrument range (including computer musical instruments); without knowledge of

музыкально-компьютерном); без знания этих аспектов невозможна грамотная интерпретация музыкальных произведений.

**Ключевые слова:**

музыкальный звук, физические свойства звука, электронные музыкальные инструменты, информационные технологии в музыке, компьютерная генерация музыкального звука.

these aspects a competent interpretation of musical instruments is impossible.

**Keywords:**

musical sound, the physical properties of sound, electronic musical instruments, informational technologies in music, computer generation of musical sound.

*Для цитирования:*

Горбунова И.Б. Архитектоника музыкального звука // ИКОНИ / ICONI. 2019. № 3. С. 112–128. DOI: 10.33779/2658-4824.2019.3.112-128

*For citation:*

Gorbunova Irina B. The Architectonics of Musical Sound. *ICONI*. 2019. No. 3, pp. 112–128. (In Russ.) DOI: 10.33779/2658-4824.2019.3.112-128

*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<sup>a\*\*</sup>

**М**узыка является одной из граней постижения духовной содержательности мира, его красоты, находящей отражение в звучании. Звучание музыки воспринимается человеком как *особое информационное пространство*. Как функционируют информационные технологии в звуковом (и шире — семантическом) пространстве музыки — этот вопрос стал теперь предметом внимания музыкантов, представителей других специальностей в связи с формированием

новых творческих перспектив деятельности музыканта.

Познание тайн звукообразования, звукотворчества, богатства тембрового и акустического воздействия музыки становится более осязаемым для истинного музыканта, обогащает его творческое воображение, даёт стимул к художественному новаторству. И в наши дни сохраняют силу слова, высказанные замечательным пианистом начала XX века Иосифом Гофманом: «Когда уча-

\* Последовательно расположенные ссылки соответствуют именному указателю, который доступен по QR-коду 1 (Именной указатель):





щийся-пианист вполне овладеет материальной стороной, то есть техникой, перед ним открывается безграничный простор — широкое поле художественной интерпретации. Здесь работа имеет преимущественно аналитический характер и требует, чтобы ум, дух и чувство, подкреплённые знаниями и эстетическим чутьём, образовали счастливый союз, позволяющий достигнуть ценных и достойных результатов» [11, с. 39].

Рассуждения и мысли видных музыкантов и учёных о музыкальных инструментах, их звучании, воплощённом в *музыкальных звуках*, иллюстрируют основополагающие идеи представленных лекций. Изучение курса «Информационные технологии в музыке» в целом позволяет сформировать у студентов основные понятия в области акустики музыкальных звучаний, в том числе и электронного, расширяет возможности профессиональной ориентации в сфере современных музыкальных технологий, даёт возможность формирования и дальнейшего развития художественно-эстетических представлений в музыкальной сфере.

Важность осознания математического, физического и физиологического аспектов *музыкального звучания* ещё в середине XIX века отмечалась выдающимся немецким учёным Германом Гельмгольцем. Этим объясняется тот факт, что в качестве эпиграфа к первой лекции мы выбрали цитату из его статьи «О физиологических причинах музыкальной гармонии».

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. *akustikos* — 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 даёт теоретические основы для их расчёта, 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 подразумевается



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 подчинёнными 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<sup>в</sup> 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» [21, с. 179]. Полный текст высказывания Римского-Корсакова приведён в *QR-коде 2 (А)*<sup>\*\*</sup>.

Введение в акустику касается перечисленных областей и ориентировано в основном на *музыкальный звук* и его свойства. В изложении материала мы переходим от основных физических представлений о звуке к объяснению структуры музыкального звука, элементов гармоник, принципа записи и вос-

произведения звука с использованием компьютерных технологий и цифрового звука. 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» со временем менялось. Для самых ранних форм музыки характерна очень большая роль ударных (шумовых по природе) инструментов, а также свободные переходы пения в ритмическую (речевую) декламацию (по Г. фон Бюлову<sup>у</sup>). Вместе с тем уже с очень давних времён существенное значение в характеристике музыкального звука, в отличие от немзыкального, имело наличие определённой, причём достаточно длительно выдерживаемой высоты, иначе говоря, *регулярных колебаний*.

Интересны мысли по обсуждаемому вопросу, изложенные в книге Аристоксена<sup>д</sup> «Элементы гармоник» [1] <sup>г\*\*\*</sup> о том, что для речевого голоса характерно повышение и понижение звука, но не определённая высота, певческий же голос характеризуется определённой, более или менее длительно выдерживаемой высотой звука<sup>в</sup>.

Сначала рассмотрим регулярные колебания, которые имеют более простое описание и непосредственно связаны с *музыкальными звуками* (характерной особенностью которых является наличие явно выраженной *высоты тона*).

<sup>\*\*</sup> Последовательно расположенные ссылки доступны по *QR-коду 2* (Высказывания музыкантов и учёных, специалистов в различных областях науки, посвящённые проблематике исследования музыкального звука):



<sup>\*\*\*</sup> Последовательно расположенные ссылки соответствуют Примечаниям, которые доступны по *QR-коду 3*:





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<sup>2</sup>:2<sup>3</sup>:2<sup>4</sup>..., 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 (рис. 1), который был окончательно утверждён в середине XIX века Французской Академией наук. В пределах одной и той же октавы при равномерно темперированном строе 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).

Следует заметить, что эта информация может быть весьма полезной, если музыканту потребуется в компьютерной композиции передать нетемперированные звучания: к примеру, передать характерные приёмы исполнения на струнных смычковых инструментах для придания большей реалистичности звучанию (за счёт незначительного повышения или понижения чистоты тона), что равно изменению его частотной характеристики (см. подробнее в работах: [5; 6]).

ПЕРВАЯ ОКТАВА											
C5	Db5	D5	Eb5	E5	F5	F#5	G5	G#5	A5	Bb5	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. 1. Значения частот колебаний, соответствующие 12 звукам равномерно-темперированной шкалы в пределах первой октавы фортепиано

Аналогичные явления происходят с управлением «голосовым инструментом» человека. Так, например, известно, что выразительность вокального искусства Ф.И. Шаляпина<sup>е</sup> 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, путём темперации замкнутый музыкальный строй (например, пифагоров или «чистый строй») превращается в замкнутый (темперированный) строй путем изменения звуков по частоте<sup>л</sup>. Если в результате темперации все соседние ступени звукоряда отличаются друг от друга на одну и ту же величину, темперация называется равномерной. Приняв определённую эталонную высоту тона (частоту), например, 440 Гц для ноты ля первой октавы, и зная интервальный коэффициент темперированного полутона ( $n = \sqrt[12]{2}$  @ 1,0595), а также порядковый номер, можно построить все 12 ступеней звуковой системы. Такой строй создаёт условия и определённые удобства

для изготовления музыкальных инструментов с фиксированным звукорядом, лёгкость их настройки и неограниченные возможности тонально-ладовых модуляций и транспонирования.

Темперация музыкальной системы проводилась в странах Востока ещё много веков назад. В Китае в V веке н. э. музыкальный теоретик Хэ Чэн Тянь ввёл 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<sup>5</sup> (1482, трактат «Практическая музыка»). В течение двух столетий в разработке разных видов неравномерно-темперированных строев участвовали немецкие учёные А. Шлик<sup>6</sup> (1511), А. Веркмайстер<sup>6</sup> (1691) и Г. Нейдхардт (1732); в Италии — П. Арон<sup>7</sup> (1523), Л. Фольяни (1529), Дж. Царлино<sup>8</sup> (1558); в Испании — Ф. Салинас<sup>9</sup> (1577); во Франции — М. Мерсенн<sup>10</sup> (1636) и др.

Одним из первых композиторов, практически оценивших достоинства равномерно-темперированного строя, был И.С. Бах<sup>11</sup>. В период с 1722 по 1744 год он создал двухтомное сочинение «Хорошо темперированный клавир», охватывающее в целом (в каждом томе — по 24 прелюдии и фуги: 12 мажорных и 12 минорных) 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. Впрочем, один из полифонических циклов написан в двух энгармонически равных тональностях: прелюдия — в ми-бемоль миноре, fuga — в ре-диез миноре.

Реальные источники музыкального звука, такие как струна или человеческий голос, возбуждают сразу много гармонических колебаний на разных частотах. Возникают колебания основно-

го тона (на частоте  $f$ ) и так называемые обертоны (колебания на частотах, кратных основному тону, то есть 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. 2).

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. 3, на котором приводится результат сложения гармоник, показанных на рис. 2.

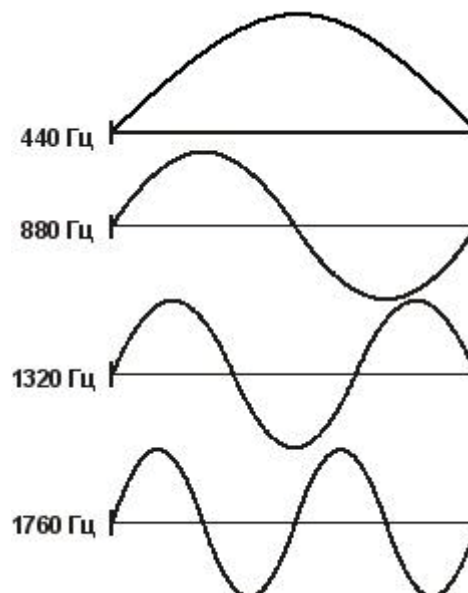


Рис. 2. Колебательные процессы, возникающие в одной и той же струне, настроенной на ноту ля первой октавы, в момент нажатия клавиши (удара по струне). Рассмотрен случай, когда интенсивность (амплитуда) колебаний, соответствующих первым трём гармоникам, приблизительно одинакова (ситуация, характерная 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 узнаём 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. 4.

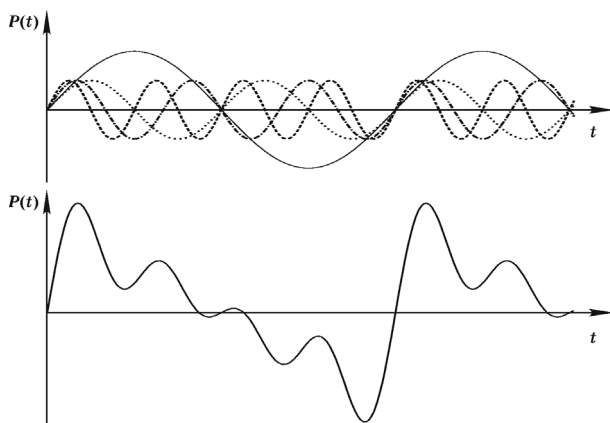


Рис. 3. Сложение колебаний основного тона и его трёх обертонов (подобная ситуация характерна для органа)

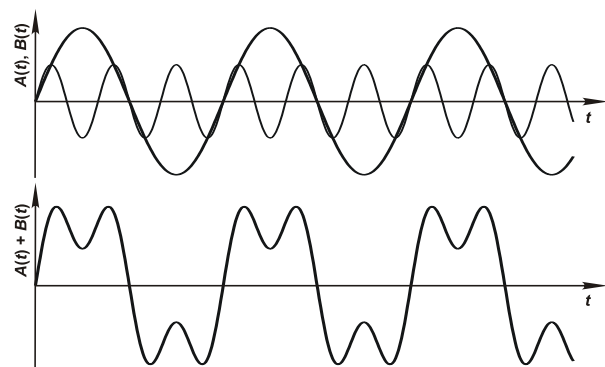


Рис. 4. Сложение колебаний основной и третьей гармоники (подобная ситуация характерна для струнных инструментов)

На рис. 5 приведены графики установившихся колебаний для различных музыкальных инструментов.

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.

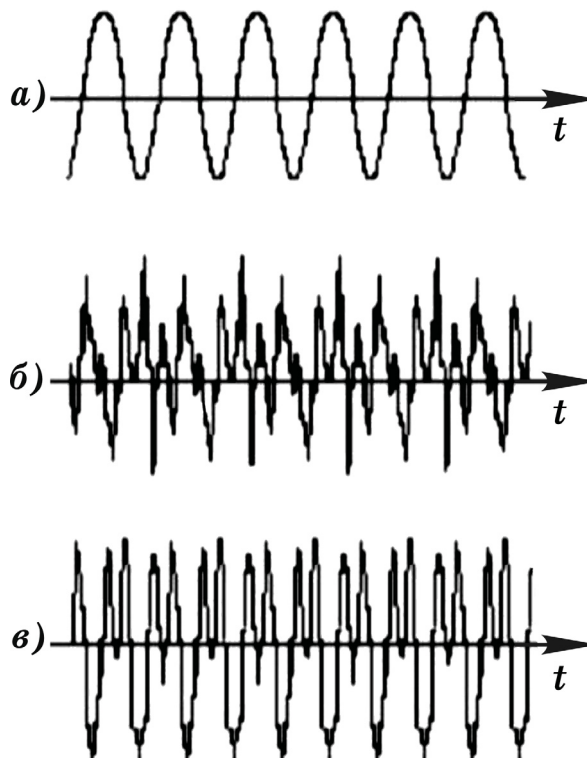


Рис. 5. Графики установившихся колебаний для одной и той же ноты: а — камертон, б — скрипка, в — гитара, иллюстрирующих возрастание сложности тембра

Рассмотрим Таблицу, показывающую более детально соотношение частот ступеней звукоряда при темперированном строе (таблица 1):

- частота звучащей **12-й ступени** звукоряда отличается от частоты 1-й ступени в **2 раза**:  $(\sqrt[12]{2})^{12}$ ;
- частота звучащей **19-й ступени** звукоряда отличается от частоты 1-й ступени приблизительно в **3 раза**:  $(\sqrt[12]{2})^{24} \approx 2,987$ ;

Таблица 1

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

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

Это означает, что 12<sup>я</sup>, 19<sup>я</sup>, 24<sup>я</sup> и 28<sup>я</sup> 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 большим 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<sup>ξ</sup>, Е.М. Левашова (см., например: [3]), «в процессах ладотворчества (или в расчётах музыкальных строев), — пишет Е.В. Назайкинский<sup>ο</sup>, — 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» [17, с. 65]<sup>ш.с.</sup>

Проблема «чистой интонации» была заострена более полувека назад основателем оригинальной школы акустики в нашей стране Н.А. Гарбузовым<sup>π</sup> как научная проблема, охватывающая и объединяющая различные области системы знаний. Признанными классиками микротоновой музыки был Алоис Хабба<sup>ρ</sup>, который проводил эксперименты с «Ансамблем четвертитоновой музыки», пропагандируя деление октавы на 24 ступени, и Иван Вышнеградский<sup>ς</sup> — русский композитор, работавший во Франции, развивавший идею свободной пантональности. Значительную ценность представляют также теоретические и экспериментальные работы, осуще-





ствлённые Г. Римским-Корсаковым<sup>с</sup> в Петрограде — Ленинграде в 20-х годах XX столетия.

Затем появилась серийная техника композиции, и начался новый этап в развитии микротоновой музыки. В 1930–1940-е годы эксперименты в области микротоновой музыки проводил А.С. Оголевец<sup>с</sup>. По его предложению были построены фисгармонии с делением октавы на 17 и 29 ступеней. Эти эксперименты вызвали интерес у С.С. Прокофьева<sup>у</sup>, который с симпатией отозвался о них в статье «Могут ли иссякнуть мелодии?» (1939).

Хулиан Карильо<sup>ф</sup> построил арфу с третонами и пятью долями тона.

В середине века голландский композитор и математик Адриан Даниэль Фоккер<sup>х</sup> построил орган с «трикесимоприамальной» (31-ступенной) темперацией.

Интересную систематику микротоновых систем предложил Пьер Булез<sup>ф</sup>.

Булез различает:

- пространства, покрытые бороздками, или рифлёные, 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<sup>д</sup>. «Микроступенность есть веление времени» (Р. Мэдель, Ф. Р. Херф<sup>ф</sup>)<sup>и</sup>.

С появлением электронно-музыкальных технологий создавалась возможность точного осуществления различных звуковысотных строев, их быстрого чередования и свободного соединения. «Инструментальные препятствия, затрудняющие реализацию всех этих заманчивых возможностей, во второй

половине XX в. оказались легко устранимы, — говорит Е.В. Назайкинский в своём выступлении на семинаре в Московской консерватории в 1996 году, — с помощью электронной, компьютерной техники» [17, с. 66].

Русский изобретатель Е.А. Мурзин<sup>аа</sup> в середине 1950-х годов 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 протяжённого обертонового звукоряда.

В 1974 году был построен экмелический орган<sup>у</sup> Франца Рихтера Херфа с 72-ступенной темперацией. Одним из первых на данном инструменте было исполнено сочинение Фр.Р. Херфа «Алапа» ор. 9. В 1984 году 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*<sup>е</sup>.

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

Нашими современниками, композитором и теоретиком музыки М.С. Заливадным<sup>уу</sup> и музыковедом Г.А. Когутом<sup>дд</sup> проделана большая экспериментальная

работа по выявлению выразительных возможностей микротоновых систем, представленных как примерами из истории музыки, так и оригинальными композициями (аудиозапись лекции и оригинальные композиции, иллюстрирующие звуковысотные строи, прилагается с согласия авторов (см. QR-код 4)<sup>\*\*\*\*</sup>.

Новую страницу в выявлении и представлении выразительных возможностей музыкального звука открыл компьютер в роли музыкального инструмента, или «**музыкальный компьютер**»<sup>vii</sup>. М. Маттьюз<sup>ee</sup> и Дж. Пирс<sup>cc</sup> отмечают: «Достаточно компьютеру сгенерировать определённую последовательность чисел, чтобы произвести любой звук, в том числе и такой, какого ещё никто не слышал. Благодаря широкому спектру возможностей цифровой синтез звука уже нашёл своё место в музыке» [14, с. 72]<sup>f</sup>.

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<sup>g</sup>. 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, то есть нестандартных музыкальных инструментов, относятся такие, например, как пространственные эффекты в хоровых произведениях О. Лассо<sup>nn</sup> (венецианская школа) XVI в.; применение Л. Моцартом<sup>oo</sup> свистков и погремушек в симфониях, написанных специально для детей (например, «Дет-

ская симфония», первоначально приписываемая Й. Гайдну<sup>uu</sup>); необычные инструменты в оперной музыке (например, ансамбль наковален в «Золоте Рейна» Р. Вагнера<sup>kk</sup>); Н.А. Римский-Корсаков ввёл в оркестр набор стаканов, которые «настраивались» с помощью заполняющей их воды. Стеклянная гармоника была популярна среди композиторов конца XVIII века и почти всего XIX-го вплоть до изобретения челесты. Здесь упомянем имена В.А. Моцарта<sup>ll</sup>, А.Г. Рубинштейна<sup>mm</sup> и др.

Активно использовали шумовые инструменты многие композиторы, принадлежавшие к авангардным художественным течениям первой половины XX века: например, Л. Руссоло<sup>vv</sup>, Э. Сати<sup>xx</sup>, Э. Варез<sup>oo</sup>, Дж. Антейл<sup>pp</sup>, Дж. Кейдж<sup>pp</sup> и другие. Ещё в 1913 году в статье «Искусство шумов» об этом писал Руссоло [22, с. 537]<sup>tt</sup>.

Совершенно очевидно, что и понятия музыкального и немзыкального 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<sup>ss</sup> проводил годы, подготавливая свою музыкальную революцию» [24, с. 118]. Результатом его труда явилась 12-тоновая теория композиции, о которой он заявил в начале 1920-х годов. 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 году, он ещё мальчиком играл на скрипке и

\*\*\*\* QR-код 4 (Аудиолекция о выявлении выразительных возможностей микротоновых систем с оригинальными композициями, иллюстрирующими звуковысотные строи):





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» [там же, с. 119]. Ранние работы Шёнберга были романтическими по духу, его музыка уже развивалась в сторону атональности, то есть в ней не было определённого тонального центра или ключа, все 12 тонов хроматической гаммы использовались на равной основе, в связи с чем им был предложен термин «пантональность»<sup>х</sup>. А в 20-х годах 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 определённом порядке: «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<sup>оо</sup>, Дебюсси<sup>тс</sup> и других в один всеобъемлющий закон» [там же, с. 118]<sup>1</sup>.

В 1938 году Дж. Кейдж, американский композитор и теоретик, чьё вызывавшее немало споров творчество сильно повлияло и на современную музыку, и на целое направление в искусстве середины XX века, связанное с использованием «случайных» элементов (алеаторика) и «сырых» жизненных феноменов, также писал об этом в своей работе «Будущее музыки» [25, р. 3]<sup>1</sup>. В книге «Всё о музыке» можно познакомиться с интересными суждениями автора о музыке Кейджа: «Мысль Кейджа о необходимости делать акцент на тишину как музыкальный элемент была подхвачена в дальнейшем Мортонем Фелдманом<sup>уу</sup>, у которого пьесы для фортепиано испол-

няются на самом низком пределе слышимости» [24, с. 117]<sup>к</sup>.

Вскоре ярко заявил о себе Антон Веберн<sup>фф</sup>, 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 развил в строгую систему. В его поздних сочинениях не только гармония, но и движение отдельных голосов, а также смена тембровой окраски определяются серийей, лежащей в основе всего произведения. Необычайно прозрачная музыкальная ткань Веберна как бы состоит из отдельных звуков-точек. Подобный способ изложения получил название пуантилизма<sup>1</sup>.

Пьер Булез использовал элементы музыки Веберна, дополнив их ритмическими опытами Мессиана<sup>хх</sup>. Все 12 полутонов шкалы были упорядочены А. Шёнбергом в определённую последовательность, или серию. Однако спустя некоторое время для Веберна 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 века является композитор и акустик Пьер Шеффер<sup>фф</sup>, сочинивший некоторые из первых образцов электронной «конкретной музыки» в Париже примерно в 1950 году.

Всё это в полной мере воплотил в своём творчестве Карлхайнц Штокхаузен<sup>оо</sup>, один из крупнейших современных композиторов, который 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 исключитель-



но для электронных инструментов или в комбинированном стиле; отражал восточные подходы к музыке, которая уподобляется «духовной спирали», воздействующей одновременно на композитора, исполнителя и слушателей<sup>M</sup>.

Музыкальный звук, по убеждению Штокхаузена, выходит в новую сферу своего функционирования, определяемую рядом основных критериев, устанавливающих внутреннюю взаимосвязь между микро- и макроуровнями Новых музыкальных композиций. Приведём мысли К. Штокхаузена, высказанные им в беседе с М. Просняковым<sup>aaa</sup> (Кюртен, Дом композиторов, 2004) об основных этапах развития музыки<sup>N</sup>:

— «*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 временно-го структурирования первоначального звука»;

— «*расщепление звука*», или «*композиция и декомпозиция звука*», то есть разложение сложного по своему внутреннему содержанию звука на те или иные составные части. «Это означает, что мы расщепляем звук, что в определённом контексте оказывается столь же важным, как слышание собственно самого сложно сочинённого 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 вдаль 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 примерно 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» [19, с. 4].

Здесь упомянем ещё об одном музыкально-художественном явлении, повлиявшем на звукотворческий процесс, — это так называемая «стохастическая»<sup>xii</sup> 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 произведения, 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<sup>bbb</sup> были исполнены на музыкальном компьютере URIC<sup>xiii</sup>)<sup>o</sup>.

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 также художественные искания москвича Виктора Ульяничу<sup>vvv</sup>»<sup>p</sup>, — пишет Л.П. Казанцева<sup>sss</sup> [12, с. 38].





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 века, влияние афроамериканской музыкальной традиции (ранние примеры: И. Стравинский — «История солдата» и А. Веберн — оркестровые пьесы ор. 6). Об оригинальной интонационной системе блюзов читаем: «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<sup>eee</sup>» (Конен В. Дж.<sup>ccc</sup>) [13, с. 27]<sup>o</sup>.

Ещё одна форма, в рамках которой активно развивается музыкальное искусство в течение последних десятилетий и приобретает обозримые черты своей художественно-эстетической однозначности, — это аудиовизуальные 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 С. Московская<sup>nnn</sup> [16, с. 76]. Идеями синтеза искусств, поиска сочетаний звука и цвета пронизано творчество русского композитора А.Н. Скряби-

на<sup>ooo</sup> (светомузыкальный синтез в «Поэме экстаза» и «Поэме огня») и литовского композитора и художника М.К. Чюрлёниса<sup>uuu</sup> (широко известны его многочисленные живописные «прелюдии», «сонаты» и «фуги»: «Соната звёзд», «Соната моря», «Соната весны» и др.). «Ещё два имени, — пишет С. Московская, — неразрывно связаны с поисками в области синтеза искусств — московский звонарь Константин Сараджев<sup>kkk</sup> и костромской художник, сказочник и педагог — Ефим Честняков<sup>lll</sup>» [там же, с. 77].

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

Теория синтеза искусств выражается, в частности, через аудиовизуальную модальность и представляет единую художественную реальность, выражающую первозданную целостность Природы. «Синтез стал одним из базовых понятий искусства XX века», — пишет М. Медкова<sup>vvv</sup> [15, с. 2]<sup>r</sup>. 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<sup>sss</sup>, созданные им при участии поэта Мишеля Бютора, художника-анималиста Эжена Баньоли, — одно из ярких явлений современной музыкальной синкретической культуры<sup>s</sup>.

Л.П. Казанцева отмечает: «Идя по пути интерпретирования классики новыми техническими средствами (в радио- и ТВ-постановках опер, оперетт, балетов), союз искусства и прогрессивных тех-



нологий привёл к зарождению жанров радио-оперы, фильма-оперы («Моя Кармен» Б. Окунцова<sup>ooo</sup> на музыку Ж. Бизе<sup>ллл</sup>, «Мадам Батерфлай» Фр. Митгерана<sup>ppp</sup> на музыку Дж. Пуччини<sup>sss</sup>), фильма-балета («Евгений Онегин» Дж. Блэктона<sup>ooo</sup> на музыку П. Чайковского<sup>ттт</sup>), фильма-мюзикла («Мулен Руж» Б. Лурмана<sup>uuu</sup>, «Чикаго» Р. Маршала<sup>ффф</sup>); оперы балета и мюзикла — мультипликационного и телевизионного; видеоклипа» [12, с. 37]<sup>г</sup>.

Представляют значительный интерес работы, в которых выражена идея многогранных взаимоотношений между музыкой и художественным образом, между звуком и краской<sup>xiv</sup>. В.В. Афанасьев<sup>xxx</sup>, музыкант и художник, создал оригинальную коллекцию художественных полотен, в которых с помощью кисти и красок воплощены 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<sup>ψψ</sup>, одного из ведущих отечественных специалистов в области теории и практики светомузыкального искусства.

Обратимся в этой связи к высказываниям Елены Рерих<sup>ωω</sup>, которая под руководством своего мужа и учителя Николая Рериха<sup>αααα</sup> 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» [20]<sup>u</sup>.

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 «Литургии оглашенных», написанной для вокалистов и электроники, 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<sup>ββββ</sup> говорил в своём интервью: «У меня есть некая своя разработка новой концепции звукового пространства» [23, с. 4]<sup>v</sup>. С тембровой стороной звука связаны пространственные характеристики его воспроизведения и отражения<sup>w, x</sup> — от расположения источников звука в физическом пространстве до моделирования акустики помещения.

Наш знаменитый современник композитор Эдуард Артемьев<sup>γγγγ</sup> отмечает: «В пространстве можно бесконечно варьировать даже один звук: по-разному размещать, погружать, задерживать... Понятие музыки настолько расширяется! Буквально одним звуком можно заворочить публику, загипнотизировать. Просто одним звуком, одним тембром» [2, с. 59]<sup>y</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аристоксен. Элементы гармонии. М.: МГК, 1997. 134 с.
2. Артемьев Э. Электроника позволяет решить любые эстетические и технические проблемы // Звукорежиссёр. 2001. № 2. С. 56–61.
3. Герцман Е.В. Музыкальная боэциана. СПб.: Глаголь, 1995. 478 с.
4. Горбунова И.Б. Информационные технологии в музыке. Т. 1: Архитектоника музыкального звука: учебное пособие. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 175 с.
5. Горбунова И.Б. Компьютерная студия звукозаписи как инструмент музыкального творчества и феномен музыкальной культуры // Общество: философия, история, культура. 2017. № 2. С. 87–92.



6. Горбунова И.Б. Методические аспекты толкования функционально-логических закономерностей музыки и музыкально-компьютерные технологии: системы музыкальной нотации // *Общество: социология, психология, педагогика*. 2016. № 10. С. 69–77.
7. Горбунова И.Б. Музыкальный звук: методические аспекты толкования // *Общество: социология, психология, педагогика*. 2016. № 4. С. 95–100.
8. Горбунова И.Б. О Юрии Николаевиче Раге // *Измерение музыки. Памяти Юрия Николаевича Рага (1926–2012): сб. научных статей*. СПб., 2015. С. 15–20.
9. Горбунова И.Б., Заливадный М.С. О математических методах в исследовании музыки и подготовке музыкантов // *Проблемы музыкальной науки*. 2013. № 1. С. 264–268.
10. Gorbunova Irina B., Zalivadny Mikhail S. Leonhard Euler's Theory of Music: Its Present-Day Significance and Influence on Certain Fields of Musical Thought // *Проблемы музыкальной науки*. 2019. № 3. С. 104–111. DOI: 10.17674/1997-0854.2019.3.104-111.
11. Гофман И. Фортепианная игра. Ответы на вопросы о фортепианной игре / пер. с англ. Г.А. Павловой. М.: Музгиз, 1961. 245 с.
12. 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*. СПб.: Изд-во СПбГУП, 2006. С. 36–39.
13. Конен В. Дж. Блюзы и XX век. М.: Музыка, 1980. 81 с.
14. Маттьюз М., Пирс Дж. Компьютер в роли музыкального инструмента // *В мире науки*. 1987. № 4. С. 71–82.
15. Медкова М. Пюсеробютория, или Птицы, мадонны и мифы электроакустического Вагнера // *Музыка и электроника*. 2007. № 2. С. 2–3.
16. Московская С.В. Звук и цвет. Педагогика будущего – синтез искусств. СПб.: Типография Ивана Фёдорова, 1995. 77 с.
17. Назайкинский Е.В. Микротоны: русско-австрийские переключки // *Эстетика: информационный подход*. М.: Смысл, 1997. С. 64–69.
18. Назайкинский Е.В. Микротоны. Россия – Австрия // *Музыка XX века. Московский форум*. М.: МГК, 1999. С. 94–97.
19. Просняков М. Живая легенда электроники. Отец «Техно» в музыке // *Музыка и электроника*. 2004. № 4. С. 3–5.
20. Рерих Е.Н. Письма в Америку (1929) // *Учение Живой Этики. Письма Елены Рерих. Т. 1. 1929–1935*. URL: [http://agniyoga.org/ay\\_ru/Letters-of-Helena-Roerich-I.php](http://agniyoga.org/ay_ru/Letters-of-Helena-Roerich-I.php) (дата обращения: 10.09.2019).
21. Римский-Корсаков Н.А. О музыкальном образовании // *Полн. собр. соч. Литературные произведения и переписка*. М.: Музгиз, 1963. Т. 2. С. 175–188.
22. Руссоло Л. Искусство шумов. 1913. URL: <http://www.etheroneph.com/audiosophia/112> (дата обращения: 25.09.2019).
23. Рыбников А. Интервью директору журнала «Музыка и электроника» Е. Орловой // *Музыка и электроника*. 2006. № 2. С. 4–5.
24. Спенс К., Коул Х. Всё о музыке. Минск: Белфаксиздатгрупп, 1996. 144 с.
25. Cage J. *The Future of Music: Credo, 1938* // *Cage J. Silence*. Middletown, Conn.: Wesleyan University Press, 1961. 276 p.

---

*Об авторе:*

**Горбунова Ирина Борисовна**, доктор педагогических наук, главный научный сотрудник учебно-методической Лаборатории музыкально-компьютерных технологий, профессор кафедры информатизации образования, Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена (191186, г. Санкт-Петербург, Россия), **ORCID: 0000-0003-4389-6719**, **gorbunovaib@herzen.spb.ru**

---



## REFERENCES

1. Aristoksen. *Elementy garmoniki* [Aristoxenus. Elementa Harmonica]. Moscow: Moscow State Conservatory, 1997. 134 p.
2. Artem'ev E. Elektronika pozvolyaet reshit' lyubye esteticheskie i tekhnicheskie problemy [Electronics Allows You to Solve any Aesthetic and Technical Problems]. *Zvukorezhisser* [Sound Producer]. 2001. No. 2, pp. 56–61.
3. Gertsman E.V. *Muzykal'naya boetsiana* [The Musical Boethiana]. St. Petersburg: Glagol, 1995. 478 p.
4. Gorbunova I.B. *Informatsionnye tekhnologii v muzyke. T. 1: Arkhitektonika muzykal'nogo zvuka: uchebnoe posobie* [Information Technology in Music. Volume 1: The Architectonics of Musical Sound: A Tutorial]. St. Petersburg: Publishing House of the Herzen State Pedagogical University of Russia, 2009. 175 p.
5. Gorbunova I.B. Komp'yuternaya studiya zvukozapisi kak instrument muzykal'nogo tvorchestva i fenomen muzykal'noy kul'tury [The Computer Recording Studio as an Instrument of Musical Creativity and the Phenomenon of Musical Culture]. *Obshchestvo: filosofiya, istoriya, kul'tura* [Society: Philosophy, History, Culture]. 2017. No. 2, pp. 87–92.
6. Gorbunova I.B. Metodicheskie aspekty tolkovaniya funktsional'no-logicheskikh zakonomernostey muzyki i muzykal'no-komp'yuternye tekhnologii: sistemy muzykal'noy notatsii [The Methodological Aspects of the Interpretation of the Functional and Logical Laws of Music and Computer-music Technologies: Systems of Musical Notation]. *Obshchestvo: sotsiologiya, psikhologiya, pedagogika* [Society: Sociology, Psychology, Pedagogy]. 2016. No. 10, pp. 69–77.
7. Gorbunova I.B. Muzykal'nyy zvuk: metodicheskie aspekty tolkovaniya [Musical Sound: The Methodological Aspects of Interpretation]. *Obshchestvo: sotsiologiya, psikhologiya, pedagogika* [Society: Sociology, Psychology, Pedagogy]. 2016. No. 4, pp. 95–100.
8. Gorbunova I.B. O Yurii Nikolaeviche Ragse [About Yuri Nikolayevich Rags]. *Izmerenie muzyki. Pamyati Yuriya Nikolaevicha Ragsa (1926–2012): sb. nauchnykh statey* [Measurement of Music. In Memory of Yuri Nikolayevich Rags (1926–2012): Collection of Scholarly Articles]. St.-Petersburg, 2015, pp. 15–20.
9. Gorbunova I.B., Zalivadnyy M.S. O matematicheskikh metodakh v issledovanii muzyki i podgotovke muzykantov [Concerning Mathematical Methods in Music Research and Preparation of Musicians]. *Problemy muzykal'noj nauki/Music Scholarship*. 2013. No. 1, pp. 264–268.
10. Gorbunova Irina B., Zalivadny Mikhail S. Leonhard Euler's Theory of Music: Its Present-Day Significance and Influence on Certain Fields of Musical Thought. *Problemy muzykal'noj nauki/Music Scholarship*. 2019. No. 3, pp. 104–111. DOI: 10.17674/1997-0854.2019.3.104-111.
11. Gofman I. *Fortepiannaya igra. Otvetny na voprosy o fortepiannoy igre* [Hofmann J. Piano Playing. With Piano Questions Answered]. Translated from the English by G.A. Pavlova. Moscow: Muzgiz, 1961. 245 p.
12. Kazantseva L.P. Muzykal'noe proizvedenie v sovremennoy audiovizual'noy srede: lichnostnyy aspekt [The Musical Composition in the Modern Audiovisual Environment: the Personal Aspect]. *Sovremennye audiovizual'nye tekhnologii v khudozhestvennom tvorchestve i vysshem obrazovanii. III Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Modern Audiovisual Technologies in Art and Higher Education. The 3<sup>rd</sup> Russian Scholarly and Practical Conference]. St. Petersburg: Publishing House of the Saint-Petersburg University of Humanities and Social, 2006, pp. 36–39.
13. Konen V. Dzh. *Blyuzy i XX vek* [Blues and the 20th Century]. Moscow: Muzyka, 1980. 81 p.
14. Matt'yuz M., Pirs Dzh. Komp'yuter v roli muzykal'nogo instrumenta [Matthews M., Pierce J. The Computer as a Musical Instrument]. *V mire nauki* [In the World of Scholarship]. 1987. No. 4, pp. 71–82.





15. Medkova M. Pyuserobyutoriya, ili Ptitsy, madonny i mify elektroakusticheskogo Vagnera [Puserobyutoria, or Birds, Madonnas and Myths of an Electroacoustic Wagner]. *Muzyka i elektronika* [Music and Electronics]. 2007. No. 2, pp. 2–3.
16. Moskovskaya S.V. *Zvuk i tsvet. Pedagogika budushchego – sintez iskusstv* [Sound and Color. The Pedagogy of the Future is a Synthesis of the Arts.]. St. Petersburg: Printing House of Ivan Fedorov, 1995. 77 p.
17. Nazaykinskiy E.V. Mikrotony: russko-avstriyskie pereklichki [Microtones: Russian-Austrian Interchanges]. *Estetika: informatsionnyy podkhod* [Aesthetics: An Informational Approach]. Moscow: Smysl, 1997, pp. 64–69.
18. Nazaykinskiy E.V. Mikrotony. Rossiya – Avstriya [Microtones. Russia – Austria]. *Muzyka XX veka. Moskovskiy forum* [Music of the 20th Century. Moscow Forum]. Moscow: Moscow State Conservatory, 1999, pp. 94–97.
19. Prosn'yakov M. Zhivaya legenda elektroniki. Otets «Tekhno» v muzyke [A Living Legend of Electronics. The Father of “Techno” in Music]. *Muzyka i elektronika* [Music and Electronics]. 2004. No. 4, pp. 3–5.
20. Rerikh E.N. Pis'ma v Ameriku (1929) [Roerich E.N. Letters to America (1929)]. *Uchenie Zhivoy Etiki. Pis'ma Eleny Rerikh. T. 1* [Teaching Living Ethics. Letters of Elena Roerich. Vol. 1]. URL: [http://agniyoga.org/ay\\_ru/Letters-of-Helena-Roerich-I.php](http://agniyoga.org/ay_ru/Letters-of-Helena-Roerich-I.php) (10.09.2019).
21. Rimsky-Korsakov N.A. O muzykal'nom obrazovanii [About Music Education]. *Poln. sobr. soch. Literaturnye proizvedeniya i perepiska* [Complete Works. Literary Works and Correspondence]. Moscow: Muzgiz, 1963. Vol. 2, pp. 175–188.
22. Russolo L. *Iskusstvo shumov* [The Art of Noise]. 1913. URL: <http://www.etheroneph.com/audiosophia/112> (data obrashcheniya: 25.09.2019).
23. Rybnikov A. Interv'yu direktoru zhurnala «Muzyka i elektronika» E. Orlovoy [An Interview with the Director of the Journal “Music and Electronics” Elena Orlova]. *Muzyka i elektronika* [Music and Electronics]. 2006. No. 2, pp. 4–5.
24. Spens K., Koul Kh. *Vse o muzyke* [Spence K., Cole H. All About Music]. Minsk: Belfaksizdatgrupp, 1996. 144 p.
25. Cage J. *The Future of Music: Credo*, 1938. Cage J. *Silence*. Middletown, Conn.: Wesleyan University Press, 1961. 276 p.

---

*About the author:*

**Irina B. Gorbunova**, Dr.Sci. (Pedagogical), Chief Researcher of the Educational and Methodical Laboratory of Music Computer Technologies, Professor at the Department of Informatization of Education, Herzen State Pedagogical University of Russia (191186, St. Petersburg, Russia), **ORCID: 0000-0003-4389-6719**, **gorbunovaib@herzen.spb.ru**

---

