



ISSN 2658-4824 (Print)

УДК 781.1+534.3

DOI: 10.33779/2658-4824.2019.4.111-129

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*

Музыкальный синтезатор

Различные аспекты становления и развития музыкального инструментария выявляют основные закономерности функционирования музыкальных инструментов как синтезаторов музыкального звука во всем их многообразии от истоков их формирования вплоть до современного этапа данного процесса. В первой лекции «Архитектоника музыкального звука» были подробно рассмотрены особенности строения, многообразия, различные толкования понятия «музыкальный звук», а также связь с современными техническими возможностями записи, сохранения и обработки музыкальных звучаний. В данной лекции автор обращается к основным этапам эволюции понятия «музыкальный звук», отражающей изменения самого звукового материала в ходе развития практики музицирования. Появление новых музыкальных инструментов, или музыкальных синтезаторов, согласно авторской концепции, 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.

Уровень развития современных программных и аппаратных средств музыкально-компьютерных технологий (МКТ) позволяет моделировать различные этапы развития систем музыкальных звуков.

The Musical Synthesizer

The various aspects of formation and development of the musical instrumentarium disclose the main regular occurrences of functioning of musical instruments as synthesizers of musical sound in all its diversity, from the sources of their formation to the contemporary stage of the present process. In the first lecture, “The Architectonics of Musical Sound” there was detailed examination of the particularities of the structure, the diversity and the various interpretations of the concept of “musical sound,” as well as the connection with the contemporary technical possibilities of notation, preservation and elaboration of musical sounds. In the present lecture the author turns to the main stages of evolution of the concept of “musical sound,” which reflects the changes of sound material itself during the course of development of musical practice. The emergence of new musical instruments or musical synthesizers, according to the authorial conception, is stipulated by two main reasons. The first of them is musicians’ aspirations of enriching the palette of their musical artistry. The second reason is connected with the historical perfections of the musical instrumentarium, which in its construction aspires to rely on contemporary achievements of science and technique in the domain of creation of sound.

The level of development of contemporary program and machinery means of musical computer technologies (MCT) makes it possible to model diverse stages of development of systems of musical sounds.

**Ключевые слова:**

музыкальный звук, музыкально-компьютерные технологии, музыкальный синтезатор.

Keywords:

musical sound, musical computer technologies, the musical synthesizer.

Для цитирования / For citation:

Горбунова И.Б. Музыкальный синтезатор // ИКОНИ / ICONI. 2019. № 4. С. 111–129.
DOI: 10.33779/2658-4824.2019.4.111-129.

Тесная связь между музыкой и технологией — это намного больше, чем просто интересный факт. По существу, в ней и заключается суть музыкальной выразительности.

Д. Рабин^{1*}

Музыкальный звук и компьютер

Понятие «музыкальный звук» менялось со временем. Для самых ранних форм музыки характерна большая роль ударных (шумовых по природе) инструментов (как отмечал Г. фон Бюлов², «вначале был ритм»), 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 немзыкального, имело наличие определённой, причём достаточно длительно выдерживаемой высоты, источником которой являются *регулярные колебательные процессы*.

Регулярные колебания имеют более простое описание и непосредственно связаны с *музыкальными звуками*. Характерной особенностью их является наличие явно выраженной высоты тона. Более сложные — *нерегулярные* — колебания также играют существенную

роль в мире музыкальных звуков и присутствуют, например, в качестве характерных шумовых призвуков во многих музыкальных инструментах и даже в человеческом голосе, и как мешающие, но неизбежные шумы аппаратуры при звукозаписи и др.

В европейской музыкальной практике Нового (а во многом — и Новейшего) времени, как известно, принято деление каждой октавы на двенадцать отрезков (хроматических полутонов). Для клавишных инструментов, начиная с середины XVI столетия, постепенно утверждался 12-ступенный равномерно-темперированный строй, 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 $^{12}\sqrt{2} : 1$ ($^{12}\sqrt{2} \approx 1,06$). По этой формуле можно вычислить частоту любой ноты по отношению к камертонному ля

* QR-код 1. Именной указатель:





(440 Гц). 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 $2 : 4 : 8 : 16 \dots = 2^1 : 2^2 : 2^3 : 2^4 \dots$, обозначаются одним и тем же названием.

Следует заметить, что эта информация может быть весьма полезной, если музыканту потребуется, например, в компьютерной композиции создать 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 (аналогичные явления происходят с управлением «голосовым инструментом» человека. Так, например, известно, что выразительность вокального искусства Ф.И. Шаляпина³ 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.

Приняв определённую 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.

Меняя интервальные коэффициенты (числа под радикалами и показатели степени), можно построить другие темперации. На этой основе также возможно осуществить переход к нетемперированным звукорядам, когда возникает свой коэффициент у каждого интервала.

В современных электронных музыкальных инструментах (ЭМИ) существуют исторические настройки, соответствующие нетемперированным строям и приближающие к равномерной темперации. 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.

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

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.

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 голос человека, определяется *соотношениями между амплитудами обертонов к амплитуде основного тона*, а также шумами, характерными для данного инструмента.

Как показывают измерения, частоты, на которых звучат обертоны реальных инструментов и голоса человека, не со-

всем точно совпадают с *гармоническими* частотами $2f$, $3f$, $4f$, ... nf . Колебания на частотах, кратных основному тону, принято называть *гармониками* (все колебания вместе с основным тоном), а термин обертоны (все колебания, кроме основного тона) используют для обозначения реальных призвуков основного тона, создающих тот или иной характерный тембр музыкального инструмента или голоса.

Параллельно с развитием равномерного темперированного строя шли поиски других музыкальных систем, как правило, с большим числом ступеней в октаве, чем 12. Однако трудности, связанные с настройкой и их практическим освоением, сдерживали распространение этих строев.

С появлением ЭМИ и МКТ возникла возможность осуществления различных звуковысотных строев, их быстрого чередования и свободного соединения, что, в свою очередь, определяет широкие возможности для синтезирования тембров как с гармоническим, так и с негармоническим спектром.

Тема «чистой интонации» является одной из ведущих в музыковедении, 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.)»^{(А)**}. Проблема «чистой интонации» была заострена как научная проблема, охватывающая и объединяющая различ-

ные области знаний. Более полувека назад основателем оригинальной школы акустики в нашей стране стал Н.А. Гарбузов⁴. В его известных трудах «Зонная природа звуковысотного слуха» (1948), «Внутризонный интонационный слух и методы его развития» (1951), «Зонная природа динамического слуха» (1955) были сформулированы основные идеи, которые нашли продолжение в трудах его учеников, коллег и последователей^{(1)***}. Известно, что истоки микротоновой музыки восходят к глубокой древности^В.

Признанными классиками микротоновой музыки в Новое время были А. Хаба⁵, который проводил эксперименты с «Ансамблем четвертитоновой музыки», пропагандируя деление октавы на 24 ступени, и И. Вышнеградский⁶ — русский композитор, работавший во Франции и развивавший идею свободной пантональности. Значительную ценность представляют также теоретические и экспериментальные работы, осуществлённые Г. Римским-Корсаковым⁷ в Петрограде — Ленинграде, в 20-х годах XX века. После 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. Оголевец⁸. По его предложению были построены фисгармонии с делением октавы на 17 и 29 ступеней. Эти эксперименты вызвали интерес у С. Прокофьева⁹, который с симпатией отозвался о них в статье «Могут ли иссякнуть мелодии?» (1939).

** QR-код 2. Пояснения и примечания:



*** QR-код 3. Высказывания музыкантов и учёных, специалистов в различных областях науки, посвящённые проблематике исследования музыкального звука:





Х. Карильо¹⁰ сконструировал арфу с трететонами и пятыми долями тона.

В середине XX века голландский композитор и математик А.Д. Фоккер¹¹ построил орган с «трикесимопримальной» (31-ступенной) темперацией.

Интересную систематику микротоновых систем предложил П. Булез¹² в книге, названной автором «Мыслить музыкой сегодня» (1963). Он создал систему неоктавного и переменного подобия ступеней в звуковысотной системе, открывающей широкие возможности для микротоновой техники композиции¹¹.

Русский изобретатель Е.А. Мурзин¹³ в середине 50-х годов создал свой знаменитый электронный синтезатор АНС. А. Шнитке¹⁴ написал пьесу для этого электронного инструмента (АНС), построенную на звучании протяжённого обертонового звукоряда.

В 1974 году был построен экмелический орган Ф.Р. Херфа¹⁵ с 72-ступенной темперацией. Одним из первых на этом инструменте было исполнено сочинение Херфа «Алапа» ор. 9. В 1984 году в Дармштадте был создан MUTABOR (MUTierende Automatisch Betriebende ORgel). Для органа разработали специальную программу, позволяющую в процессе игры менять настройку и выбирать необходимые микротоны.

Вместе с разработкой творческих экспериментов с микротонами возникла и стала широко обсуждаемой проблема слуха и слышания. Отметим, что в конце 80–90-х годов XX века проблема микротонности 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, на которых звучала музыка Я. Ксенакиса¹⁶, А. Хабы, И. Вышнеградского, Б. Шеффера¹⁷, Х. Карильо, Херфа и других композиторов¹⁸. Однако аналоговые устройства не решали проблемы «диалога с тембровой

традицией» (оставалась значительная дистанция между тембровыми характеристиками электронных и акустических звучаний)¹¹.

С разработкой цифровых музыкальных систем в музыкальном творчестве создались приемлемые условия для взаимодействия традиционных и новых тембров. Но возможности подобного инструментария не могут быть сведены только к таким задачам¹⁹.

Новую страницу в выявлении и представлении выразительных возможностей музыкального звука открыл компьютер в роли музыкального инструмента, или «музыкальный компьютер»²⁰ М. В. Мэттьюза¹⁸ и Дж. Р. Пирса¹⁹.²¹ Представляется ещё более очевидным значение компьютера как инструмента на промежуточном этапе работы композитора над созданием музыкального произведения. Становится уже общепринятым, что композитор для демонстрации своих музыкальных сочинений должен иметь не только красиво напечатанную партитуру, но и цифровое исполнение музыки, записанное на цифровом носителе²². Такое исполнение — не только некий итог всего предшествующего этапа сочинения, наступающий значительно раньше, чем в «реальной жизни», но и большая помощь при работе над сочинением²³.

Конечно, компьютерное исполнение никогда не заменит исполнение живыми инструментами, но его использование, безусловно, имеет конкретное применение в жизни: демонстрация заказчику, на уроке педагогом, на композиторских конкурсах, размещение в Интернете.

Любопытно отметить, что компьютерные инструменты можно настраивать в любой темперации. Эксперименты с различными видами настройки могут привести к более широкому распространению микротоновой музыки — одного из перспективных направлений музыкальной композиции.

Нашими современниками, композитором и теоретиком музыки М.С. Зали-



вадным²⁰ и музыковедом Г. А. Когутом²¹ проделана большая экспериментальная работа по выявлению выразительных возможностей микротоновых систем, представленных как примерами из истории музыки, так и оригинальными композициями.

Кроме того, как уже отмечалось ранее, многие композиторы, подбирая инструменты и сочетания музыкальных образов (музыкальных звуков) для выражения своего художественного замысла, использовали весьма «нестандартные» образцы, такие, например, как набор стаканов или ансамбль наковален, шумы Руссоло²² и т. п.

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, поскольку смысл этого понятия меняется на протяжении исторической эволюции самой практики музицирования.

Очевидно, что понятия и 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^{VI}.

Так, например, одним из сопутствующих факторов в изменении содержания понятия «музыкальный звук» явились новые композиционные формы и техники^{VII}. Так, например, А. Шёнберг²³ сформулировал свой «закон неповторяемости нот», основной концепцией которого явилось представление о том, что ни одна из нот хроматической гаммы не должна повторяться, прежде чем все остальные 11 не будут сыграны в определённом порядке^{VIII}.

В 1938 году Д. Кейдж²⁴, американский композитор и теоретик, чьё творчество вызывало немало споров, а иногда и бурный протест, тем не менее сильно повлияло не только на современную му-

зыку, но и на целое направление в искусстве середины XX века, использовал «случайные» элементы (алеаторика) и «сырые» жизненные феномены.

Вскоре ярко заявил о себе А. Веберн²⁵, развивший метод додекафонии. Манера его музыкального письма отличалась предельным лаконизмом и экономностью звуковых средств, создающих ощущение «бесплотности», ирреальности образов. Метод додекафонии, разработанный Шёнбергом, Веберн развил 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 точек. Подобный способ изложения получил название «пуантилизм».

П. Булез²⁶ использовал элементы музыки Веберна, дополнив их ритмическими опытами Мессиана²⁷. Все 12 полутонов шкалы были упорядочены А. Шёнбергом в определённую 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 века является композитор и акустик П. Шеффер²⁸, сочинивший некоторые из первых образцов электронной «конкретной музыки» в Париже примерно в 1950 году.

Итоги этих поисков в разной форме обобщены в работах Мэттьюза и Пирса, К. Штокхаузена²⁹. Иллюстрируя неразрывную связь между восприятием музыки, техникой композиции и понятием «музыкальный звук», Штокхаузен сформулировал основную мысль – музыкальный звук, по его убеждению, выходит в новую сферу своего функционирования, определяемую следующими основными

критериями, устанавливающими внутреннюю взаимосвязь между микро- и макроуровнями 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*», 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 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»;

– «*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»^Н.

Здесь упомянем ещё об одном музыкально-художественном явлении, повлиявшем на звукотворческий процесс, — это так называемая «стохастическая»¹ 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 МКТ (например, произведения композитора, изобретателя, музыканта-писателя, теоретика, архитектора Я. Ксенакиса были исполнены на музыкальном компьютере URIC¹).

Приведённый обзор будет неполным, если не упомянуть о возможности реализации музыкальной композиции методом рисования, который получил новый значительный импульс в связи с уникальными особенностями современных ЭМИ [3; 13] и музыкальных компьютеров [4; 9]. Композитор и теоретик музыки М. С. Заливадный исследует особенности композиций такого рода^{К, XIX} (см. также в работах: [5; 6; 7]).

Наконец, само понятие «звук» развивается до понятия «образ». Композиторы создают звук, считая звукотворческий процесс живым музыкальным творчеством, не столько конструктивным, сколько художественным явлением^Х. Процесс динамических изменений в содержании понятия «музыкальный звук» охватывает как академические, так и популярные музыкальные жанры. Важную роль в этом процессе сыграло влияние, например, афроамериканской музыкальной традиции, начиная с первых десятилетий XX века (ранние примеры: И. Ф. Стравинский³⁰ — «История солдата» и А. Веберн — оркестровые пьесы ор. 6).

Интересное направление, которое активно развивается в течение последних десятилетий и приобретает обзри-



мые черты своей художественно-эстетической однозначности, дополняет музыкальный звуковой контент, — это аудиовизуальные искусства, где музыка является органичным элементом синестетического пространства. Заметим, что многие выдающиеся музыканты высказывались о своём образном, «аудиовизуальном» представлении в момент создания или исполнения музыкального произведения. Приведём слова Г. Нейгауза^{31, L, XI}.

Среди современных музыкантов, использующих визуальное сопровождение для своих произведений, назовём Ж.-М. Жарра³² — французского композитора, работающего в жанре современной электронной музыки. Его концерты оказывают музыкальное и зрительное воздействие на аудиторию.

Теория синтеза искусств выражается, в частности, через аудиовизуальную модальность и представляет единую художественную реальность. 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 французского композитора А. Пуссёра³³, созданные им при участии поэта и писателя М. Бютора, художника-аниматора Э. Баньоли, — одно из ярких явлений современной музыкальной синкретической культуры. Представляют значительный интерес работы, в которых выражена идея многогранных взаимоотношений между музыкой и художественным образом, между звуком и краской^M. В работах В.В. Афанасьева³⁴, 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.

Один из популярных отечественных современных композиторов, 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 А. Рыбников³⁵ высказал идею «новой концепции звукового пространства <...> музыкально-драматических произведений, записываемых на компактные диски как своего рода электронных музыкальных спектаклей»^N.

Отметим, что данное направление, существовавшее до недавнего времени как спонтанное художественное явление, которое в нашей стране не было представлено иначе как «эксперименты отдельных авторов», начинает занимать определённые позиции не только в творческой жизни музыкальной и, в целом, творческой «элиты», но и в современной системе отечественного художественного образования. Приведём как пример «медиамузыкальное» направление^{XII} (термин А. Чернышова³⁶, автора курса «Медиамузыка»^O).

С тембровой стороной звука связаны пространственные характеристики его воспроизведения и отражения — от расположения источников звука в физическом пространстве до моделирования акустики помещения. Наш знаменитый современник композитор Э. Артемьев³⁷ отмечает: «В пространстве можно бесконечно варьировать даже один звук: по-разному размещать, погружать, за-



держивать... Понятие музыки настолько расширяется!» [1, с. 60]

Таким образом, виртуальные залы моделируются (более подробно данный аспект освещён в работах [8; 10]) и могут быть использованы как средство симфонической организации музыки (аналогично тембрам) благодаря удивительным, уникальным возможностям стереофонического панорамирования «звуковой картины» (термин, введённый в палитру современного музыкально-творческого пространства звукорежиссёром В. Г. Диновым³⁸).

Музыкальный синтезатор как инструмент музыканта-исполнителя

Слово «синтезирование», как уже отмечалось ранее, означает создание чего-либо с помощью комбинаций отдельных элементов, его составляющих. Синтезированный звук — это звук, который музыкант создаёт с помощью какого-либо музыкального инструмента³⁹.

Синтезированный звук может быть традиционным 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 создаёт композицию. Утверждения о том, что так называемая «синтезаторная музыка» находится только в рамках имитации традиционного музыкального инструментария и музыкальных форм, что синтезаторная музыка создаётся автоматически, механически, то есть без взаимодействия с музыкантом, являются совершенно необоснованными. Напротив, как следует из вышеизложенного, электронные музыкальные инструменты расширяют палитру звучания музыкального произведения, и тембровая окраска его становится ярче, богаче.

Вместе с тем, следует помнить, что любой, самый совершенный музыкальный инструмент — это рукотворный «образ», рукотворная «музыкальная машина» (как пишет И.Ф. Стравинский в одной из книг «Диалогов», — см. эпиграф к книге), 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 своём произведении целый мир особых музыкальных образов, созданных его воображением, отражает художественное *слышание* мира с помощью конкретных музыкальных инструментов⁴⁰.

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

В теории музыкального искусства деятельность исполнителя определяется как *исполнение*, воспроизведение (или трактовка), сотворчество и т. п. в зависимости от степени творческой активности музыканта⁴¹.

Под правильным исполнением музыкального произведения понимают такое исполнение, при котором способ выражения полностью соответствует его содержанию. И. Гофман³⁹ пишет о том, что если десяти талантливым исполнителям дать исполнить одну и ту же пьесу, то каждый из них станет её играть «совершенно иначе, чем девять других», потому что каждый из них стремится выразить по-своему то, что «он усвоил умом и сердцем»^{42, p.}

Художник-исполнитель должен извлекать из дошедших до него материальных обозначений (нот или других видов записи) духовную сущность произведе-

дения и передать её слушателям через посредство музыкального инструмента, «вызвать» к звуковой жизни то, что постиг его музыкальный интеллект. Именно благодаря музыкальному инструменту («музыкальной машине») происходит творческое «слияние композиторской и исполнительской мысли». Именно благодаря музыкальному инструменту («музыкальной машине») происходит творческое «слияние композиторской и исполнительской мысли»^{XVII}. Рассмотрению инструментально-технологических^Q аспектов музыкально-исполнительского творчества, в том числе предпосылок к становлению исполнительского мастерства на ЭМИ, посвящена данная лекция.

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 также представляет собой сложный комплекс резонаторов (см. рис. 1). Совокупность конкретных масс, упругостей отдельных «частей» музыкального инструмента, его геометрическая форма, способы извлечения звука создают не-

повторимое, присущее данному инструменту звучание или тембр. Интересно ознакомиться с пояснением относительно особенностей звучания акустических музыкальных инструментов Г. Гельмгольца^{40, XVIII, R}.

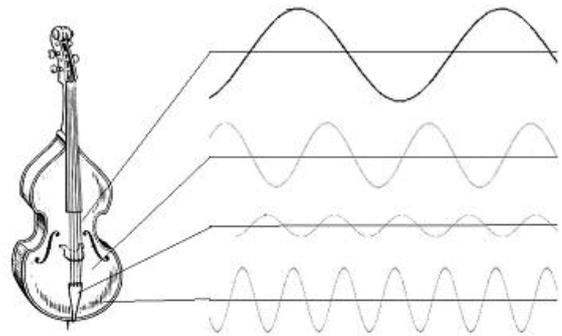


Рис. 1. Музыкальный инструмент — это сложный комплекс резонаторов

Итак, любой акустический инструмент представляет собой сложный комплекс резонаторов. Разберём это более подробно. Акустический резонатор в общем случае представляет собой колебательную систему, способную совершать колебания (резонировать) максимальной амплитуды (собственные колебания) при воздействии внешней силы определённой частоты. Под действием несинусоидальных 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 воздушные полости, называемые объёмными резонаторами.

При возбуждении струны возникают колебания в находящемся около неё объёмном резонаторе с определённым соотношением интенсивности различных обертонов, что однозначно создаёт тембр данного инструмента, определяемого 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 зависимым от плотности воздуха, которая в свою очередь зависит от величины атмосферного давления (чем больше давление, тем больше плотность). 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 инструмента.

Как уже отмечалось ранее, на протяжении веков постепенно изобретались новые способы извлечения музыкального звука и, соответственно, технологии изготовления новых музыкальных инструментов, отвечающих замыслам композиторов, вслушивающихся в звучание (музыку) окружающего их мира. В течение XX столетия не только сформировалась новая звуковая аура, но и в последние десятилетия XX — начале XXI века стремительно развивается новая область музыкального творчества (и образования!) — **музыкально-компьютерные технологии (МКТ)**. Как отмечено в Британской энциклопедии, с возникновением и развитием ЭМИ оказалась перевернутой новая страница в истории развития музыкального искусства. В чем это выражается? — Для ответа на поставленный вопрос поясним, что понимают под термином «**электронный музыкальный инструмент**».

В основе любого современного ЭМИ имеется микропроцессор (компьютер), с помощью которого по одной из известных технологий (см. предыдущую лекцию) синтезируется музыкальный звук. Контроллер, посредством которого музы-

кант исполняет то или иное музыкальное произведение на таком инструменте, может быть выполнен в виде 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.

Основными отличительными особенностями такого музыкального инструмента являются:

— *возможность редактирования (обратная связь) исполняемого произведения как в процессе его сочинения и предварительных репетиций исполнения, так и при создании новых исполнительских вариантов (редакций)*. Наш современник, пианист, педагог, учёный, создавший антологию фортепианного этюда (DVD), автор статей об особенностях исполнительского мастерства на электронных музыкальных инструментах К. Цатурян⁴¹ пишет: «Работа с электронным редактированием версий исполнения — совершенно новая область деятельности музыканта-исполнителя XXI в. Она основана на специфической слуховой работе современного пианиста-звукорежиссёра, на активизации в первую очередь художественного воображения, фантазии, эмоционально-образного мышления музыканта» [12, с. 11];

— *возможность изменения ЭМИ (дополнительные возможности настройки) в зависимости от конкретных целей использования такого инструмента (этот аспект был подробно рассмотрен в начале лекции);*

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

— *программируемость*, то есть возможность создания предварительного музыкального материала, его запись, сохранение и использование при необ-



ходимости в процессе последующего исполнения;

— *сокращение пути к творческому постижению музыки*. «В эпоху невиданного распространения компьютеров, неизвестного музыкантам во времена Гульда⁴² и, тем более, Рахманинова⁴³, впервые появляется возможность использовать редактирование записи собственной игры учащихся для того, чтобы сократить их путь к творческому постижению музыки» [12, с. 15].

Итак, необходимо понять, что представляют собой новые ЭМИ как элементы музыкально-творческого пространства, столь ярко заявившие о себе в последние десятилетия; каковы их отличительные особенности как исполнительских инструментов в сравнении с предшествующими музыкальными инструментами? Каковы содержащиеся в них предпосылки формирования «новой музыкальной эстетики»?

Для ответа на поставленные вопросы обратимся к анализу важнейших аспектов исполнительского мастерства на примере фортепианного искусства, которому посвятили себя выдающиеся музыканты прошлых и настоящего столетий; к фортепиано как к инструменту, который был и остаётся одним из наиболее популярных на протяжении двух с половиной веков. Такое обращение представляется вполне основательным благодаря значению этого инструмента (и — соответственно — пианистического искусства фортепианного исполнительства) в музыкальной культуре прошедших столетий (во многом — и нового). Клавишный механизм звукоизвлечения в ЭМИ можно рассматривать как дальнейшее развитие молоточкового фортепиано. В последнее время среди ЭМИ одним из наиболее широко используемых современных инструментов является электронное (цифровое) фортепиано⁵, что также располагает к сопоставлению с его предшественником. В нашу задачу входит также анализ особенностей

реализации творческой идеи (эмоционально-звуковой, звукокрасочной, художественно-образной, дополнительные возможности разнообразных вариантов 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 — ЭМИ (исходя из основных задач художника-исполнителя, учащегося, артиста, музыканта и возможностей музыкальных инструментов) в сравнении с особенностями исполнительского мастерства на акустических фортепиано.

Великий музыкант и педагог А.Г. Рубинштейн⁴⁴ 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^T, — пишет И. Гофман о наставлениях своего учителя. Любой метод, приводящий к отличному художественным результатам, к прекрасному и впечатляющему исполнению, был оправдан в его глазах» [11, с. 90].

Как передать истинный смысл исполняемого музыкального произведения? «Звучала как следует» — как именно? И что даёт новый электронный (в данном случае — клавишный) инструмент для выражения уже существующей музыки?

И. Гофман, творческий путь которого пришёлся на период высшего расцвета фортепианного искусства, имя которого входит в число имён самых блистательных пианистов конца XIX — начала XX века, таких как Д'Альбер⁴⁵, Зауэр⁴⁶, Годовский⁴⁷, Розенталь⁴⁸, Тереза Карреньо⁴⁹, Бузони⁵⁰, Падеревский⁵¹, Пахман⁵², Пауэр⁵³, Рейзенауэр⁵⁴, Пюньо⁵⁵, Корто⁵⁶,



Шнабель⁵⁷, Гальстон⁵⁸, Грюнфельд⁵⁹, Сафонов⁶⁰, Зилоти⁶¹, Лешетицкий⁶², Рахманинов о высочайшем мастерстве которого восхищённо высказывались Г. Нейгауз, Э. Гилельс⁶³, сформулировал ряд основных принципов исполнительского мастерства^{xix, u}, которые могут быть отнесены к исполнительству на любом музыкальном инструменте. Эти мысли получили развитие у Нейгауза^{xx}.

Несмотря на сравнительно краткую историю функционирования ЭМИ в художественно-творческой и исполнительской практике уже накоплен достаточный опыт^v, и можно с уверенностью выделить следующие примечательные особенности ЭМИ:

– электронный синтезатор по своим выразительным возможностям ближе к органу, чем к фортепиано;

– ЭМИ соединяет в себе многие выразительные возможности органа и оркестра;

– для исполнителя на ЭМИ добавляется ещё одна функция, а именно, функция дирижёра;

– ЭМИ предоставляет дополнительные возможности воспитания тембрового слуха (оркестрового, в том числе) для учащегося;

– ЭМИ создаёт дополнительные возможности для особого, более глубокого погружения в «художественное содержание музыки», позволяет по-новому «прочитать нотный текст» (И. Гофман), передать истинный смысл исполняемого музыкального произведения;

– на ЭМИ возникают новые, особые условия для «сотворчества» композитора и исполнителя;

– благодаря секвенсору, встроенному в электронный синтезатор, возможно соло исполнителя с оркестром (ансамблем) на клавиатуре;

– компактность этого нового инструмента при огромном многообразии его музыкальных выразительных средств позволяет использовать ансамбли синтезаторов;

– благодаря секвенсору, встроенному в ЭМИ (музыкальный компьютер), существенно облегчается возможность освоения современных форм техники композиции;

– ЭМИ начинают приобретать свою заметную роль и в творчестве современных композиторов, в том числе при создании музыки академических жанров;

– с использованием ЭМИ в современном сценическом исполнительском искусстве возникает «новая музыкальная эстетика» (К. Цатурян). «Голосом будущего» назвал ЭМИ композитор Р.К. Щедрин^{64, XXI};

– ЭМИ является одним из важнейших элементов компьютерной студии звукозаписи, вступая во взаимодействие с другими её составляющими, обеспечивает общий художественный результат;

– возникла новая педагогика музыкально-инструментального исполнительства в связи с использованием в современном сценическом исполнительском искусстве ЭМИ;

– музыкальный компьютер становится новым инструментом музыканта, несмотря на то, что процесс вхождения нового музыкального инструмента, как известно, всегда был сопряжён с рядом трудностей;

– с использованием современных моделей ЭМИ появилась возможность моделирования закономерностей «цветного слуха»;

– ЭМИ – это мультиинструмент, он обладает мегатембровой полифункциональностью;

– благодаря возможностям современных МКТ в роли музыкального инструмента может выступать звуковое пространство.

Процесс вхождения нового музыкального инструмента. Отметим, что процесс вхождения любого нового инструмента не был легким. Так, известно, что «французский просветитель Вольтер, признававший лишь клавесин, скептически прозвал фортепиано “инструментом

кастрюльщика»^W: «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» [12, с. 9].

Музыканты-исследователи, занимающиеся изучением истории музыкальных инструментов, хорошо знакомы с теми трудностями, которые встречали на своём пути «новшества» в этой области. Так, известно, что для утверждения фортепиано в повседневной практике, понадобилось не менее полувека, и даже в 20-е годы XIX столетия, наряду с «молоточковым» фортепиано, распространены были также его «предшественники» — клавикорд и клавесин. Подробнее данный материал изложен в трудах исследователей музыки, среди которых отметим книги^{X, Y}. «Возможно уже завтра совершенное электронное фортепиано станет обыденным явлением, как это случилось с акустическим фортепиано — роялем и пианино» [12, с. 14].

О новой педагогике музыкального исполнительства высказываются многие учёные и педагоги, представители различных музыкальных специальностей. Приведем некоторые из них^{XXII} В. П. Сраджев⁶⁵ на Международной научно-практической конференции «Современное музыкальное образование»^Z обратил внимание музыкантов на ряд интересных фактов^{XXIII}.

Итак, **музыкальный компьютер становится новым инструментом (в том числе и исполнительским) музыканта.** (Отметим, что и ЭМИ — по существу, является одним из видов музыкального компьютера, выполненного в удобном для исполнителя на сцене виде). Ученик Д. Д. Шостаковича⁶⁶ Г. Г. Белов⁶⁷ пишет об ЭМИ и музыкальном компьютере как о многофункциональном «средстве производства» [1, с. 139]^{XXIV}.

ЭМИ — это мультиинструмент, он обладает мегатембровой полифункциональностью. Необходимо 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 сфере МКТ, в компьютерном музыкальном творчестве **понятием «инструмент» определяют более широкую категорию устройств;** «музыкальным инструментом» в данном случае может быть и внешний звуковой модуль с клавиатурой (см. рис. 2), и его рэковая модификация (рис. 3), и звуковой модуль (рис. 4), содержащий сотни, тысячи «инструментов» («банки» электронных инструментальных звуков).



Рис. 2. Клавишная модификация аналогового синтезатора фирмы Korg



Рис. 3. Рэковая модификация аналогового синтезатора фирмы Korg

В такой «музыкальный инструмент», изначально содержащий десятки тысяч «инструментов», можно загрузить их ещё сколько угодно и каких угодно (выбор зависит только от репертуара, тонкости музыкального восприятия, замысла композитора, его художественно-эстетического вкуса и др.).



Рис. 4. Звуковой модуль фирмы Roland

Это также может быть модуль с синтезаторными и семплерными возможностями.



Рис. 5. Music Sequencer фирмы Yamaha с семплерными возможностями

И, наконец, современная рабочая станция, по сути, музыкальный компьютер с музыкальной клавиатурой, «снабжённый» необходимой программой и аппаратной поддержкой (рис. 5).

Композитор, музыковед и автор книг по МКТ В. Белунцов⁶⁸, отвечая на вопрос, что такое ЭМИ, и отмечая его отличие от традиционного понятия, пишет, что ЭМИ

— это «набор сэмплированных и/или синтезированных звуков и параметров для их воспроизведения, предназначенный для управления с клавиатуры или через MIDI-интерфейс»^{xxv}.



Рис. 6. Рабочая станция фирмы Yamaha — новый электронный музыкальный инструмент

Для управления тембром звука (его модификациями и даже созданием тембра) в современных компьютерных студиях звукозаписи служат особые частотные фильтры (рис. 7), в основе которых лежат «электронные резонаторы». Они настроены на различные частоты, повышающие или понижающие уровень разных призвуков по желанию звукорежиссёра.

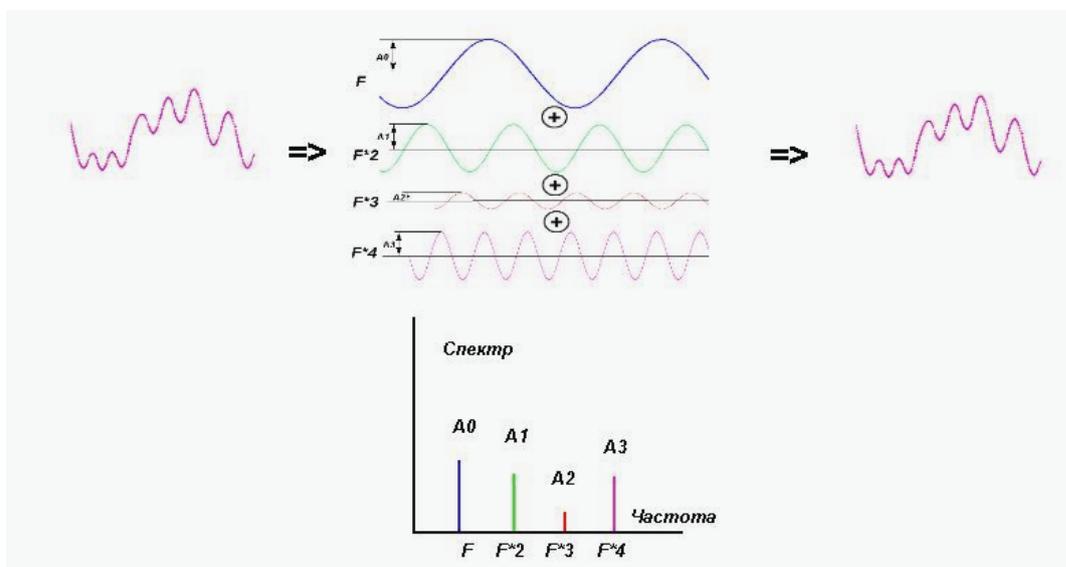


Рис. 7. Применение частотных фильтров



Широкое применение сегодня нашли многополосные частотные фильтры — эквалайзеры. С помощью МКТ, производя частотную обработку звука (что очень удобно на практике), оказывается возможным новый «цифровой» — не механический, не электрический и т. д. — способ создания тембра (данный способ в рамках сложившейся «компьютерной» терминологии можно назвать «виртуальным») с использованием специализированного программного обеспечения и аппаратных электронных/цифровых средств.

Современными музыкантами предпринимаются попытки связи композиции с теорией информации, объединения музыкальных параметров с акустическими посредством сериального комбинирования, осуществляется идея регулируемого многомерного звукового пространства: такая многоуровневая композиционная модель применима, например, для электронной генерации звука с использованием чётко дифференцированной модуляции параметров частотного, длительностного и динамического уровня и т. п. [14; 15].

Наконец, само акустическое пространство (то есть пространственное расположение источников звука, или «звуковая картина», как образно обозначает звучащий мир музыкальных звуков звукорежиссёр В. 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»^{AA} (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» (Ж.-М. Жарр) и «планетарный масштаб» А. Пуссёра.

Благодаря возможностям современных ЭМИ — так называемых, рабочих станций — музыкальным инструментом может являться само звуковое пространство. С тембровой стороной звука связаны, как известно, пространственные характеристики его воспроизведения и отражения (подробнее см. в предыдущей лекции) — от расположения источников звука в физическом пространстве до моделирования акустики помещения^{XXVI}.

Аппаратные, технические возможности современных ЭМИ, представленных в сценическом музыкальном искусстве, а также их программное сопровождение создают условия для осуществления идеи, когда в роли **музыкального инструмента** может выступать **звуковое пространство**, которое музыкант имеет возможность моделировать с помощью своего музыкального инструмента — электронного синтезатора — и МКТ в целом. Э. Артемьев пишет: «В пространстве можно бесконечно варьировать даже один звук: по-разному размещать, погружать, задерживать... Понятие музыки настолько расширяется! 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»^{AB}.

Благодаря удивительным, уникальным возможностям МКТ в области стереофонического панорамирования «звуковой картины», современные информационные технологии могут быть использованы как средство симфонической организации музыки (аналогично тембрам).



 ЛИТЕРАТУРА 

1. Артемьев Э.Н. Электроника позволяет решить любые эстетические и технические проблемы // Звукорежиссёр. 2001. № 2. С. 56–61.
2. Белов Г.Г., Горбунова И.Б. Кибернетика и музыка: постановка проблемы // Общество: философия, история, культура. 2016. № 12. С. 138–143.
3. Горбунова И.Б. «Автоматические композиции» как предшественники применения кибернетики в музыке // Общество: философия, история, культура. 2016. № 9. С. 97–101.
4. Горбунова И.Б. Компьютерная студия звукозаписи как инструмент музыкального творчества и феномен музыкальной культуры // Общество: философия, история, культура. 2017. № 2. С. 87–92.
5. 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.
6. Горбунова И.Б. О Юрии Николаевиче Раге // Измерение музыки. Памяти Юрия Николаевича Рага (1926–2012): сб. научных статей. СПб., 2015. С. 15–20.
7. Горбунова И.Б., Заливадный М.С. О значении информационных технологий для современной экспериментальной эстетики (музыкально-теоретический аспект) // Субкультуры и коммуникативные стратегии информационного общества: труды междунар. науч.-теоретич. конф. / отв. за выпуск О.Д. Шипунова. СПб., 2014. С. 97–100.
8. Горбунова И.Б., Заливадный М.С. О математических методах в исследовании музыки и подготовке музыкантов // Проблемы музыкальной науки / Music Scholarship. 2013. № 1. С. 264–268.
9. 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. 135–138.
10. Горбунова И.Б., Чибирёв С.В. Компьютерное моделирование процесса музыкального творчества // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2014. № 168. С. 84–93.
11. Гофман И. Фортепианная игра. Ответы на вопросы о фортепианной игре / пер. с англ. Г.А. Павловой. М.: Музгиз, 1961. 223 с.
12. Цатурян К.А. Современное электронное фортепиано // Музыка и электроника. 2007. № 4. С. 4–16.
13. Gorbunova I.B. Electronic Musical Instruments: To the Problem of Formation of Performance Mastery // Int'l Conference Proceedings. Budapest, 2018, pp. 23–28.
14. Gorbunova I.B. New Tool for a Musician // International Conference Proceedings. Paris, 2018, pp. 144–149.
15. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Modeling the Process of Musical Creativity in Musical Instrument Digital Interface Format // Opcion. Universidad del Zulia. 2019. T. 35. No. S22, pp. 392–409.

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. Artem'ev E.N. Elektronika pozvolyaet reshit' lyubye esteticheskie i tekhnicheskie problemy [Electronics allows You to Solve any Aesthetic and Technical Problems]. *Zvukorezhisser* [Sound Engineer]. 2001. No. 2, pp. 56–61.
2. Belov G.G., Gorbunova I.B. Kibernetika i muzyka: postanovka problemy [Cybernetics and Music: Problem Statement]. *Obshchestvo: filosofiya, istoriya, kul'tura* [Society: Philosophy, History, Culture]. 2016. No. 12, pp. 138–143.
3. Gorbunova I.B. «Avtomaticheskie kompozitsii» kak predshestvenniki primeneniya kibernetiki v muzyke [“Automatic Compositions” as Precursors of the Use of Cybernetics in Music]. *Obshchestvo: filosofiya, istoriya, kul'tura* [Society: Philosophy, History, Culture]. 2016. No. 9, pp. 97–101.
4. Gorbunova I.B. Komp'yuternaya studiya zvukozapisi kak instrument muzykal'nogo tvorchestva i fenomen muzykal'noy kul'tury [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.
5. Gorbunova I.B. Metodicheskie aspekty tolkovaniya funktsional'no-logicheskikh zakonomernostey muzyki i muzykal'no-komp'yuternye tekhnologii: sistemy muzykal'noy notatsii [Methodological Aspects of Interpretation of Functional and Logical Laws of Music and Music Computer Technologies: Systems of Musical Notation]. *Obshchestvo: sotsiologiya, psikhologiya, pedagogika* [Society: Sociology, Psychology, Pedagogy]. 2016. No. 10, pp. 69–77.
6. Gorbunova I.B. O Yurii Nikolaeviche Ragse [About Yuri Nikolaevich Rags]. *Izmerenie muzyki. Pamyati Yuriya Nikolaevicha Ragsa (1926–2012): sb. nauchnykh statey* [Music Measurement. In Memory of Yuri Nikolaevich Rags (1926–2012): Collection of Scientific Articles]. St. Petersburg, 2015, pp. 15–20.
7. Gorbunova I.B., Zalivadnyy M.S. O znachenii informatsionnykh tekhnologiy dlya sovremennoy eksperimental'noy estetiki (muzykal'no-teoreticheskiy aspekt) [About the Importance of Information Technologies for Contemporary Experimental Aesthetics (Musical and Theoretical Aspect)]. *Subkul'tury i kommunikativnye strategii informatsionnogo obshchestva: trudy mezhdunar. nauch.-teoretich. konf.* [Subculture and Communication Strategies of the Information Society: Proceedings of the International Scientific and Theoretical Conference]. Ed. by O.D. Shipunova. St. Petersburg, 2014, pp. 97–100.
8. 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.
9. Gorbunova I.B., Zalivadnyy M.S. Opyt matematicheskogo predstavleniya muzykal'no-logicheskikh zakonomernostey v knige Ya. Ksenakisa «Formalizovannaya muzyka» [An Attempt of Mathematical Representation of Logical Regularities in Music in the Book *Musiques Formelles* by Iannis Xenakis]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Society, Environment, Development]. 2012. No. 4 (25), pp. 135–138.
10. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Komp'yuternoe modelirovanie protsessa muzykal'nogo tvorchestva [Computer modeling of musical creativity process]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena* [Bulletin of the Herzen State Pedagogical University of Russia]. 2014. No. 168, pp. 84–93.
11. Gofman I. *Fortepiannaya igra. Otvetny na voprosy o fortepiannoy igre* [Piano Game. Answers to Questions about Piano Playing]. Translation from English by G.A. Pavlova. Moscow: Muzgiz, 1961. 223 p.
12. Tsaturyan K.A. Sovremennoe elektronnoe fortepiano [Modern Electronic Piano]. *Muzyka i elektronika* [Music and Electronics]. 2007. No. 4, pp. 4–16.



13. Gorbunova I.B. Electronic Musical Instruments: To the Problem of Formation of Performance Mastery. *Int'l Conference Proceedings*. Budapest, 2018, pp. 23–28.

14. Gorbunova I.B. New Tool for a Musician. *International Conference Proceedings*. Paris, 2018, pp. 144–149.

15. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Modeling the Process of Musical Creativity in Musical Instrument Digital Interface Format. *Opcion*. Universidad del Zulia. 2019. T. 35. No. S22, pp. 392–409.

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
