



ISSN 2658-4824 (Print)

УДК 78.01

DOI: 10.33779/2658-4824.2020.2.060-078

И.Б. ГОРБУНОВА*Российский государственный педагогический университет им. 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**Saint Petersburg, Russia**ORCID: 0000-0003-4389-6719**gorbunovaib@herzen.spb.ru***Музыкальный компьютер
(Musical Computer)**

Новую страницу в выявлении и представлении выразительных возможностей музыкального звука открыл компьютер в роли музыкального инструмента, или «музыкальный компьютер». Современными музыкантами предпринимаются попытки связи композиции с теорией информации, объединения музыкальных параметров с акустическими, осуществляется идея регулируемого многомерного звукового пространства, многоуровневой композиционной модели, применимой для генерации звука с использованием чётко дифференцированной модуляции параметров частотного, длительностного и динамического уровней. В данной лекции автор обращается к основным этапам эволюции понятия «музыкальный компьютер», отражающей изменения звукового и музыкального материала в ходе развития практики композиции и музицирования; рассматриваются вопросы, связанные с особенностями развития компьютерного синтеза звука, его отличие от электронного синтеза; проводится ретроспективный анализ технических и технологических экспериментов музыкантов во взаимодействии с программистами, которые способствовали развитию музыкального компьютера как многофункционального инструмента музыканта, включая возможности его использования как средства обеспечения симфонической организации музыки посредством стереофонического панорамирования звуковой картины музыкального пространства; затрагивается

Musical Computer

A new page in the manifestation and demonstration of expressive means of musical sound has been opened by the computer as a musical instrument, or the “musical computer.” Contemporary musicians have endeavored at the attempts at connecting composition with the theory of information, the unification of musical and acoustic parameters, having realized the idea of a regulated poly-dimensional sound space, a multilevel compositional model applied for sound generation with the use of concisely differentiated modulations of parameters of the level of frequencies, durations and dynamics. In the present lecture the author turns to the main stages of the evolution of the concept of “musical computer” reflecting the changes in the sound and the musical material during the course of the development of the practice of composition and music-making; questions are examined in connection with the particularities of development of the computer synthesis of sound; a retrospective analysis of technical and technological experiments made by musicians in their interactions with computer technologists, who have enhanced the development of the musical computer as a poly-functional musical instrument, including the capabilities of its use as a means of providing the symphonic organization of music by means of stereophonic panorama setting of musical space; a broad range of issues is touched upon in connection with the peculiarities of musicians’ thinking and perception, including the impediments to a consistent acquisition of possibilities of the programmed musical instrument existent in the sphere.

широкий круг проблем, связанных с особенностями мышления и восприятия музыкантов, включая существующие в этой области препятствия на пути к последовательному постижению возможностей программируемого музыкального инструмента.

Ключевые слова:

информационные технологии в музыке, музыкально-компьютерные технологии, музыкальные звуки, музыкальный компьютер, музыкальный синтезатор, музыкальное образование.

Keywords:

informational technologies in music, music-computer technologies, musical sounds, musical computer, musical synthesizer, musical education.

Для цитирования/For citation:

Горбунова И.Б. Музыкальный компьютер (Musical Computer) // ИКОНИ / ICONI. 2020. № 2. С. 60–78. DOI: 10.33779/2658-4824.2020.2.060-078.

ЛЕКЦИЯ № 3

Изобретение курантов, шарманок, музыкальных шкатулок, оркестрионов, патефонов — начало пути к «компьютеризации» музыки. В изготовлении различных музыкальных инструментов — неутомимое стремление человеческой фантазии добиться тембрового разнообразия звука.

Г.Г. Белов

Музыкальный компьютер — новый инструмент музыканта

Известно, что недоверие к использованию компьютерной техники в музыке поддерживалось мнением о чуть ли не убийственной её роли для субъективного характера творчества, его духовности. Это мнение основывается на устойчивом многовековом заблуждении. Однако техника никогда не убивала творчество, напротив, они развивались в тесной взаимосвязи: вся европейская музыкальная культура основана на технике музыкальных инструментов. А архитектура? Акустика храмов и концертных залов — это тот технический базис, без которого немислима вокальная и хо-

ровая музыка. Все дело — в количестве человеческого тепла, любви и труда, вложенных в инструмент, в звук, в музыку, поэтому и «человечность» компьютера зависит от того, как человек будет его осваивать. Компьютер является своеобразным зеркалом человеческого мышления: в нём можно увидеть самого себя как бы со стороны, но для этого его необходимо освоить.

За более чем 70-летний период применения в музыкальном творчестве и музыкальных исследованиях вычислительной техники она эволюционировала. Первоначально компьютеры обладали сравнительно небольшими ресурсами — малой памятью, некоторой «медлительностью» (низкой скоростью обработки

информации). Творчество и исследования в то время шли по пути анализа и создания новых нотных (музыкальных) текстов. Исследователи изучали с помощью компьютера «правила» композиции и на основе этих правил создавали новые треки. Такие «сочинения» не обладали (и не могли обладать) высокими художественными качествами.

В 50-е годы XX века в различных концах цивилизованного мира шли эксперименты с электронным синтезом звука. Как уже указывалось, наиболее значительными были результаты, достигнутые Р. Мугом^{1*}, Д. Букла² в США и Студией электронной музыки при Музее-квартире А.Н. Скрябина³ (впоследствии — при фирме «Мелодия») в СССР, IRCAM во Франции, К. Штокхаузеном⁴ в Германии.

Одновременно с этим осуществлялись попытки управления с помощью компьютера электронными звучаниями и совершенствовались сами компьютерные средства и их возможности. Разрабатывались и технологии автоматического анализа и синтеза речи, и речевое управление автоматикой, и автоматизация информационной службы, опознание говорящего по голосу, и аппараты для людей с речевыми, слуховыми и зрительными нарушениями и многое другое; проводился анализ и синтез живых музыкальных звучаний. Понятно, что существенные результаты в перечисленных областях могли быть достигнуты лишь с применением более адекватных цифровых методов анализа и синтеза звука.

По существу человек как бы *остановил звуковую волну* и теперь может её видоизменять и моделировать её архитектуру, искать глубинные законы её строения. Главное преимущество цифровых систем для музыканта-исследователя — способность воспроизводить и легко модифицировать «синтезированные

ные» (или записанные) и проанализированные «естественные» звучания, а также способность создавать совершенно новые, оригинальные звуковые формы. М.В. Мэттьюз⁵ и Дж.Р. Пирс⁶ в статье «Компьютер в роли музыкального инструмента» писали: «Компьютеру достаточно 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» [13, с. 82].

Более очевидным представляется значение музыкального компьютера как инструмента на промежуточном этапе работы композитора над созданием музыкального произведения. Композитор, как правило, для демонстрации своих музыкальных сочинений имеет не только напечатанную партитуру, но и цифровое исполнение музыки, записанное на цифровой носитель. Такое исполнение — не только некий итог всего предшествующего этапа сочинения, наступающий значительно раньше, чем в «реальной жизни», но и большая помощь при работе над сочинением.

Отметим, что компьютерные инструменты можно настраивать в любой темпериации. 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. Заливадным⁷ и музыковедом Г.А. Когутом⁸ проделана большая экспериментальная работа по выявлению выразительных возможностей микротоновых систем, представленных как примерами из истории музыки, так и оригинальными композициями.

* QR-код 1. Именной указатель:



Как известно, 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, ансамбль Руссоло⁹ и т. п. Совершенно очевидно, что и понятия музыкального и немusического звука с течением времени трансформировались, смысл этих понятий меняется на протяжении исторической эволюции самой практики музицирования. Эта проблема была подробно рассмотрена в нашей первой лекции «Архитектоника музыкального звука» (см. [4]). Так, например, одним из сопутствующих факторов в изменении содержания понятия «музыкальный звук» явились новые композиционные формы и техники. Ученик Д.Д. Шостаковича¹⁰ Г.Г. Белов¹¹ пишет: «Для профессионального композитора музыкальный РС способен стать многофункциональным “средством производства”. Если композитор тщательно продумал свою композицию, полностью слышит её своим внутренним слухом, то в работе над звуковым её воплощением он может обойтись без фортепиано (подобно тому, как за письменным столом писали свои партитуры П.И. Чайковский¹² и Д.Д. Шостакович). <...> Если бы Свиридов сыграл свою импровизацию на MIDI-клавиатуре, то на выходе он получил бы готовый нотный текст без необходимости в его время расшифровывать магнитофонную запись фортепианного исполнения»^{A**} [2, с. 139]. Отметим, что и электронный музыкальный инструмент (ЭМИ [14; 16]) — это **мультиинструмент, он обладает мегатембровой полифункциональностью** (см. подробнее лекцию «Музыкальные синтезаторы» [4]), то есть, по существу, является одной из разновидно-

стей представления музыкального компьютера, выполненной в удобном для исполнителя на сцене виде.

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. ([5; 17] и др.).

Наконец, само акустическое пространство (то есть пространственное расположение источников звука, или «звуковая картина», как образно обозначает звучащий мир музыкальных звуков звукорежиссёр В. Динов¹³) 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 П. Булеза¹⁴ «Ответ»^B (сам maestro дирижировал таким оркестром) — до партитур электронных сочинений Э. Артемьева¹⁵, включающего виртуальное пространственное моделирование звука как необходимый элемент звучания музыкального произведения, для исполнения которых необходим «открытый воздух» (Ж.-М. Жарр¹⁶) и «планетарный масштаб» А. Пуссёра¹⁷. Благодаря возможностям современных музыкальных компьютеров — музыкальных рабочих станций — **музыкальным инструментом может являться само звуковое пространство**. С тембровой стороной

** QR-код 2. Высказывания музыкантов и учёных, специалистов в различных областях науки, пояснения и примечания:



звука связаны, как известно, пространственные характеристики его восприятия и отражения (подробнее см. в предыдущей лекции) — от расположения источников звука в физическом пространстве до моделирования акустики помещения.

Аппаратные, технические возможности современных музыкальных компьютеров, 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. «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» [1].

Благодаря удивительным, уникальным возможностям музыкального компьютера современные музыкально-компьютерные технологии (МКТ) [7; 12; 15] могут быть использованы как средство симфонической организации музыки в области стереофонического панорамирования «звуковой картины» музыкального пространства.

Компьютер музыкальный: страницы истории

Как развивался компьютерный синтез звука, в чем отличие этого процесса от обычного электронного синтеза, какие технические и технологические эксперименты музыкантов во взаимодействии с программистами способствовали развитию музыкального компьютера как многофункционального инструмента музыканта? Ответы на поставленные вопросы нам предстоит выяснить в данной лекции.

Впервые синтез звука с помощью компьютера был описан М. Матьюзом и сотрудниками Bell Telephone Laboratory в США в 1961 году. Компьютерный синтез звука включал в себя описание волновой формы звука как последовательности чисел, представляющих собой мгновенные значения амплитуд волны, измеренных через маленькие последовательные промежутки времени. Сама по себе звуковая волна генерировалась в процессе цифро-аналогового преобразования (ЦАП), в котором сначала цифры преобразовывались в электрический сигнал — прерывистый — последовательности значений тока, а на следующем этапе прерывистый сигнал преобразовывался собственно в звуковую волну (плавную волновую форму), или звук.

Первоначально бытовало мнение, что компьютерная композиция, так же как и электронная музыка, — это не новый стиль, новое художественное явление, «новая музыкальная эстетика» (термин пианиста, учёного, педагога, исполнителя музыки на новых электронных музыкальных инструментах К.А. Цатуряна¹⁸), а всего лишь технология, поскольку любая музыка, от традиционной до совершенно новой, может быть озвучена с помощью таких машин. Постепенно компьютерная композиция и синтез звука становятся взаимодополняющими процессами, так как первый из них плавно подводил ко второму. Композитор может выбрать варианты использования компьютера: он может воспользоваться им только для распечатывания нот, может переложить партитуру для электронного звучания с помощью набора программ для синтеза звука, может использовать компьютер как базу данных для своего творчества и т. д. Но самым главным для композитора, работающего с музыкальным компьютером как инструментом музыкального творчества, является не дублирование или модификация с его помощью известных стилей, а поиск новых способов выражения музыкальных идей, которые



возможны только посредством данного инструмента — музыкального компьютера — и являются уникальным результатом взаимодействия музыканта и нового музыкального инструмента.

Однако существовали и продолжают ещё существовать и теперь препятствия на пути создания компьютерных композиций. Одна часть из них связана с развитием специальных языков программирования и сред уровня конечного пользователя, удобных для музыкантов. Сравнительно давно стало понятно, что музыканты нуждаются в специальном «языке общения» с компьютером, оперирующим музыкальной или квазимузыкальной терминологией, процедурами, понятными музыканту, в «языке», снабжённом библиотеками, содержащими готовые подпрограммы, описывающие те или иные музыкальные эффекты и явления.

В дальнейшем возникло «разделение труда», при котором специалисты работали промежуточный «язык» для общения музыканта с компьютером, теперь уже с *музыкальным компьютером*, с миром звуков, с базой музыкальных данных, не требующих никакой специальной подготовки, кроме музыкальной, для музыканта-исследователя, композитора, педагога.

Можно считать, что в основном эта трудность преодолена.

Другая часть проблем связана с особенностями мышления и восприятия музыкантов, препятствующими постижению всех возможностей **программируемо-го** музыкального инструмента. Первые МКТ-композиции создавались в тесном взаимодействии композиторов и математиков. На раннем этапе применялся так называемый «пакетный режим». Он заключался в запуске программы, вводе данных, получении результатов и их последующей оценке. Влиять на динамику процесса музыкального развития композитор не мог. Кроме того, при использовании «пакетного режима» создания

алгоритмической композиции ему приходилось быть ещё и программистом, что значительно ограничивало возможности творческого выражения композитора. Так, одна из наиболее ранних композиций, созданных с использованием компьютера, — сюита «Иллиак» (“Iliac Suit for String Quartet”) для струнного квартета (1957) — явилась творением двух американцев: композитора Л. Хиллера¹⁹ и математика Л. Айзексона²⁰. Программа представляла собой набор из четырех модулей, в которых с помощью генератора случайных чисел выбирались запрограммированные заранее музыкальные элементы, такие как высота тона, ритм, динамика развития мелодической линии. Затем они отбирались с помощью запрограммированных же правил композиции (и всё это осуществлялось на базе разработанной музыкантом и математиком компьютерной программы).

Две другие компьютерные музыкальные композиции, очень разные по технологии работы с ними, были созданы Я. Ксенакисом²¹ — ST/10-1, 080262 (в 1962 г.), Дж. Кейджем²² и Хиллером — «HPSCHD»^c в 1968 году. Оба этих произведения иллюстрировали два разных подхода к компьютерной композиции, а также ярко выявили другие, более поздние подходы к созданию музыкальных произведений с помощью компьютера. ST/10-1, 080262 — одна из ряда работ Ксенакиса, написанная композитором для компьютера системы IBM 7090 в 1961 году, реализованная им на основе программы, созданной на базе языка программирования «Фортран», и предназначенная для осуществления его творческих идей с помощью музыкального компьютера. Несколькими годами раньше Ксенакис создал музыкальную композицию, названную им «Achorripsis» («Ахорипсис» — по переводу Когоутека²³ «Брошенное эхо»), при написании которой он использовал методы математической статистики и распределение Пуассона для определения высоты тона, длительности звучания, инструк-

ции для проигрывания и исполнения музыкальных элементов с помощью различных инструментов своей музыкальной партитуры. Ксенакис переделывал их с помощью компьютера, переименовывал их, в то же время создавал ряд других, похожих композиций. «HPSCHD» состоит из партитур неопределенной продолжительности звучания для исполнения от одного до семи клавесинов от одной до пятидесяти одной вариаций записи. Для озвучивания «HPSCHD» композиторы разработали три вида компьютерных программ, связанных между собой. Для первой из них, написанной для соло на клавесине, основой послужила игра в музыкальные кости (Musical Dice Game), описанная Моцартом²⁴ в «Руководстве, как сочинять менуэты, вальсы...»^D: последовательность тактов выбиралась с помощью бросания костей, а затем модифицировалась с помощью компьютерной программы, составленной на основе принципов, изложенных в Книге Перемен, составленной китайским оракулом Ching I. Вторая часть программы генерировала пятьдесят одну звуковую дорожку записи на пленку. Они представляли собой монозаписи микротоновых мелодий, созданных в стиле Моцарта. Третья программа представляла собой инструкцию для исполнителя.

Хиллер продолжал развивать технику композиционного программирования для того, чтобы завершить двухчасовой цикл сочинений, названный им «Алгоритмы I», «Алгоритмы II», «Алгоритмы III» (Algorithms I, Algorithms II, Algorithms III). Музыканты стремились понять возможность новых технологий в организации музыкального материала и творческого процесса. Позднее, в 1980-е годы, эти попытки явились основой для создания для музыкантов профессиональных программных средств, позволяющих существенно упростить творческую работу композитора с помощью компьютера.

На раннем этапе было известно три основных технологии звукового компью-

терного синтеза, однако лишь цифро-аналоговое (и — обратно — аналогово-цифровое) преобразование представляло реальный интерес и получило своё техническое развитие. Другие, менее известные и менее востребованные технологии звукового синтеза были использованы, например, при создании Компьютерной кантаты (Computer Cantata) Л. Хиллером и Р. Бейкером в 1963 году и «Sonoriferous Loops» Г. Брюном²⁵ в 1965 году¹.

Интерес к компьютерной композиции неуклонно возрастал. Например, Г.М. Кёниг²⁶, директор института акустики Утрехтского университета в Нидерландах (после ряда неудачных попыток на протяжении нескольких лет) написал новое компьютерное музыкальное сочинение «Сегменты 99–105» (1982) для скрипки и фортепиано. Тесно связанными с работами Кёнига были теоретические исследования и интенсивно публикующиеся труды, посвящённые моделям музыкальных композиций, разработанным американским композитором О. Ласке²⁷. Другой американец, Ч. Эймз, написал несколько сочинений для фортепиано или небольшого ансамбля, которые были менее стохастичны^E, чем предыдущие, и носили более детерминированный, чем большинство предыдущих композиций, характер. К. Барлоу²⁸ создал выигравшую премию композицию «Çogluatobüsisletmesi» (1978), которую он представил в двух вариантах — для исполнения на фортепиано и «в записи».

Другим не менее важным примером компьютерной музыкальной композиции явилась музыка Л. Остина²⁹ «Phantasmagoria: Fantasies of Ives' Universe Symphony» («Фантазии о “Вселенской симфонии” Айвза») (1977). Эта композиция сильно зависела от ранних компьютерных композиций Ч. Айвза³⁰ и наиболее важных его сочинений, в которых он использовал различные сочетания из 45 случайных набросков и фрагментов от последней и наиболее амбициозной композиции, которую он оставил в виде пёстрого собрания фрагментов.

Граница между композицией и звуковым синтезом становилась всё менее и менее чёткой, более прозрачной, по мере того как технологии звукового синтеза усложнялись, звуковой синтез становился более искусным делом (творческим явлением). У композиторов появилась возможность экспериментировать с композиционными структурами, техниками, которые становились более независимыми от традиционного музыкального синтаксиса. Ярким примером этому была композиция «Androgeny», созданная канадским композитором Б. Труаксом³⁰ в 1978 году. «Компьютеры первых поколений не обладали способностью синтезировать музыку в реальном масштабе времени»^F.

Создание «электронных звуков» с помощью цифровых технологий быстро вытесняли генераторы, аналоговые синтезаторы и другие аудио-устройства, которые широко использовали композиторы, создававшие электронную музыку. «Известно, что компьютерные технологии способствовали рождению новых стилевых направлений и школ в музыкальном искусстве: от инженерно-математических (Ксенакис), электронно-компьютерного монтажа (Штокхаузен) — к деятельности знаменитого института ИРКАМ с его разнообразием моделей электронно-акустического музицирования»^G.

Отметим, что композиция и синтез звуков, как становится ясным из предварительно изложенного материала, — взаимосвязанные процессы, поскольку первое побуждает второе и второе, в свою очередь, влияет на первое.

По сравнению с электронными музыкальными синтезаторами, широко распространенными в 1960–1970-х годах прошлого столетия, в которых электронные циклы представляли собой специфические генераторы волн, системы музыкальной композиции на основе компьютерных технологий «оказались способны» к представлению ряда функций в виде описания специальных

вычислительных процедур — последовательностей, или *алгоритмов*. Под алгоритмом в самом широком смысле понимается строго определенная последовательность действий, приводящая к искомому результату. Алгоритм, написанный композитором или программистом, представляет собой последовательность команд, сохранённых в цифровой среде, которая затем «загружается» в компьютер. (Заметим, что если композитор традиционно пишет партитуру, содержащую запись всех специфических «звуковых явлений», включённых в данную музыкальную композицию, то эта партитура тоже представляет собой последовательность действий или «программу» для исполнителя.) Использование алгоритмов в процессе создания музыкальной композиции привело к возникновению понятия «алгоритмическая музыка».

Совершенно очевидным является тот факт, что с самых ранних попыток успех взаимодействия композитора и компьютера полностью зависит от глубины осмысления творческой задачи. Этот процесс предполагает творческое переосмысление композитором, своего рода перевод образно-содержательного смысла из одной системы музыкально-языковых средств в другую. Композиция, в частности, может осуществляться как свободное «конвертирование» музыкальных идей различных культур, аналогично ситуации, описанной Г. Гессе³¹, и является своего рода экспертной системой, требующей от композитора, кроме всего прочего, глубоких знаний по истории культуры, знаний в области различных музыкально-теоретических систем и многого другого.

Как устроена компьютерная программа, порождающая музыку? Как в самых общих чертах происходит синтезирование композиции на музыкальном компьютере? **Нотный текст (последовательность нот и агогических обозначений)** — это, как известно, *алгоритм*



или программа действий для музыканта. Для того чтобы синтезировать музыку с помощью музыкального компьютера, необходимо также иметь алгоритм или компьютерную программу. Опишем кратко этот процесс. Датчик случайных чисел — закодированных нот — предлагает одну ноту за другой. Каждая из них как бы пропускается через фильтр, которым служит набор запрограммированных правил композиций (или база данных и своеобразная экспертная система). Если нота удовлетворяет этому набору, она помещается в нотную строку, если нет — отбрасывается, а вместо неё предлагается другая. И так до тех пор, пока не будет получена окончательная композиция, которую можно отпечатать на бумаге или воспроизвести в звуке. Это общий принцип, используемый во всех программах, «сочиняющих» музыку на компьютере, а также во всех компьютерных «моделях творчества». Различаются программы набором правил — фильтром, который определяет эффективность модели и качество результатов. «Нотный список» — это компьютерная инструкция, определяющая по существу ту информацию, которую сообщают музыканту ноты. В этом списке указано, какая нота должна быть сыграна и на каком инструменте, её продолжительность, высота и громкость. Список часто включает дополнительную информацию, определяющую тембр инструмента. Нотные списки, конечно, не похожи на обычные музыкальные партитуры. Они состоят из букв и чисел, интерпретируемых компьютером как входные данные для синтезирующих выборочные значения «инструментов», которые в свою очередь состоят из соответствующим образом соединенных генераторов»^Н. «Образом» «нотного списка» сегодня можно считать, например, event list или список событий любой программы-секвенсора (см. [10]).

Как в самых общих чертах строилась работа композитора с компьютером? Композитор мог осуществлять запись,

редакцию, прослушивание и печать партитуры с помощью компьютера. Композитор создавал основные темы и поручал компьютеру некоторые типовые алгоритмы развития: транспозиции, имитации, мелодическое развитие, варьирование и т. п. *Алгоритм* указывает на тип трансформаций, их глубину, динамику, последовательность и объём создаваемых фрагментов. Поскольку алгоритм — это закон, по которому какое-либо действие разлагается на простейшие последовательные операции, то совершенно очевидно, что конечный результат зависит от того, как это правило составлено автором. Полученная таким образом партитура редактировалась композитором, доводилась до конечного результата «вручную». Иногда при этом снова использовались некоторые *алгоритмы*: представить партии, вставить или исключить фрагмент, создать новый и т. п. В этом случае музыкальный компьютер помогал мгновенно оценить, например, связь тематизма и предполагаемой формы. Оценив полученный результат, композитор редактировал уже не партитуру, а *алгоритмы*, которые позволили её создать. С их помощью он получал новую версию партитуры — и так далее, вплоть до получения желаемого результата. Библиотека таких алгоритмов и способов управления ими от сочинения к сочинению пополнялась и составляла индивидуальный язык данного композитора.

Композиторы имели возможность создавать свои собственные уникальные «инструменты» на начальной стадии выполнения программы, комбинируя генераторы, блоки программы синтеза звуков, — своего рода, компьютерные модели электронных устройств, применявшихся в аналоговых синтезаторах первого поколения. «Генераторы представляют собой подпрограммы, численные входы и выходы которых соединяются различными способами»¹.

Одна из лучших подобных программ была разработана Б. Веркоу³² в Массачусеттсе.



чусетском Институте технологий в 70-х годах прошлого века. Композиторы отмечали, что при работе с музыкальным компьютером неизмеримо повышается уровень авторского самоконтроля: возможности найти фактурные, тематические, драматургические несовершенства или просчёты. Работа с компьютером дисциплинирует мышление и развивает фантазию, ориентируя на постоянный поиск: «Я считаю, что каждый композитор должен сделать хотя бы одно-два сочинения в электронной студии» (Э.В. Денисов³³ [11]). Однако новый способ сочинения поставил и совершенно иные задачи перед профессиональным композитором: потребовались суждения другого уровня, чтобы композитор не мог оказаться во власти технических манипуляций, сопутствующих творческому процессу с участием музыкального компьютера. «Новые средства изменяют метод; новые методы изменяют опыт и переживание. А новые переживания и опыт изменяют человека» (К. Штокхаузен).

Процесс создания электронных звуков с помощью цифровых технологий очень быстро стал замещать собой осцилляторы, синтезаторы и другие аудиоинструменты и явился своеобразным стандартом для композиций в области электронной музыки. Не только цифровой синтез звука, его программирование и электронная композиция стали приоритетными направлениями в музыке, но и индустрия звукозаписи переоборудовалась с долгоиграющих аудиотехнологий на цифровую запись, создавая дополнительные «пространства» для творчества. Цифро-аналоговое преобразование — ЦАП, или digital-to-analog conversion, и обратный процесс — аналогово-цифровое преобразование (АЦП), или analog-to-digital conversion, становятся стандартными для техники компьютерного синтеза звука.

Другой, широко используемый алгоритм синтеза электронного звука, реализуемого с помощью МКТ, был соз-

дан на основе принципа частотной модуляции, разработанного и описанного Дж. Чоунингом³⁴ в 1973 году в Стэнфордском университете. В эти годы FM-синтез становится основным электронным источником музыкального тембра.

Напомним, что модуляцией в системах звукового синтеза называется изменение в результате воздействия какого-либо устройства на входные параметры другого устройства. (Это понятие не имеет ничего общего с понятием модуляции — сменной тональности в музыке. Если провести параллель с музыкальным инструментом, то мы обычно модулируем сигнал (звук) по частоте, нажимая ту или иную клавишу на клавиатуре, а громкость — амплитуду звучания — силой удара по клавише.)

Модуляция широко применяется как в различных технологиях синтеза звука, так и в *звукотембральном программировании*, область которого ограничена только человеческой фантазией и возможностями аппаратных и программных средств. Применение модуляции для звукового синтеза позволяет получить в спектре синтезируемого звука большое количество составляющих, причём строго заданных, необходимых значений.

Несмотря на то, что с помощью *амплитудной модуляции* можно получать очень сложные (богатые по звучанию) спектры, ими достаточно сложно управлять. Это обстоятельство сильно ограничивает область применения амплитудно-модуляционного синтеза звука, а звук, полученный только с помощью данного способа, легко узнать по особому «звонящему» оттенку (призвучу). Вместе с тем метод амплитудной модуляции как дополнительный элемент применяется достаточно часто, его использование в сложных системах синтеза является чрезвычайно полезным.

Частотная модуляция «обычно вызывает ассоциацию с широко применяемым в радиотехнике методом передачи информации путём модулирования»¹.

Метод частотной модуляции позволяет из минимального числа синусоидальных генераторов получить очень сложные спектры, состоящие из любого количества компонент, и параметрами этих спектров достаточно легко управлять. (Вспомним, что в музыкальном синтезе часто оказывается полезным вместо профиля звука иметь дело с его спектром, то есть Фурье-образом. Периодический звук имеет дискретный спектр.)

Метод частотной модуляции лёг в основу целого поколения синтезаторов фирмы «Yamaha». «Простота этой технологии позволила создать класс недорогих инструментов с простым интерфейсом, завоевавших большую популярность среди не только профессионалов, но и любителей музыки. С FM- или ЧМ-синтезаторов и началась история широкого применения электронных инструментов в массовом музыкальном образовании» (И.М. Красильников³⁵ [12, с. 7]). Впоследствии на основе ЧМ-синтеза были созданы модели многих синтезаторов. Этот вид звукового синтеза позволяет быстро создавать необходимые звуки и гибко изменять их в процессе работы с ними. Таким образом, в начале 1980-х годов появилось большое количество электронных инструментов, работающих на основе FM-синтеза. Они были недорогими по цене и имели широкий спектр музыкальных возможностей.

Отметим, что метод аддитивного синтеза и FM-синтез были первыми технологиями звукового синтеза для воспроизведения музыкальных звуков при помощи компьютера. Применяются они и сейчас, но в усовершенствованном методе отбора.

Инструменты следующего поколения — волнотабличные (Wave Table или WT) синтезаторы — можно охарактеризовать как односторонние сэмплы. Они позволяют извлекать из своей памяти и свободно манипулировать большим количеством высококачественных голосов, которые созданы на основе оцифровки звучания различных акустических, электронных музыкальных инструментов и

шумов. WT-синтез основан на использовании заранее созданных звуковых образов, информация о которых содержится в волновых таблицах. Фактически это процесс такой же, как и синтез с использованием сэмплов.

В целом можно отметить, что появление музыкальных компьютеров и быстрое развитие МКТ существенным образом повлияло на разработку новых методик синтеза звука и значительно расширило наши представления о тембре музыкального звука. Яркой демонстрацией того, как можно анализировать и синтезировать звук необходимого композитору тембра, может послужить работа, выполненная еще в 1965 году в фирме Bell Laboratories французским композитором и физиком Ж.-К. Риссе³⁶. Маттьюз и Пирс описывают все нюансы и детали синтеза звуков на примере медных духовых инструментов^к. В своей работе Риссе следовал методике, которую называют анализом путём синтеза. В рамках этой методики сначала анализируется звук, часто с помощью компьютера. Звук разбивается на отдельные частотные компоненты, и определяется огибающая для каждой компоненты^л.

Развитие компьютерных технологий в музыке существенным образом повлияло на так называемый «графический» способ создания звука. Процесс синтеза звука посредством его «рисования» — озвучивания предварительно созданного графического образа звука — описывает музыкант и изобретатель Л.С. Термен³⁷ в книге «Физика и музыкальное искусство»^м. Использование графического ввода и вывода музыкальной информации, особенно музыкальной нотации [6], получило значительное развитие, в частности, благодаря опытам М. Мэтьюса в Bell Telephone Laboratories, Л. Смиту³⁸ в Стэнфордском университете и У. Бакстону³⁹ в Торонто.

Значительное развитие в это же время получают творческие исследования в области работы с электронным звуком как со средством и техникой композиции.



Так, например, отмечался возрастающий интерес к аналогово-цифровому преобразованию как к композиционному музыкальному инструменту. Ч. Додж⁴⁰, композитор из Музыкального колледжа в Бруклине, создал, используя данную технологию, ряд партитур, среди которых «Cascando» (1978), «Any Resemblance Is Purely Coincidental» («Всякое сходство — чистая случайность») (1980) и др.

Классическая Студия конкретной музыки, созданная П. Шеффером⁴¹ в Париже (Франция) и возглавляемая в начале 70-х годов Ф. Бейлем⁴², оборудуется цифровой техникой. Основное направление разработок и исследований в этой Студии было связано с различными манипуляциями с реальными звуками.

Необходимо отметить также совершенно иную модель звукового синтеза, разработанную впервые в 1971 году Хиллером и П. Руисом⁴³: они запрограммировали дифференциальные уравнения, описывающие вибрационные процессы таких объектов, как струна, мембрана, пластины и труба. Эта технология, несмотря на то, что имела очевидные сложности математического характера — и у композитора и программиста уходило много времени для ее реализации, — привлекла значительное внимание и заинтересованность тем, что музыкальная композиция, полученная таким образом, не зависела ни от аналоговых аппаратных средств, ни от акустических особенностей воспроизведения звука.

Другим важнейшим направлением, определившим развитие музыкального компьютера и МКТ в целом, стало создание специализированных цифровых машин — цифровых исполнительских музыкальных инструментов, основанных на микропроцессорной технике и предназначенных для выступлений в концертных залах. Безусловно, развитие такого рода музыкальных компьютеров было очень быстрым, так как оно становилось невероятно широко востребованным в самых различных областях,

включая образование. Некоторые из таких инструментов были созданы специально для реализации выразительных средств, необходимых в конкретных композициях. Такой, например, была SalMarConstruction, созданная С. Мартирано⁴⁴ в 1970 году. Большинство таких музыкальных исполнительских компьютерных инструментов было предназначено для замены аналоговых синтезаторов, поэтому они были снабжены условными клавиатурами. Одним из самых ранних таких инструментов был Egg — синтезатор, созданный М. Мэнти⁴⁵ в Университете города Орхуса в Дании. Synclavier был представлен позже, он содержал цифровое оборудование и оригинальное программное обеспечение. Затем, в 1980-х годах, был разработан цифровой эквивалент синтезатора Муга (созданного в 1960-х).

В последнее время получили широкое развитие новые технологии создания музыкального звука методом так называемого физического моделирования. Он основывается на использовании математических моделей, описывающих (вернее, моделирующих физически) образование музыкальных звуков в реальных музыкальных инструментах. Для генерации звука (часто в режиме реального времени) используются математические модели физических волновых процессов, характерных для звукообразования реальных инструментов, результаты которых, выраженные в цифровом коде, транслируются в звуковой сигнал при помощи цифро-аналогового преобразователя (ЦАП).

Методы физического моделирования позволяют влиять на самые «тонкие» с музыкальной точки зрения элементы звука и тем самым существенно изменять его характеристики, включая конкретные способы и условия извлечения звука, учитывая характеристики окружающей среды, акустику помещений, существенные элементы тембровой окраски и др.

Свойство физических моделей наиболее адекватно отображать особенности



реальных инструментов — его основное преимущество по сравнению с остальными. Однако метод физического моделирования очень трудоёмкий и требует глубоких знаний в области акустических особенностей строения и звукоизвлечения конкретных инструментов, а также знания методов их математического описания.

Отметим, что помимо перечисленных ранее способов создания (синтеза) звука, есть особый способ, не имеющий практически никаких ограничений — это собственно программирование музыкального звука. Данный способ создания музыкальных звуков получает в последнее время широкое распространение среди музыкантов, так как в их распоряжении имеются программы (их число и качество, а также удобство использования неуклонно возрастает) алгоритмической композиции звука с удобным пользовательским интерфейсом — это программирование музыки или звуковых явлений. Принцип работы такого рода программных сред, снабжённых удобным «музыкальным» интерфейсом, легче понять музыканту, слабо знакомому с программированием, чем программисту, не знакомому с музыкой.

В дальнейшем были разработаны программы «C-Sound», Max/MSP — это язык алгоритмического музыкального программирования, созданный для описания свойств электронных «инструментов» (электронного «оркестра») и последовательности звуков, исполняемых этим «оркестром», их параметров (своего рода «партитуры»). Записанная таким образом музыкальная композиция может быть прослушана с помощью любой звуковоспроизводящей программы. Возможности такого рода *музыкального программирования* ограничиваются лишь только музыкальным замыслом композитора^N.

Компьютерное моделирование элементов музыкального творчества

В 1960-е годы получил развитие ещё один важнейший аспект создания музыкальной композиции — моделирование

элементов музыкального творчества. Присущие творчеству закономерности мышления и восприятия стали изучать с использованием методов моделирования на ЭВМ (первоначально — в рамках создания систем искусственного интеллекта).

Основная задача моделирования творчества состоит в выявлении и формализации тех общих закономерностей, которые человек использует неосознанно, интуитивно. Интуиция опирается на объективно существующие, хотя ещё не обнаруженные закономерности, и моделирование на компьютере, являясь мощным методом познания, способствует постижению глубинных, неосознанных закономерностей мышления и творчества.

Обсуждение этой интересной и весьма неоднозначной проблемы начнём с обращения к имени Р.Х. Зарипова⁴⁶ (СССР), который занимался машинным моделированием творческих процессов в области музыки и которого по праву можно считать первопроходцем этого направления. Результаты, полученные Зариповым, носят фундаментальный характер и до сих пор привлекают широкое внимание учёных и музыкантов в нашей стране и за рубежом. «Цель экспериментов по моделированию музыкальных композиций на машине — не замена композитора машиной и не создание музыкальных шедевров, и даже не сочинение музыкальных произведений, претендующих на “художественную” значимость. Моделирование — это один из перспективных методов объективного <...> исследования творчества, метод подтверждения гипотез о “скрытых” закономерностях и интуиции, “секретах” мелодичности и “доходчивости” музыкальных сочинений»⁰.

В музыке особенно осязаемо проявляется интуитивная деятельность как при сочинении, так и при её прослушивании. Даже любители музыки часто сочиняют «правильные» мелодии, не зная ни музыкальной грамоты, ни правил построения музыкальных сочинений, — по интуиции, основанной на опыте, кото-



рый также неосознанно приобретает при прослушивании музыки. Именно здесь и проявляется явление переноса инвариантных музыкальных структур. Вспомним, что говорил С.С. Прокофьев⁴⁷ о процессе сочинения музыки: «Мы начинаем мелодию с какой-либо ноты. Для второй ноты мы можем выбрать любую из тех, которые лежат в пределах октавы вверх и октавы вниз. Октава вверх имеет 12 нот, и столько же имеет октава вниз. Если к этому мы прибавим ещё ту же ноту, с которой мы начали (ибо в мелодии мы можем повторять одну ноту два раза), то в нашем распоряжении для второй ноты мелодии будет уже 25 вариантов, а для третьей — 25 умноженные на 25, то есть 625 вариантов»^р.

Говоря о практических результатах при сочинении профессиональной музыки, здесь мы коснёмся только одного из многих — метода условно названного «методом заготовок» (термин Р.Х. Зарипова). При сочинении музыки нетрадиционной структуры полученные машинные варианты различных музыкальных фрагментов требуют отбора, который проводится композитором — наиболее удачные сочинения он включает в свои произведения. Для каждого фрагмента заготовки должны удовлетворять определённым условиям, предусмотренным в программе. Таким образом, машина используется для претворения в жизнь идеи композитора. Такой способ сочинения разработал французский композитор Я. Ксенакис, и в музыке нетрадиционного направления эта идея оказалась плодотворной, она нашла свое продолжение в творчестве П. Барбо⁴⁸, Р. Ружички⁴⁹, Л. Аствацатряна⁵⁰. Компьютер здесь осуществляет сложный расчёт структуры на основе принципов математической вероятности, формальной логики, теории групп.

Перебор возможных вариантов (и, следовательно, их сочинение, видоизменение) занимает большое место в различных видах искусства. Мысль о применении ЭВМ для создания загото-

вок в творчестве не раз высказывалась учёными. Как отмечал в своих работах Р.Х. Зарипов^q, изучение интуитивных, глубинных процессов мышления в научном художественном творчестве давно привлекает учёных. Одним из методов исследования таких процессов является моделирование. В качестве примера автор приводит воспоминание Н.В. Богословского⁵¹ о том, что в передаче, посвященной 40-летию кинофильма «Два бойца», композитор рассказал, как для героя фильма — одессита — он сочинял ставшую популярной песню «Шаланды, полные кефали». Чтобы написать мелодию в весёлом одесском стиле, в студию пригласили коренных одесситов. «И все они два дня пели наперебой всевозможные типично одесские песни». В результате такого «погружения» в одесские мелодии композитор, соединив характерные обороты и интонации, написал новую песню. Очевидно, что через «погружение» композитор может как бы формировать интонационную модель для сочинения музыки определённого стиля. Такого рода моделирование является творческим приёмом, распространённым в композиторской практике (например, в «Арагонской хоте» М.И. Глинки⁵², «Итальянском каприччио» П.И. Чайковского).

Порождение мелодий из круга интонаций, основанное на психологических критериях отбора (по степени благозвучности или красоты и др.), отражает процесс сочинения мелодии человеком, позволяя выявить механизм использования тех или иных интонаций в творчестве композитора. Подобно творческой деятельности композитора, алгоритм порождения мелодий при «погружении» в типичное множество мелодий может затем передать сочиняемой мелодии необходимую интонационную окраску. Этот процесс является своего рода экспертной системой. Результатом будет новая композиция, насыщенная интонациями из этих мелодий, подобная им по стилю, но отличающаяся по другим параметрам.



Музыкальный компьютер становится помощником композитора при выполнении рутинной части его работы. Так, для воплощения воображаемого композитором образа мелодии необходим отбор из памяти человека конкретных музыкальных средств, которых может оказаться недостаточно для реализации творческого замысла. Подобное происходит и в деятельности поэта, и научного работника, и изобретателя. В этом случае может быть полезен компьютер с его феноменальными вычислительными возможностями к выполнению таких операций, которые до недавнего времени считались приоритетом человека, наделённого интуицией.

Отметим, что создание автоматических композиций — это вопрос, который интересовал не только учёных. Он был чрезвычайно привлекательным и для многих великих композиторов^R.

Как уже отмечалось, в XVIII веке была широко распространена игра с игральными костями и не только в любительских кругах, но и среди композиторов. Ею занимались и такие всемирно известные музыканты, как Ф.Э. Бах⁵³, Й. Гайдн⁵⁴, Г.Ф. Гендель⁵⁵ и др. Так, в 1757 году Кирнбергером⁵⁶ было опубликовано «Руководство к сочинению полонезов и менуэтов с помощью игральные костей». Многие публикации такого рода связаны с именем Моцарта, которого чрезвычайно привлекали подобные интеллектуальные головоломки. По свидетельству современников, он таким методом сочинил много менуэтов, рондо, вальсов и т. п. При этом поражает не то, что Моцарт весьма обстоятельно изучает и исследует возможности «автоматических» композиций [3], как, впрочем, и Гайдн, Кирнбергер, Ф.Э. Бах и др. Моцарт пытался создавать музыку с помощью игральные костей, что имело вполне определённый смысл, способствуя экономии творческой энергии. В 1793 году было издано приписываемое Моцарту «Руководство, как при помощи двух игральные костей сочинять вальсы в любом количестве, не имея

ни малейшего представления о музыке и композиции». О популярности подобных методов говорят их многочисленные переиздания в последующие годы. Музыкальная игра Моцарта — это лёгкая система для сочинения бесконечного количества вальсов, рондо, менуэтов и т. п., которая допускала многие миллионы комбинаций без повторения. Все подобные способы с небольшими изменениями сводятся к следующему, описанному Кирнбергером для сочинения менуэтов. Имеется составленная автором руководства таблица, представляющая собой нотный план с шестью перенумерованными колонками (по числу различных цифр на гранях кости) и с восемью строками (по числу тактов музыкальной пьесы)^S.

Сотрудниками учебно-методической лаборатории «Музыкально-компьютерные технологии» Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена Г.Г. Беловым, А.В. Горельченко⁵⁷ и И.Б. Горбуновой был создан цифровой образовательный ресурс (ЦОР) «Музыка в цифровом пространстве», в котором, в частности, представлена разработанная авторами музыкальная игра, подобная описываемой в «Руководстве...» В.А. Моцарта. В задании под названием «Музыкальная комбинаторика» с помощью музыкального компьютера можно пофантазировать в духе моцартовской игры, в ходе которой нужно бросать пару игральные кубиков. В соответствии с полученными числами расставляются музыкальные двутакты, сочинённые нами. Суть данной игры заключается в заполнении восьмитакта готовыми однотоковыми семплами, чтобы возник звучащий вальсовый период, каждый раз с новым чередованием этих элементов^T (эта музыкальная игра представлена в Единой коллекции цифровых образовательных ресурсов Министерства образования и науки РФ). Добавим к сказанному, что компьютерная реализация программы была осуществлена С.В. Чибирёвым⁵⁸ и А.А. Богдановым⁵⁹.

Заметим, что на начальном этапе использования компьютерных технологий в музыке для каждой конкретной музыкальной задачи в процессе создания необходимых оттенков звучания тембра и динамики его развития требовалось разное оборудование, различное, порой авторское, созданное для данного варианта использования, программное обеспечение. Всё это ограничивало творческий процесс, заставляло профессиональных музыкантов пользоваться имеющимся в наличии строго ограниченным набором тембров.

Быстрое развитие МКТ обеспечило разработку и внедрение в творческий и образовательный процесс большого количества разнообразного профессионального музыкального программного обеспечения, способного моделировать различные элементы музыкального творчества. По сути, все эти программы — будь то секвенсор, аудиоредактор, программа-конструктор или программы для сведения или мастеринга — призваны *моделировать* те или иные элементы музыкального творчества.

Это побуждало и давало возможность учёным и музыкантам различных специальностей постигать таинства глубин музыкально-творческого процесса во всём его многообразии, включая принципы восприятия музыкальной информации человеком. Об этом процессе пишет выдающийся французский композитор и архитектор Я. Ксенакис в предисловии к своей основной музыкально-творческой работе «Формализованная музыка»^U.

Большая работа в данном направлении в России была проведена сотрудниками СКБ «Прометей» под руководством Б.М. Галеева⁶⁰ в Казани и в Санкт-Петербургском университете авиаприборостроения под руководством М.С. Заливадного. Работы Галеева и его сотрудников в данном направлении посвящены вопросам преобразования графических структур в музыкальные (мелодические)^V. В работах Заливадного отражены результаты исследований, затрагивающих проблемы моделирования семантического пространства

музыки, выработки оптимального исследования для характеристики различных аспектов логики музыкальной композиции (преобразования музыкальных тем, типовые структуры многоголосия и др.), выработки основ моделирования музыкальных синестезий^W.

Различные аспекты вопросов музыкальной логики и моделирования музыки рассмотрены в исследованиях С.С. Скребкова⁶¹, который системно обобщил музыкально-исторический процесс, и работах С.А. Филатова-Бекмана⁶², применившего математические методы моделирования к анализу и формированию экспериментальных музыкальных композиций.

В УМЛ «Музыкально-компьютерные технологии» РГПУ им. А.И. Герцена С.В. Чибирёвым разрабатывается тема «Исследование математических моделей, разработка алгоритмов и интерфейса программного комплекса обработки звуковых фрагментов в формате MIDI», посвящённая моделированию элементов музыкального творчества. Автор разработал концептуальную идею, составляющую основу системы искусственного интеллекта в процессе создания профессиональной музыкальной композиции, фактически, — кибернетическую систему электронного виртуального композитора, управляемую музыкантом^X.

Присущие творчеству закономерности мышления и восприятия изучаются сегодня методами моделирования на компьютере в рамках проблемы искусственного интеллекта. Основная задача моделирования творчества состоит в выявлении и формализации тех общих закономерностей, которые человек использует неосознанно, интуитивно. Безусловно, при моделировании возникает много сложностей, трудностей, это обстоятельство привело к тому, что музыканты-исследователи перешли от идеи моделирования традиционной музыки к идее синтезирования музыки новых, в том числе нетрадиционных структур.

 **ЛИТЕРАТУРА** 

1. Артемьев Э. 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. Архитектоника музыкального звука // ИКОНИ, 2019. № 3. С. 112–128. DOI: 10.33779/2658-4824.2019.3.112-128.
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. Музыкально-компьютерные технологии в общем и профессиональном музыкальном образовании // Современное музыкальное образование – 2004: материалы Международной научно-практич. конф. Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербургская государственная консерватория им. Н.А. Римского-Корсакова. 2004 / под общ. ред. И.Б. Горбуновой. СПб., 2014. С. 52–55.
8. Горбунова И.Б. Музыкальные синтезаторы // ИКОНИ, 2019. № 4. С. 111–126. DOI: 10.33779/2658-4824.2019.4.111-126.
9. Горбунова И.Б. О Юрии Николаевиче Раге // Измерение музыки. Памяти Юрия Николаевича Рага (1926–2012): сборник научных статей. Санкт-Петербург, 2015. С. 15–20.
10. Катунян М. Эдуард Денисов и электронная музыка // Музыка и электроника. 2004. № 2. С. 3–4.
11. Красильников И.М. Музыкальные функции средств звукового синтеза // Музыка и электроника. 2008. № 3. С. 7–9.
12. Мезенцева С.В. Музыкально-компьютерные технологии как инструмент расширения информационного пространства творческого вуза // Проблемы музыкальной науки, 2020. № 3.
13. Мэттьюз М., Пирс Д. Компьютер в роли музыкального инструмента // В мире науки, 1987. № 4. С. 81–86.
14. Gorbunova I.B. Electronic Musical Instruments: To the Problem of Formation of Performance Mastery // Int'l Conference Proceedings, Budapest, Hungary. 2018, pp. 23–28.
15. Gorbunova I.B. Music Computer Technologies in the Perspective of Digital Humanities, Arts, and Researches // Opcion. 2019. V. 35. No. S24, pp. 360–375.
16. Gorbunova I.B. New Tool for a Musician // International Conference Proceedings, Paris, France. 2018, pp. 144–149.
17. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Modeling the Process of Musical Creativity in Musical Instrument Digital Interface Format // Opcion. 2019. T. 35. № S22, pp. 392–409.

Об авторе:

Горбунова Ирина Борисовна, доктор педагогических наук, профессор кафедры цифрового образования; руководитель учебно-методической лаборатории «Музыкально-компьютерные технологии»,
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. 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: Statement of the Problem]. *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 Predecessors 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. Arkhitektonika muzykal'nogo zvuka [Architectonics of Musical Sound]. *ICONI*, 2019. No. 3, pp. 112–128. DOI: 10.33779/2658-4824.2019.3.112-128.
5. 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.
6. Gorbunova I.B. Metodicheskie aspekty tolkovaniya funktsional'no-logicheskikh zakonomernostey muzyki i muzykal'no-komp'yuternye tekhnologii: sistemy muzykal'noy notatsii [Methodological Aspects of the Interpretation of the Functional-Logical Laws of Music and Music-Computer Technologies: Systems of Musical Notation]. *Obshchestvo: filosofiya, istoriya, kul'tura* [Society: Philosophy, History, Culture]. 2016. No. 10, pp. 69–77.
7. Gorbunova I.B. Muzykal'no-komp'yuternye tekhnologii v obshchem i professional'nom muzykal'nom obrazovanii [Music and Computer Technologies in General and Professional Music Education]. *Sovremennoe muzykal'noe obrazovanie – 2004: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-praktich. konf.* [Modern Music Education – 2004: Materials of the International Scientific and Practical Conference]. Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg Rimsky-Korsakov State Conservatory. 2004 / under total. ed. by I.B. Gorbunova. St. Petersburg. 2014. Pp. 52–55.
8. Gorbunova I.B. Muzykal'nye sintezatory [Musical Synthesizers]. *ICONI*, 2019. No. 4, pp. 111–126. DOI: 10.33779/2658-4824.2019.4.111-126.
9. Gorbunova I.B. O Yurii Nikolaeviche Ragse [About Yuri N. Rags]. *Izmerenie muzyki. Pamyati Yuriya Nikolaevicha Ragsa (1926–2012): sbornik nauchnykh statey* [Measuring Music. In Memory of Yuri N. Rags (1926–2012): Collection of Scientific Articles]. St. Petersburg. 2015, pp. 15–20.
10. Katunyan M. Eduard Denisov i elektronaya muzyka [Edward Denisov and Electronic Music]. *Muzyka i elektronika* [Music and electronics]. 2004. No. 2, pp. 3–4.
11. Krasil'nikov I.M. Muzykal'nye funktsii sredstv zvukovogo sinteza [Musical Functions of Means of Sound Synthesis]. *Muzyka i elektronika* [Music and electronics]. 2008. No. 3, pp. 7–9.
12. Mezentseva S.V. Muzykal'no-komp'yuternye tekhnologii kak instrument rasshireniya informatsionnogo prostranstva tvorcheskogo vuza [Music and Computer Technologies as a Tool for Expanding the Information Space of a Creative University]. *Problemy muzykal'noy nauki / Music Scholarships*. 2020. No. 3.
13. Mett'yuz M., Pirs D. Komp'yuter v roli muzykal'nogo instrumenta [Matthews M., Pierce D. Computer as a Musical Instrument]. *V mire nauki* [In the World of Science]. 1987. No. 4, pp. 81–86.
14. Gorbunova I.B. Electronic Musical Instruments: To the Problem of Formation of Performance Mastery. *Int'l Conference Proceedings*, Budapest, Hungary. 2018, pp. 23–28.
15. Gorbunova I.B. Music Computer Technologies in the Perspective of Digital Humanities, Arts, and Researches. *Opcion*. 2019. V. 35. No. S24, pp. 360–375.
16. Gorbunova I.B. New Tool for a Musician. *International Conference Proceedings*, Paris, France. 2018, pp. 144–149.
17. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Modeling the Process of Musical Creativity in Musical Instrument Digital Interface Format. *Opcion*. 2019. T. 35. № S22, pp. 392–409.



About the author:

Irina B. Gorbunova, Dr.Sci. (Education), Professor at the Department of Digital Education; Head of the Educational and Methodical Laboratory “*Music Computer Technologies*”, Herzen State Pedagogical University of Russia (191186, Saint-Petersburg, Russia), **ORCID: 0000-0003-4389-6719**, gorbunovaib@ Herzen.spb.ru

