

ISSN 2658-4824 (Print)

УДК 78.01

DOI: 10.33779/2658-4824.2020.3.137-150

**И.Б. ГОРБУНОВА  
М.С. ЗАЛИВАДНЫЙ***Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена**Санкт-Петербургская государственная консерватория имени Н.А. Римского-Корсакова**г. Санкт-Петербург, Россия*

ORCID: 0000-0003-4389-6719

gorbunovaib@herzen.spb.ru

ORCID: 0000-0001-9599-5925

trifonov\_e\_d@mail.ru

**IRINA B. GORBUNOVA  
MIKHAIL S. ZALIVADNY***Herzen State Pedagogical University of Russia**Saint-Petersburg Rimsky-Korsakov State Conservatory**Saint Petersburg, Russia*

ORCID: 0000-0003-4389-6719

gorbunovaib@herzen.spb.ru

ORCID: 0000-0001-9599-5925

trifonov\_e\_d@mail.ru

**Музыка, математика  
и информатика:  
история взаимодействия**

В лекции «Музыка, математика и информатика» на конкретных примерах характеризуются различные аспекты их взаимодействия с привлечением аппарата соответствующих научных дисциплин (теория множеств, теория вероятностей, теория информации, теория групп и другие). Выявляются роль и значение этих аспектов в формировании целостного представления о музыке и в осуществлении практических музыкально-творческих задач. Рассмотрению данных вопросов посвящены лекционные занятия в рамках учебных курсов «Математические методы исследования в музыкознании» и «Информационные технологии в музыке», разработанные авторами для студентов Санкт-Петербургской государственной консерватории им. Н.А. Римского-Корсакова и Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена.

Лекция «Музыка, математика и информатика» подразделяется на две части. В первой части «Музыка, математика и информатика: история взаимодействия» рассматриваются процессы взаимосвязи

**Music, Mathematics  
and Computer Science:  
History of Interaction**

The lecture “Music, Mathematics and Computer Science” characterizes by concrete examples various aspects of interaction of these studies with each other by incorporating the apparatus of corresponding scholarly disciplines (set theory, probability theory, information science, group theory, etc.). The role and meaning of these aspects in the formation of an integral perception about music and in the realization of practical creative musical goals are elucidated. Examination of these questions is what the lecture studies are devoted to as part of the educational courses “Mathematical Methods of Research in Musicology” and “Informational Technologies in Music” developed by the authors for the students of the St. Petersburg Rimsky-Korsakov State Conservatory and the Herzen State Pedagogical University of Russia.

The lecture “Music, Mathematics and Computer Science” is subdivided into two parts. The first part, “Music, Mathematics and Computer Science: History of Interaction” examines the processes of interconnection and interpenetration of various fields of music, mathematics and computer science, spanning

и взаимопроникновения различных областей музыки, математики и информатики, охватывающие период от древности до рубежа XX–XXI веков. Вторая часть лекции «Музыка, математика и информатика: особенности функционирования музыкально-компьютерных технологий» (будет опубликована в следующем выпуске журнала) посвящена рассмотрению различных аспектов развития и применения музыкально-компьютерных технологий в современной музыкальной практике, включающей музыкальное творчество, исполнительство и область музыкального образования.

Ключевые слова:

музыка, математика и информатика, история музыкальной теории, музыка и компьютер, музыкально-компьютерные технологии.

the period from Ancient Times to the turn of the 20th and the 21st centuries. The second part of the lecture: “Music, Mathematics and Computer Science: Particular Features of Functioning of Computer-Musical Technologies” (due to be published in the journal’s next issue) is devoted to examining various aspects of developing and applying computer-musical technologies in contemporary musical practice, including musical composition, performance and the sphere of music education.

Keywords:

music, mathematics and computer science, history of music theory, music and the computer, computer-musical technologies.

*Для цитирования/For citation:*

Горбунова И.Б., Заливадный М.С. Музыка, математика и информатика: история взаимодействия // ИКОНИ / ICONI. 2020. № 3. С. 137–150. DOI: 10.33779/2658-4824.2020.3.137-150.

**П**ути взаимодействия музыки и математики прослеживаются начиная с древности, когда появляется наука о музыке. Начало развитию этой науки (если не считать пока мало изученных её проявлений на Древнем Востоке) было положено пифагорейцами в Древней Греции в VI веке до н. э. *Пифагорейцы*, производя акустические измерения, открыли первый достоверно известный физический закон: зависимость высоты звука от частоты колебаний, а этой последней — от длины струны. Радость от открытия была настолько велика, что этот закон стал быстро обрастать мифами. Он был распространён также на другие физические явления (в которых

действовали на самом деле другие — более сложные — закономерности) и, наконец, на весь космос (знаменитое учение о «*гармонии сфер*»). Сейчас нас этот мифологический аспект интересоваться не будет, хотя он привёл к очень интересным музыкальным и даже светомузыкальным последствиям. Важно, что пифагорейцы надолго определили традицию взаимодействия теории музыки, математики и акустики; это было взаимодействие звука и числа. Можно сказать, что итог этой традиции удачно подвёл уже в XVIII веке н. э. немецкий философ Г. Лейбниц<sup>1\*</sup>, охарактеризовавший музыку как «*бессознательное упражнение души в арифметике*». Иначе говоря, в музыке, со-

\* QR-код 1. Именной указатель:



гласно этому представлению, мы имеем дело с совокупностью чисел. Конечно, эта традиция не оставалась неизменной на протяжении веков, и можно отметить несколько важных её усовершенствований.

Ученик Аристотеля<sup>2</sup> Аристоксен<sup>3</sup> (IV век до н. э.), с которым связано начало следующего после классической древности периода в эволюции науки о музыке, выделил два этапа в развитии звуковысотной и ритмической систем. Один этап основан на сложении числовых и, соответственно, музыкальных величин; второй — на делении этих величин на равные части. В области звуковысотности первый этап представлен сложением интервалов, в результате чего мы получаем нетемперированные звукоряды. Второй этап представлен делением интервалов и, соответственно, равномерными температурами. Следует отметить, что Аристоксен — практически первый автор, у которого обнаруживаются сведения о равномерной температуре. В области ритма первый этап, с которого начинается ритмическая система, — это сложение меньших единиц в более крупные (в фольклористике эти меньшие единицы характеризуются термином «*слогонота*»). Из соединения таких единиц возникают более сложные построения. Второй этап представлен делением более крупных единиц на равные части. Эти основы теории музыки, заложенные Аристоксеном, превосходным образом подтвердились всем дальнейшим развитием и высотной, и ритмической системы в музыке вплоть до нашего времени.

Важное дополнение в общую характеристику развития звуковысотной и ритмической систем внесли в начале Нового времени (XVII–XVIII века) два выдающихся философа — Р. Декарт<sup>4</sup> и уже упоминавшийся ранее Лейбниц, указав на регулируемую роль прогрессии простых чисел. Декарт на примере современной ему танцевальной музыки показал, что прогрессия простых чисел играет важную роль в системе ритмов, основанных на прин-

ципе деления. Лейбниц обратил внимание на то, что эта прогрессия действует в звуковысотных системах, основанных на принципе сложения. Ранее было известно (эта закономерность отмечается уже у Аристоксена), что ритмы, основанные на принципе сложения, подчиняются законам арифметической прогрессии (1, 2, 3, 4, 5, 6 и т. д.). И в итоге получается изящная структура, звуковысотные и ритмические составляющие которой оказываются симметричными друг другу. По высоте первый этап подчиняется закону прогрессии простых чисел, а второй этап, представленный равномерными температурами, — арифметической прогрессии. В области ритма — наоборот: сначала идёт арифметическая прогрессия, потом — прогрессия простых чисел.

Средние века, в сравнении с древностью, дали новые значительные результаты во взаимодействии математики и музыки. Так, теоретиками и практиками музыки Ближнего и Среднего Востока традиционные ритмические модели и высотные звукоряды были представлены в виде кругов. Каждое проведение, например, ритмической модели — это один круг; переход к повторению этой модели трактовался как возвращение в ту же самую точку. Это было важное средство анализа музыкальных произведений, а с точки зрения математики это была постановка вопроса об операции сравнения по модулю (когда принимается за эталон исходное число, и все числа, которые отличаются от него на одно и то же число единиц, считаются равными друг другу). Математики к этому пришли позже, чем музыканты, и можно насчитать немало таких примеров, когда теория музыки ставила перед математикой вопросы, на которые математика далеко не столь быстро отвечала; бывало, что проходили столетия, а бывало, что и тысячелетия.

На рубеже переходного периода от древности к Средневековью, то есть тогда, когда жил Аристоксен, античной теорией музыки начали активно разрабатывать-

ся звукоряды. Эта разработка включала в себя постановку вопроса о двух операциях: обобщении мелодического движения в звукоряде и развёртывании звукоряда в мелодическое движение. Математически это оказалось возможным выразить примерно 2–2,5 тысячи лет спустя, когда появилась теория множеств (а это было в последней четверти XIX века) и теория нечётких множеств (это произошло только в 60-е годы XX века). Алгебраические операции над множествами необходимы для того, чтобы объединить мелодии в звукоряд, операции с нечёткими множествами (элементы которых имеют тот или иной коэффициент принадлежности к данному множеству, означающий в частном случае вероятность появления элемента) — для того, чтобы развернуть звукоряд в мелодическое движение.

На протяжении Средних веков и начала Нового времени в процессах взаимодействия музыки и математики можно наблюдать ответвления, которые предвосхищают более крупные математические идеи и обращение к более общим закономерностям музыки. К такого рода ответвлениям можно, например, отнести начатки *теоретико-информационного подхода* у Гвидо Аретинского<sup>5</sup> (первая половина XI века), который сравнивал между собой различные интервалы и определял, какие из них являются лучшими, наиболее предпочтительными, причём это не связано с делением на консонансы и диссонансы. Потом эта идея получила более развёрнутое выражение у Л. Эйlera<sup>6</sup> в XVIII веке. Эйлер поставил вопрос о *комплексном показателе сложности логической организации музыки*, которая соответствовала бы её приятности, то есть одной из важных характеристик в восприятии её субъектом. Это тоже очень близко к позднему понятию информации.

В XIX веке с аналогичной, но более простой по форме идеей выступил франко-бельгийский музыкант-теоретик К. Дюрютт<sup>7</sup>. Он был воспитанником Политехнической школы — первого высшего технического учебного заведения во Франции — и параллельно занимался музыкой; это позволило ему выдвинуть ещё один аналогичный показатель — *наиболее напряжённый интервал аккорда*, охватывающий крайние точки участка кварто-квинтовой цепочки, который данный аккорд представляет. Самый простой пример: трезвучие *до-ми-соль* охватывает пять звеньев: до, соль, ре, ля, ми. Самый напряжённый интервал — *до-ми*, большая терция, четыре квинты. Предложение Дюрютта, более простое и более компактное, чем у Эйлера, было быстро освоено музыкантами и вошло в общую систему музыкальной теории. Эйлер, однако, в связи со своими предложениями ввёл в обиход теории музыки матрицу — прямоугольную таблицу, с помощью которой попытался оценить (с позиций своего времени) переходы между разными тональностями. Перейти из исходных тональностей в некоторые Эйлеру представлялось невозможным (он так и пишет по латыни: *nullo*, то есть «никак»), в другие, напротив, перейти легко, в третьи — трудно, но можно. И здесь, по сути дела, была поставлена теоретико-игровая задача, чем, опять-таки, была предвосхищена ещё одна область математики — *теория игр*, получившая развитие в XX веке. И совсем курьёзный, можно сказать, трагикомический случай истории взаимодействия математики и музыки непосредственно предшествует XX веку; этот случай связан с написанием фундаментального труда С.И. Танеева<sup>8</sup> *«Подвижной контрапункт строгого письма»*<sup>A\*\*</sup>. Танеев, работая над своей книгой, консультировался с одним из

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



видных российских математиков своего времени Н.В. Бугаевым<sup>9</sup>, отцом писателя А. Белого<sup>10</sup>. Бугаев обратил внимание Танеева на разрабатывавшуюся в то время теорию математических групп, и математический аппарат, который предложил Танеев в «*Подвижном контрапункте*», отвечает свойствам одной из таких групп, которая называется *аддитивной абелевой группой*. Для такой группы действует закон математической композиции — им является действие *сложения*, — закон этот подчиняется свойствам ассоциативности и коммутативности. Существует нейтральный элемент, прибавление которого к любому из элементов не меняет его величины: в области высоты это унисон, в области временных величин это одновременность; и существует обратный элемент для каждого из данных элементов: восходящему интервалу отвечает нисходящий, перемещению второго голоса по отношению к мелодии вперёд на такт отвечает такое же перемещение назад, при этом сама мелодия остаётся в исходном положении. Но Танеев не дал ссылки на *теорию групп*, и фиксированный приоритет перешёл к двум музыкантам, которые более прямо выразили эти закономерности полстолетия спустя: это американский композитор М. Бэббит<sup>11</sup> и французский композитор греческого происхождения Я. Ксенакис<sup>12</sup>. Оба они в своих теоретических работах *приводят основные положения теории групп*, рассматривая с этой точки зрения характерные свойства *звуковысотной, ритмической и громкостно-динамической систем*.

XX век начал новый этап во взаимодействии математики и теории музыки в смысле выдвижения фундаментальных математических идей, и одним из первых авторов, которые начали этот этап, был выдающийся философ и историк античности А.Ф. Лосев<sup>13</sup>. В 20-е годы в работе «*Музыка как предмет логики*» он первым указал на необходимость применения теории множеств к музыкально-логическим операциям и обосновал это тем,

что теория множеств *эйдетична* (от греч. «эйдос» — вид, образ), то есть включает в себя изобразительно-знаковые элементы. Это действительно так, потому что операции над множествами можно представить себе в пространственной форме: пересечение, объединение множеств, дополнение, разность и декартово произведение как взаимодействие разных измерений пространства. Пространство — это фундаментальный порядок сосуществования событий, в данном случае — элементов множества. И из этого видно различие между алгеброй множеств и арифметикой: в результате арифметических операций из двух величин получается третья, а первые две исчезают, тогда как, например, при объединении множеств удерживаются все три величины, что и отвечает особенностям формирования музыкальных построений. В XVIII веке Лейбниц не мог характеризовать таким образом музыкально-логические операции, потому что тогда не было теории множеств.

Лосев подчеркнул также наличие вероятностного элемента в музыкальной логике, которое ранее тоже отмечалось, но в неотчётливой форме, и лишь в XVII–XVIII столетиях обрело форму развлекательной задачи — сочинения музыки с помощью игральных костей (наиболее известное руководство такого рода, вышедшее в конце XVIII века под характерным названием «*Как при помощи двух игральных костей сочинять вальсы в любом количестве, не имея ни малейшего представления о музыке и композиции*», приписывается Моцарту<sup>14</sup>). У Лосева видно, что этот аспект имеет всеобщее значение. Он говорил так: «Время только тогда и возможно, когда в нём есть будущее и, самое главное, *неизвестное* будущее. Время, отсюда, также есть и царство случая»<sup>В</sup>. Музыкальная же логика, по Лосеву, представляет собой единство «числа», то есть множества элементов, и времени; вместе, таким образом, *получается единство числа, времени и случая*.

В 20-е годы эти идеи Лосева остались совершенно непонятыми. Но когда в середине столетия началась научно-техническая революция, математики пришли к построению пространственной модели, которая включает в себя все три эти элемента. Автор этой модели — тоже наш соотечественник — математик А. Гейн<sup>15</sup> из Екатеринбурга (работавший также в Новосибирске). С трёхмерной пространственной моделью, охватывающей различные аспекты музыкальной логики, он выступил в конце 70-х годов XX века в докладе «*О формализации понятия „гармонического поля“*». Трёхмерное пространство в этой модели включает в себя в качестве измерений соответственно: «гармонические элементы», время и вероятность появления каждого элемента в диапазоне чисел от 0 до 1.

В 20-е годы XX века, помимо уже отмечавшихся идей Лосева, активно развиваются также *музыкально-статистические исследования*, которые тогда назывались «*биометрическими*», потому что они пришли в музыкальную теорию из биологии. Таким методом исследователи, в частности, стремились выявить характерные черты индивидуального стиля того или иного композитора. Это, конечно, только частично решало проблему, потому что музыкальный стиль не сводится к формальным подсчётам логических средств. Но это позволило обратить внимание на вероятностно-статистический аспект музыкальной логики и подготовило базу одной крупной по значению психологической проблемы, которая получила название *ладового тяготения*. Уже исследования второй половины XX века показали, что в основе этого психологического явления лежит статистика переходов между элементами музыкально-логической системы, то есть её вероятностный аспект.

Интересным результатом изучения этой статистики были выводы, которые изложил С.С. Прокофьев<sup>16</sup> в статье «*Могут ли иссякнуть мелодии?*». Это было

очень проницательным шагом, потому что читатели — тогдашние школьники — через одно-два десятилетия стали современниками, а кто из них того пожелал — и участниками научно-технической революции середины XX века. Прокофьев рассматривает сочинение мелодии как комбинаторный процесс, включающий в себя элемент вероятности, прежде всего, на примере комбинаторики высот. По отношению к каждому звуку можно взять любой из 12 звуков, составляющих верхнюю октаву, и любой из 12 звуков, составляющих нижнюю октаву; дальше тот же процесс повторяется в отношении каждого звука мелодии. «Я не хочу сказать, — пишет композитор в статье, — что в нашем распоряжении имеется шесть миллиардов мелодий» (речь идёт о возможных вариантах мелодии из 8 звуков). «Существует шесть миллиардов комбинаций, из которых композитор имеет возможность выбрать такие, которые будут мелодичны»<sup>с</sup>. Эта статья интересна также и другими сторонами, в том числе — учётом ритмического фактора и даже взаимодействия различных равномерных температур. Тогда велись опыты с делением октавы на 17 частей, и Прокофьев выдвинул идею *соединения 12- и 17-звучного деления октавы*. Теперь, когда благодаря электронной аппаратуре такие соединения можно осуществить и послушать, эту идею можно оценить по достоинству.

В это же время продолжают выдвигаться комплексные показатели, характеризующие общую логическую сложность того или иного построения. Один из таких показателей — характеристика *плотности* звучания, определяемая числом звуков в единицу времени или на единицу регистра. В 40-е годы XX века американский музыкант-теоретик Дж. Шиллингер<sup>17</sup> предложил объединить эти два показателя и исчислять плотность на квадратную единицу музыкального пространства, то есть, упрощённо говоря, — на *такто-октаву* по

диагонали. Возможны, конечно, и более сложные аналогичные характеристики.

Но дальше уже наступил период научно-технической революции, и история взаимодействия математики и музыки обогатилась новым элементом — элементом информатики. И тот же самый учёт вероятностного аспекта музыкальной логики перерос в новый метод композиции, который получил название *стохастического*. В числе его первооткрывателей были один из основателей теории информации К. Шеннон<sup>18</sup> и его ассистент Д. Пирс<sup>19</sup>. При этом им самим применение компьютеров в использовании этого метода казалось очень далёкой целью, и в 1950 году Пирс, взяв псевдоним, опубликовал в журнале эту идею под названием *Astounding Science Fiction* (то есть «Поразительная научная фантастика»). Прошло шесть лет, и фантастика стала реальностью: появились первые *композиции, сочинённые стохастическим методом с помощью компьютера*.

Первым отечественным автором, который применил этот метод с участием компьютера, был математик и виолончелист Р.Х. Зарипов<sup>20</sup>. Его первые композиции появились в 1959 году. Он дал им название «Уральские напевы», обыграв таким образом марку компьютера «Урал». Первые четыре «Уральских напева» были опубликованы в 1962 году в седьмом выпуске периодического сборника «Проблемы кибернетики».

Классические опыты *стохастического метода композиции*, однако, связаны с именем Я. Ксенакиса. Его книга «*Формализованная музыка*», которая выходила несколькими изданиями, представляет собой наиболее масштабный до сего дня опыт применения математических методов в изучении закономерностей музыки и в самой практической композиции. Кратко можно систематизировать материал, который содержится в этой книге, по трём областям математики, которые так или иначе уже были известны. Это, во-первых, теория множеств

(Ксенакис, в отличие от Лосева, уже показал — не только указал, но и показал в развёрнутой форме — возможности применения теории множеств для характеристики музыкально-логических процессов и сочинения музыки на этой основе); во-вторых, это теория вероятностей, которая нашла развёрнутое применение в опытах Ксенакиса; в-третьих, Ксенакис также попробовал применить теорию информации, созданную Шенноном, к музыкально-логическим характеристикам. Он, однако, не ограничился только статистической теорией информации, а предложил игровые опыты наподобие сочинения музыки с помощью игровых костей, но имеющие дело уже с более сложными массивами звучаний; результаты от сопоставления этих массивов оценивались им в баллах. Иначе говоря, Ксенакис вышел на теоретико-множественную ветвь теории информации; и, поскольку он всё это представил в виде матриц, то эта единая основа заключала в себе постановку вопроса об объединении той и другой ветвей теории информации. Мы ещё встретимся с именем Ксенакиса при дальнейшем рассмотрении процессов развития компьютерной музыки.

С середины 70-х годов XX века начался второй этап взаимодействия музыки, математики и информатики. К этому времени были разработаны основы цифрового синтеза звуков, их анализа и преобразования. Основополагающую роль здесь сыграли работы американского инженера М. Мэтьюза<sup>21</sup>. Свои опыты по осуществлению цифрового синтеза звуков он начал в 1957 году, по утверждению историков компьютерной музыки, — после концерта, в котором исполнялись произведения А. Шёнберга<sup>22</sup>, композитора, создавшего в зрелый период творчества оригинальную конструктивистскую технику письма, в ряде отношений близкую комбинаторной (в обиходе она известна под названием *додекафонной* техники). Впечатления от этого концерта натолк-

нули его на мысль о возможности применения компьютеров к области звучаний.

Примерно к 1975 году цифровой синтез звуков стал давать результаты, сопоставимые со звучанием традиционных инструментов и позволяющие налаживать диалог с музыкально-инструментальной традицией. И началась эпоха развития компьютерного исполнительства, тогда как ранее в рамках компьютерного музицирования занимались преимущественно композиторскими опытами в пределах системы первых гармоник звука, то есть, можно сказать, занимались «нотами». Новый этап музицирования с применением компьютеров означал переход от ноты к звуку и ознаменовался значительными достижениями в области синтеза тембров.

Следующим этапом компьютерного музицирования, который пока только просматривается, потому что он ещё не принял характера целенаправленного движения, становится воспроизведение внезвуковых областей музыки — связанных с ней зрительных, моторных, осязательных и т. п. ассоциаций. Крупным шагом на этом пути было создание компьютера UPIC (Unité polyagogique informatique du SEMAMu, то есть «полиагогический компьютерный блок Исследовательского центра музыкальной математики и автоматике»), которое было осуществлено по замыслу и под руководством Ксенакиса в 70-е годы XX века. В компьютерной системе UPIC пользователь на графопостроителе рисует любые возможные линии; машина может переводить их в звуки тремя различными способами: в первом случае («определение тембра») — соответственно графику изменения звукового давления; во втором («изображение громкости») — соответственно огибающей кривой звука; третий способ — «рисование страницы музыки» — в наибольшей степени близок традиционной нотации. Звук с постоянной высотой в этом последнем случае характеризуется горизонтальной прямой линией; если

линия — кривая, то это будет соответствовать глиссандирующему звучанию. На этой основе усилиями Ксенакиса и его ассистентов развернулась активная творческая и педагогическая деятельность; с 1986 года до настоящего времени работает школа UPIC, которой после смерти Ксенакиса в 2001 году было присвоено его имя, и она стала называться CCMIX (*Centre de Composition Musicale Iannis Xenakis*)<sup>p</sup>.

Параллельно, однако, существовали и другие опыты преобразования графики в музыку. У нас они проводились сначала на докомпьютерной — аналоговой основе. Это — синтезатор звука АНС, построенный Е.А. Мурзиным<sup>23</sup> в 1958 году и названный им в честь А.Н. Скрябина<sup>24</sup>. Другой прибор, предназначенный для исследования пространственно-слуховых синестезий, был разработан на рубеже 1950-х и 1960-х годов тогда ещё совсем неизвестным преподавателем физики Казанского педагогического института Б.М. Галеевым<sup>25</sup> и его ассистентом Р.Ф. Сайфуллиным<sup>26</sup> под влиянием поэзии конца XIX — начала XX века. Авторы назвали этот прибор «брюсофон» в честь стихотворения В. Брюсова<sup>27</sup> «Творчество». В этом стихотворении есть такие строки (стихи 5–8): «Фиолетовые руки / На эмалированной стене / Полусонно чертят звуки / В звонко-звучной тишине». Эти строки и вдохновили изобретателей брюсофона. Впоследствии авторы продолжили эти опыты на компьютерной основе.

К наиболее значительным результатам этих опытов относятся образцы «поющего шамаила» (каллиграфической арабской надписи) — инсталляции, в которых музыкальное прочтение графики исходной надписи формируется вместе с воображаемым движением глаза по её контуру. Одна из таких инсталляций с 2005 года выставлена в Музее ислама в Казанском кремле.

Как всегда, новое изобретение выявляет оригинальные идеи в предшествующей традиции. Применение математики к закономерностям музыкальной логики

дало возможность обратить внимание на *алгоритмический метод композиции*, который был предложен Гвидо Аретинским в XI веке. Гвидо сопоставил гласные буквы латинского алфавита со ступенями звукоряда. У него получилось несколько областей такого сопоставления, потому что звукоряд большой (он тогда охватывал две октавы), а гласных букв в латинском алфавите всего пять: *a, e, i, o, u*. И на этой основе Гвидо предложил сочинять мелодии из любого текста, «достойного написания». В принципе здесь тоже присутствует стохастический фактор, но он не обязателен — можно всё уложить в одну область из пяти ступеней. А можно действовать, охватывая разные области по тому или иному алгоритму. В принципе этот метод применим и к русскому, и к греческому, и к любому другому алфавиту.

В рамках консервативного курса музыкально-теоретических систем уже на протяжении ряда лет практикуется семинар, посвящённый этому методу, на материале текстов на русском языке (используются шесть простых гласных — *a, э, и, o, у, ы*; йотированные гласные трактуются как аналогичные им простые). Тексты — различные по форме и содержанию: поэтические, прозаические, серьёзные, юмористические. Одним из текстов был фрагмент интервью Клода Дебюсси (в русском переводе) по поводу сочинения музыки к мистерии «Мученичество святого Себастьяна», начинающийся словами «Кто может проникнуть в тайну сочинения музыки?» (как можно видеть, это пытались делать еще тысячу лет тому назад).

Точно так же обращение к визуальным структурам позволило увидеть предвосхищение этой идеи в традиционной теории музыки и музыкальной психологии, начиная со Средних веков. Мы опять переходим на Ближний и Средний Восток и можем вспомнить выдающегося философа аль-Фараби<sup>28</sup>, который жил в X веке. Он первым упорядочил терминологию названий ступеней на пространственно-слуховой основе: «нижняя до-

бавленная» (имеется в виду — снизу же), «нижняя, средняя, высокая основных», «нижняя, средняя, высокая средних», «средняя» (середина звукоряда), «следующая за средней», «нижняя, средняя, высокая высоких», «нижняя, средняя, высокая высших».

До этого, в период древности и позже, терминология в обозначениях ступеней была пёстрой, она включала пространственные представления, технические музыкально-исполнительские термины и отвлеченные числа.

В XVI веке, то есть шесть веков спустя, итальянский художник Джузеппе Арчимбольдо<sup>29</sup> попытался таким же образом упорядочить оттенки цвета и сами цвета. У него получилось 15 оттенков чёрно-белых (ахроматических) цветов; характеризуя отдельные голоса в многоголосии, он также выстраивал ряд, в котором ведущую роль играли уже хроматические цвета, и получался своего рода схематичный спектр (тогда у него было ещё не семь элементов, а меньше).

В XVIII веке Л.Б. Кастель<sup>30</sup> — французский математик и физик — выдвинул идею «*клавесина для глаз*». Вместо звуков (или вместе с ними — это уже по желанию конкретного разработчика) при нажатии клавиши открывалось окошечко, и в нём была либо свеча со стёклышком определённого цвета, либо драгоценный камень. И, таким образом, Кастель оживил интерес к идее светомузыки. Его предложения вызвали широкую дискуссию, в результате которой удалось прийти к более совершенному представлению о светомузыке, чем то, которое предлагал Кастель, но важной опять была математическая идея: *клавиши — это упорядоченное множество*. И, благодаря этому, оказалось возможным детально изучать то, что психологи называют *синестезией* — взаимодействие различных чувств при создании целостного образа, в том числе — музыкального.

Уже в XX веке эта идея получила развитие в работах американского психоло-



га Ч. Осгуда<sup>31</sup> (он назвал метод, разработанный им на основе этой идеи, «методом семантического дифференциала»). И здесь много таких проблем, в решении которых каждый может быть первым: очевидно, что эта область открыта для дальнейшего научного поиска.

В течение XX века область применения математики чрезвычайно расширилась сравнительно с предшествующими столетиями. Математическое образование является ныне одной из фундаментальных составляющих общей системы образования и одним из необходимых условий любой успешной практической деятельности. Это стало особенно очевидным в связи с развернувшимися во второй половине столетия и продолжающимися и в настоящее время процессами развития компьютерной техники и превращением компьютера в один из инструментов работы практически в любой сфере.

Процессы эти оказывают существенное влияние и на различные области музыкальной деятельности: композицию, исполнительство, исследование музыки, музыкальную педагогику и др. Уже в конце XX столетия исследователями отмечалось, что музыкальная информатика «становится индустрией мирового уровня» (Ж.Б. Барьер<sup>32</sup>, А.С. Белоненко<sup>33</sup>); «99% всей новой музыкальной продукции в мире сегодня создаётся и записывается при помощи электронно-музыкальных инструментов и компьютеров»<sup>L, F</sup>.

Материалы исторического развития компьютеризации музыкальной деятельности позволяют выделить три различных уровня проявления этого процесса, отличающихся по степени конкретности содержания:

1) уровень логики и схематически представленной акустики (преобладающий до середины 1970-х годов);

2) уровень развитой формы акустики, не порывающий, однако, связи с логической стороной музыки;

3) уровень комплексной (многогранной) музыкальной семантики (пред-

ставленной прежде всего слухо-зрительной областью).

На каждом из этих уровней достигнуты важные результаты в освоении закономерностей музыкального мышления и практической музыкальной деятельности, имеющие, в сущности, общемузыкальное значение. На первом уровне это выявление вероятностно-статистических аспектов музыкальной логики и применение их на практике в форме статистического исследования музыки и стохастического метода музыкальной композиции. Результат этот способствовал решению ряда существенных проблем музыкальной логики и психологии (например, проблемы так называемого ладового тяготения — см. главу «Теория вероятностей») и заключал в себе важные предпосылки повышения эффективности самой работы музыкальной мысли. Наиболее примечательные практические эксперименты, относящиеся к данному уровню компьютеризации (например, компьютерные композиции Л. Хиллера, Р. Зарипова, Я. Ксенакиса 1950–1960-х годов), не принадлежа к высшим достижениям музыкального искусства своего времени, способны тем не менее оказывать позитивное психологическое и эстетическое воздействие благодаря ценным особенностям своей музыкально-логической структуры.

Характеристика результата второго уровня компьютеризации музыкальной деятельности как достижения «всеобъемлющей свободы»<sup>G</sup> (по выражению П. Булеза<sup>34</sup>) в отношении музыкально-звукового материала выглядит пока ещё, строго говоря, не вполне очевидной вследствие тех или иных ограничений, свойственных конкретным компьютерным устройствам. Однако несомненно, что с этим уровнем связана высокая степень обеспеченности практического освоения сложных форм музыкально-звуковой организации. Одновременно, благодаря элементу универсальности, свойственному компью-

терной технике, создаются эффективные предпосылки для осознания принципиальной однородности (гомогенности) музыкально-звуковой системы, соответственно — и для осознания принадлежности проявлений музыкальной мысли, выражаемых различными сочетаниями элементов системы, к единому целому музыки. К существенным результатам данного уровня компьютерного музицирования относится также действенная роль компьютерных технических средств в объединении композиторских, исполнительских и исследовательских аспектов музыкальной деятельности на практике. Представляется, что на компьютерно-технической основе вполне возможно и продвижение к осуществлению высказывавшейся в свое время П. Хиндемита идеи создания «здоровой и прочной системы образования», идеалом которой является «музыкант с универсальными познаниями — познаниями, которые, в случае необходимости, могли бы быть легко использованы для более интенсивного развития специфических талантов»<sup>H</sup>.

Наконец, к важнейшим принципиальным достижениям третьего уровня компьютеризации относится обеспечение систематичности в выявлении внезвуковых областей музыкального мышления (прежде всего — зрительной), соответственно — возможности профессионального их освоения в степени, сопоставимой со степенью освоения музыкально-звуковой системы. Едва ли не впервые в истории музыкальной культуры система музыкального мышления устойчиво предстаёт на этом уровне как система комплексная, не сводимая лишь к системе её звуковых (логико-акустических) характеристик. Это, в свою очередь, создаёт новые возможности для изучения взаимодействия важнейших составляющих «сверхсложности» музыкальной системы, а с другой стороны, может способствовать и выявлению её специфики («непереводимости», по А. Молю). То же

относится к изучению психологических и социологических закономерностей музыки, связанных с конкретно-содержательными её характеристиками.

В то же время комплексно-семантический уровень компьютеризации музыкальной деятельности выявляет и аспект взаимного пересечения областей, составляющих содержание разных видов искусства, создавая «мягкий», без резких граней, переход от обособленности каждого из них к их взаимодействию и синтезу. Формы, которые принимают результаты такого взаимодействия на компьютерно-технической основе, указывают на тенденцию к внутренней подвижности, свойственную синтетически-художественной сфере, до известной степени уже в настоящее время отвечая на вопрос (присутствующий так или иначе во всех исторических концепциях синтеза искусств) о дальнейших перспективах развития художественного творчества [3; 4; 12]. С другой стороны, пересечения и объединения областей содержания различных искусств на практике создают предпосылки и для взаимного объединения усилий художников и художественных деятелей, связанных с той или иной областью этого содержания, ведя в конечном счёте к преодолению профессиональной ограниченности каждого из них, подобно тому, как предшествующие уровни компьютеризации музыкальной деятельности заключают в себе предпосылки к преодолению ограниченности и обособленности различных музыкальных специальностей<sup>I</sup>.

Основные аспекты рассматриваемых в лекции вопросов подробнее освещены в ряде наших работ, среди которых отметим статьи [1; 2; 6–9; 11; 13] и монографию [5].

Дальнейшее развитие этих процессов связано с формированием и последующей эволюцией музыкально-компьютерных технологий (МКТ), особенностям функционирования которых будет посвящена следующая лекция.

 ЛИТЕРАТУРА 

1. Белов Г.Г., Горбунова И.Б. Кибернетика и музыка: постановка проблемы // Общество: философия, история, культура. 2016. № 12. С. 138–143.
2. Горбунова И.Б., Заливадный М.С. Музыка, математика, информатика: пути взаимодействия и проблемы современного этапа // Субкультуры и коммуникативные стратегии информационного общества. Труды Международной научно-теоретической конференции. Отв. за выпуск О.Д. Шипунова. 2014. С. 81–83.
3. Горбунова И.Б., Заливадный М.С., Товпич И.О. Аудиовизуальный синтез: опыт музыкально-теоретического рассмотрения проблем // Казанский педагогический журнал. 2015. № 6–1 (113). С. 162–175.
4. Горбунова И.Б., Заливадный М.С., Товпич И.О. Комплексная модель семантического пространства музыки и перспективы взаимодействия музыкальной науки и современного музыкального образования // Научное мнение. 2014. № 8. С. 238–249.
5. Горбунова И.Б., Заливадный М.С., Чибирев С.В. Музыка, математика, информатика: логические, эстетические и технологические аспекты взаимодействия: монография. СПб.: Изд-во РГПУ им. Герцена, 2017. 407 с.
6. Горбунова И.Б., Романенко Л.Ю., Чибирев С.В. Моделирование процесса музыкального творчества с использованием музыкально-компьютерных технологий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 4 (75). С. 16–24.
7. 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.
8. Gorbunova I., Chibirev S. Algorithmic Modeling of Arts and Other Hard-to-Formalize Subjects. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2020. Vo. 8. No. 6, pp. 2655–2663. DOI: 10.35940/ijrte.F7722.038620
9. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Mathematical Modeling of Musical Creative Process. 3rd International Conference on Art Design, Language, and Humanities (ADLH 2019). 2019, pp. 146–155.
10. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Modeling the Process of Musical Creativity in Musical Instrument Digital Interface Format. Opcion. 2019. Vol. 35. No. Special Issue 22, pp. 392–409.
11. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S. Leonhard Euler's Theory of Music: Its Present-Day Significance and Influence on Certain Fields of Musical Thought. Problemy muzykal'noj nauki / Music Scholarship. 2019. No. 3, pp. 104–111. DOI: 10.17674/1997-0854.2019.3.104-111.
12. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S. The Integrative Model for the Semantic Space of Music: Perspectives of Unifying Musicology and Musical Education. Problemy muzykal'noj nauki / Music Scholarship. 2018. No. 4 (33), pp. 55–64. DOI: 10.17674/1997-0854.2018.4.055-064
13. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S., Tovpich I.O. Mathematical Methods of Research in Musicology: An Attempt of Analyzing a Material from Contemporary Historical Heritage (Reflections on Xenakis' Book MUSIQUES FORMELLES). 15th International Conference on Education, Economics, Humanities and Interdisciplinary Studies (EEHIS-18). ICASET-18, ASBES-18, EEHIS-18. International Conference Proceedings, June 20–21, 2018. Paris, France. Pp. 134–138. DOI:10.17758/URUAE2.AE06184022

---

*Об авторах:*

**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



**Заливадный Михаил Сергеевич**, кандидат искусствоведения,  
старший научный сотрудник, Санкт-Петербургская государственная консерватория  
имени Н.А. Римского-Корсакова  
(190000, г. Санкт-Петербург, Россия),  
**ORCID: 0000-0001-9599-5925**, [trifonov\\_e\\_d@mail.ru](mailto:trifonov_e_d@mail.ru)

## REFERENCES

1. 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.
2. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S. Muzyka, matematika, informatika: puti vzaimodeystviya i problemy sovremennogo etapa [Music, Mathematics, Computer Science: the Ways of Interaction and Problems of the Contemporary Stage]. *Subkul'tury i kommunikativnye strategii informatsionnogo obshchestva. Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-teoreticheskoy konferentsii* [Subcultures and Communication Strategies of the Information Society. Proceedings of the International Scholarly-Theoretical Conference]. Edited by O.D. Shipunova. 2014, pp. 81–83.
3. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S., Tovpich I.O. Audiovizual'nyy sintez: opyt muzykal'no-teoreticheskogo rassmotreniya problem [Audiovisual Synthesis: Attempt of Musical and Theoretical Consideration of the Issues]. *Kazanskiy pedagogicheskiy zhurnal* [Kazan Pedagogical Journal]. 2015. No. 6–1 (113), pp. 162–175.
4. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S., Tovpich I.O. Kompleksnaya model' semanticheskogo prostranstva muzyki i perspektivy vzaimodeystviya muzykal'noy nauki i sovremennogo muzykal'nogo obrazovaniya [A Complex Model of the Semantic Space of Music and the Prospects for the Interaction of Music Scholarship and Modern Music Education]. *Nauchnoe mnenie* [Scholarly Opinion]. 2014. No. 8, pp. 238–249.
5. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S., Chibirev S.V. *Muzyka, matematika, informatika: logicheskie, esteticheskie i tekhnologicheskie aspekty vzaimodeystviya: monografiya* [Music, Mathematics, Computer Science: Logical, Aesthetic and Technological Aspects of Interaction: Monograph]. Saint-Petersburg: Herzen State Pedagogical University of Russia, 2017. 407 p.
6. Gorbunova I.B., Romanenko L.Yu., Chibirev S.V. Modelirovanie protsessa muzykal'nogo tvorchestva s ispol'zovaniem muzykal'no-komp'yuternykh tekhnologiy [Modeling the Process of Musical Composition with the Use of Computer-Musical Technologies]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Newspaper of the Irkutsk State Technical University]. 2013. No. 4 (75), pp. 16–24.
7. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Komp'yuternoe modelirovanie protsessa muzykal'nogo tvorchestva [Computer Modeling of the Process of Musical Composition]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena* [Proceedings of the Herzen State Pedagogical University of Russia]. 2014. No. 168, pp. 84–93.
8. Gorbunova I., Chibirev S. Algorithmic Modeling of Arts and Other Hard-to-Formalize Subjects. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2020. Vol. 8. No. 6, pp. 2655–2663. DOI: 10.35940/ijrte.F7722.038620
9. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Mathematical Modeling of Musical Creative Process. *3rd International Conference on Art Design, Language, and Humanities (ADLH 2019)*. 2019, pp. 146–155.
10. Gorbunova I.B., Chibirev S.V. Modeling the Process of Musical Creativity in Musical Instrument Digital Interface Format. *Opcion*. 2019. Vol. 35. No. Special Issue 22, pp. 392–409.
11. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S. Leonhard Euler's Theory of Music: Its Present-Day Significance and Influence on Certain Fields of Musical Thought. *Problemy muzykal'noj nauki / Music Scholarship*. 2019. No. 3, pp. 104–111. DOI: 10.17674/1997-0854.2019.3.104-111.
12. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S. The Integrative Model for the Semantic Space of Music: Perspectives of Unifying Musicology and Musical Education. *Problemy muzykal'noj nauki / Music Scholarship*. 2018. No. 4 (33), pp. 55–64. DOI: 10.17674/1997-0854.2018.4.055-064

13. Gorbunova I.B., Zalivadny M.S., Tovpich I.O. Mathematical Methods of Research in Musicology: An Attempt of Analyzing a Material from Contemporary Historical Heritage (Reflections on Xenakis' Book MUSIQUES FORMELLES). *15th International Conference on Education, Economics, Humanities and Interdisciplinary Studies (EEHIS-18). ICASET-18, ASBES-18, EEHIS-18. International Conference Proceedings*, June 20–21, 2018. Paris, France. Pp. 134–138. DOI:10.17758/URUAE2.AE06184022

---

*About the authors:*

**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

**Mikhail S. Zalivadny**, Ph.D. (Arts), Senior Researcher, Saint-Petersburg Rimsky-Korsakov State Conservatory (190000, St. Petersburg, Russia)  
**ORCID: 0000-0001-9599-5925**, trifonov\_e\_d@mail.ru

---

