

**СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ФИЛАТОВ-БЕКМАН / SERGEI FILATOV-BESKMANN**

## **СОЗДАНИЕ «МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МУЗЫКИ»: НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

### **CREATION OF “MATHEMATICAL MUSIC”: SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL ASPECT**

#### **Аннотация / Abstract**

В статье рассматривается математическая музыка как результат компьютерно-музыкального моделирования в виде некоторой технологической линии, включающей генерацию числовых множеств и преобразование полученных чисел в акустические частоты; дается краткий анализ полученного звучания.

The article deals with the mathematical music obtained as a result of computer-musical modeling in the form of some production line including generation of number sets and conversion of the numbers got into acoustic frequency; a brief analysis of the resulting sound is provided.

Ключевые слова: математическая музыка, компьютерно-музыкальное моделирование, музыкально-статистическая модель

Key words: mathematical music, computer-musical modeling, musical statistical model

В предлагаемой работе обсуждаются аспекты одного из новых направлений компьютерной музыки, а также оценивается их научно-педагогическая роль.

Обширный спектр современной электроакустической музыки включает музыку компьютерную, которая, согласно классификации, приведенной в учебном пособии «Теория современной композиции» [2], генерируется чисто компьютерными средствами. Так, композитор, использующий синтезатор, создает симфоническое произведение, пользуясь обширными электронными банками тембров звучаний музыкальных инструментов. Произведение может соответствовать как классической музыкальной форме, так и любому из направлений современной композиции; компьютеру в данном случае отведена роль «фиксатора» творческой музыкальной мысли.

Однако существует и иной подход: компьютер становится музыкальным соавтором композитора. В данном случае речь идет о так называемой алгоритмической музыке.

Данный вид музыки представляет собой акустический результат действий некоторого компьютерного алгоритма. Первым в России, кто осуществил построение подобного музыкального алгоритма, был наш выдающийся соотечественник Р. Зарипов [1]. Не менее значительная роль принадлежит композитору с мировым именем Я. Ксенакису; используя идеи теории вероятностей и теории игр (например, генерация случайных чисел), он создал

целый пантеон ярких произведений. Основные идеи Ксенакиса изложены в книге «Формализованная музыка» [13].

Творчество в области компьютерной музыки предполагает наличие специальных компьютерно-технических навыков и знаний.

Так, компьютерный алгоритм может строиться в виде некоторой «неизменяемой» конструкции, управление которой ограничивается, к примеру, лишь звуковысотностью, скоростью воспроизведения и возможностью «перестановки» исполняемых элементов. Подобная конструкция, несмотря на свою очевидную сложность, представляет лишь ограниченный простор для творческой фантазии композитора.

Более высоким уровнем обладает алгоритм, допускающий возможность изменения со стороны музыканта (системного программиста или пользователя). В данном случае на сцену выступает компьютерная алгоритмическая интерактивная музыка [2; 13]. Она, в свою очередь, может быть следствием некоторых теоретико-вероятностных моделей.

Однако в основу машинного алгоритма может быть положен и иной – достаточно жестко детерминированный – процесс. Подобный процесс определяет генерацию и эволюцию «математической музыки» на основе авторской компьютерной музыкально-акустической модели MARC [4; 5].

Любая компьютерная модель нацелена на решение определенных уравнений, описывающих те или иные динамические процессы. Подобные процессы могут иметь природное происхождение (биологическое, физическое, химическое), а также способны отражать различные сферы человеческой деятельности (социальную, экономическую, историческую). Автор как геофизик и математик избрал для построения уравнений область, связанную с физическими процессами в атмосфере Земли.

Алгоритм построения акустических звучностей включает формирование элементов числового множества как численного эксперимента на основе модели MARC [4; 5]. В соответствие данным элементам ставятся акустические частоты; для реализации подобной операции разработана оригинальная программа-конвертор. В простейшем случае темп, тембр и амплитуда полученного таким образом компьютерного музыкального сигнала являются заранее фиксированными и не изменяются во времени. Таким образом, изменяется лишь акустическая частота; однако именно вариативность частоты и порождает одноголосную электронную мелодию [6].

Применение программ – музыкальных редакторов предоставляет обширные возможности для музыкально-акустических экспериментов. Так, одноголосный сигнал в формате MIDI легко разделяется на несколько участков, размещаемых на разных треках, что приводит к многоголосному (полифоническому) звучанию, а также к вариациям тембра и амплитуды. Трансформация в волновой формат открывает доступ к обширной палитре «процессинга» и «эффектинга», содержащейся в меню музыкальных редакторов. Применение одного (или нескольких) процессов и/или эффектов позволяет, помимо вариации амплитуды, вносить существенные изменения в тембр [12]. К примеру, включение эффекта многократного отражения дает возможность сформировать весь «ряд» т. н. сонорного звучания: от колористически окрашенной гармонии до развитой сонорики, в условиях

которой поддаются определению лишь регистры звучания (а не отдельные ноты) [2].

Авторская музыкально-статистическая модель MQS позволяет проанализировать особенности полученного звучания на основе некоторых принципов нелинейной динамики и математической статистики (реконструкция отображений, расчет корреляционной размерности, оценка шумов квантования и т. д.); данные особенности недоступны обычному, «традиционному» музыкальному анализу.

Таким образом, мы получаем технологическую линию, состоящую в генерации числовых множеств, конвертации чисел в акустические частоты и компьютерном анализе звучания. Данная линия рассматривается нами как **компьютерно-музыкальное моделирование** [9]. Заметим, что ни один элемент музыкального звучания не создается «вручную»: все одноголосные музыкальные примеры имеют чисто компьютерное происхождение.

Исходные числовые массивы, как говорилось выше, формируются в результате компьютерных экспериментов. Музыкально-акустическая модель основана на системе шести уравнений в частных производных, относящихся к т. н. параболическому типу [3]. Данный тип уравнений описывает процессы диффузии. Реально мы имеем дело с системой шести нелинейных уравнений, связанных правыми частями; компьютерное моделирование – практически единственный способ исследования свойств подобных формализмов.

Конвертация результатов численного интегрирования в музыкальный миди-файл осуществляется на основе авторской компьютерной программы (конвертор Cybercom [11]).

В ряде работ (напр., [7; 8; 10]) нами достаточно подробно изложены принципы построения моделей MARC и MQS, приводится анализ ряда примеров математической музыки. Основываясь на сказанном выше, определим математическую музыку как *компьютерно-алгоритмическую, интерактивную и детерминированную*. Интерактивность следует из возможности оптимизации алгоритма; детерминированность проявляется в том, что каждой ноте ставится в соответствие определенное число, являющееся результатом численного интегрирования в рамках пространственно-временного континуума.

К настоящему времени разработаны шесть версий модели, отличающиеся друг от друга как формой и объемом представления физических процессов, так и элементами схемы численного интегрирования по времени. Седьмая версия является к н. в. наиболее полной, т. к. содержит компактное представление исходной системы уравнений, базирующееся на расчете матрицы сложных прогностических коэффициентов (представленных в виде нелинейных функционалов).

Приведем некоторые результаты компьютерного вычисления переменных, на основе которых создается математическая музыка. Одной из основных переменных музыкально-акустической модели MARC является специальная знакпеременная функция  $M$ , отражающая некоторые энергетические процессы. Эволюция функции  $M$  в слое 24-42 км (верхняя стратосфера Земли) в течение 100 минут позволяет сделать вывод о достаточно динамичном характере поведения данной переменной; в начальные моменты времени она

близка к нулю, затем приобретает слабые отрицательные значения. Характерные осцилляции, проявляющиеся в волнообразном характере изолиний, отмечаются во всей толще «модельного» слоя, для которого проводится численное интегрирование.

Музыкальный результат, формирующийся путем конвертации чисел в команды миди-файла, содержит основные черты описанного физического процесса. Именно в этом и проявляется детерминистический характер математической музыки.

Планируемые нами эксперименты должны охватывать значительно более протяженный интервал по времени (до 5-8 суток); на подобных отрезках можно получить низкочастотные колебания исследуемых переменных, являющиеся следствием нелинейной природы исходных уравнений.

Возможности музыкальной обработки и интерпретации полученных модельных данных весьма обширны. Одна и та же физическая величина, вычисленная на разных уровнях, порождает полифоническую интерпретацию, отражающую особенности модельной эволюции специфическим музыкальным языком. Одновременное озвучивание нескольких модельных переменных позволяет получить своеобразный музыкальный «коллаж», воспроизводящий поведение независимых (или частично независимых) переменных.

Эволюция  $M$  в течение суток обладает значительно большей сложностью. Так, в районе 2-3 км формируется волновой процесс, состоящий в медленном квазипериодическом изменении области повышенных значений  $M$  (своеобразные колебания верхней границы данной области). Если учесть, что  $M$  «отвечает» за образование жидкого и кристаллического фазовых состояний, то можно предположить, что подобные колебания связаны с формированием данных субстанций. Период колебаний верхней границы достаточно велик (10-12 часов). Наиболее вероятно, что природа данного явления обусловлена мощным комплексом обратных связей, содержащихся в исходном уравнении относительно  $M$  (это «самое нелинейное» из системы уравнений).

Отметим, что причины формирования квазипериодических процессов следует искать в нелинейной природе исходных уравнений. Наличие данных процессов наводит на мысль о заметном отличии скоростей изменения переменных, нелинейное взаимодействие которых определяет эволюцию знакопеременной функции.

В чем заключается научно-педагогический аспект синтеза математической музыки как результата взаимодействия двух областей – музыкальной науки и компьютерного моделирования? Студенты-музыканты и музыкальные звукорежиссеры, с которыми работает автор, во многих случаях страдают серьезными нарушениями зрения (частичная или полная зрительная депривация). Реальная деятельность таких людей в области практической звукозаписи неизбежно связана со значительными трудностями. Однако будущие звукорежиссеры профессионально владеют рядом компьютерных программ – музыкальных редакторов. Поэтому, как показывает многолетняя педагогическая практика автора, многие из студентов с большим интересом ориентируются на деятельность в области профессиональной компьютерной композиции. Примеры математической музыки являются для них во многом «строительными элементами» их будущих собственных произведений, что

стимулирует процесс социализации и содействует развитию творческого потенциала обучающихся. С 2008 года нами развивается банк компьютерных музыкальных примеров, созданных силами студентов Российской государственной специализированной академии искусств. В настоящее время количество студенческих интерпретаций исходных вариантов математической музыки весьма значительно, и созданный банк постоянно пополняется.

Одной из особенностей нотных фрагментов математической музыки, отображающей акустическое воспроизведение эволюции переменной  $M$ , является значительный частотный диапазон полученного многоголосного фрагмента: практически от субконтроктавы до четвертой-пятой октав фортепианного (оркестрового) диапазона. Нотирование музыкальных файлов является, как правило, результатом студенческого компьютерного композиторского творчества. Таким образом, компьютерно-музыкальная технология позволяет студентам-музыкантам и музыкальным звукорежиссерам пробовать свои силы как в области компьютерного моделирования, так и в области музыкальной композиции, и содействует развитию творческого потенциала.

Создание математической музыки является одним из примеров процесса взаимодействия различных областей человеческого знания. Подобный процесс является по своему смыслу глубоко синергетическим, что актуально для науки наших дней.

### Литература / References

1. Зарипов, Р. Х. Кибернетика и музыка. – М. : Наука, 1971. – 235 с.
2. Теория современной композиции : учебное пособие. – М. : МУЗЫКА, 2005. – 624 с.
3. Тихонов, А. Н., Самарский, А. А. Уравнения математической физики : учеб. пособие. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 798 с.
4. Филатов-Бекман, С. А. Компьютерно-музыкальное моделирование как инструмент исследования музыкальной информации // Символы, коды, знаки : сб. материалов 10-й конференции из цикла «Григорьевские чтения». – М. : Изд-во Моск. гуманитарн. ун-та, 2008. – С. 134-140.
5. Филатов-Бекман, С. А. Математико-музыкальное моделирование и параметры порядка // Информационные технологии в науке, образовании, искусстве : сб. научных статей. – СПб. : РГПУ им. А. И. Герцена, 2005. – С. 235-240.
6. Филатов-Бекман, С. А. О понятии многомерности произведения и компьютерных методах анализа музыки // Музыковедение. – № 3. – 2008. – ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2008. – С. 2-5.
7. Филатов-Бекман, С. А. Как рождается «математическая музыка»: педагогические аспекты // Педагогика современности. Научный альманах. – Чебоксары : НИИ педагогики и психологии. – 2013. – Вып. 2. – С. 10-15.
8. Филатов-Бекман, С. А. Введение в компьютерно-музыкальное моделирование (раздел 1) // Научный журнал «Общество». – 2014. – № 2. – С. 40-45.
9. Филатов-Бекман, С. А. Введение в компьютерно-музыкальное моделирование: некоторые педагогические аспекты. – LAP LAMBERT Academic Publishing Saarbrücken Deutschland, 2014. – 120 с.
10. Филатов-Бекман, С. А. Введение в компьютерно-музыкальное моделирование (раздел 2) // Научный журнал «Общество». – 2014. – № 3-4. – С. 63-68.

11. Филатов-Бекман, С. А. Введение в компьютерно-музыкальное моделирование (раздел 3) // Научный журнал «Общество». – 2015. – № 1. – С. 75-81.
12. Цоллер, С. А. Создание музыки на ПК: от простого к сложному. – СПб. : БХВ – Петербург, 2005. – 320 с.
13. Xenakis, I. Formalized Music, thoughts and mathematics in composition. – Indiana University Press, Bloomington, 1972.

Сергей Анатольевич Филатов-Бекман  
кандидат педагогических наук, доцент  
Российская государственная специализированная академия искусств  
преподаватель  
Московская государственная консерватория им. П. И. Чайковского  
Москва, Россия  
mserg1958@mail.ru

Sergei Filatov-Beckmann  
PhD in Pedagogy (Candidate of Science), Associate Professor  
Russian State Specialized Academy of Arts  
Teacher  
P. I. Tchaikovsky Moscow State Conservatory  
Moscow, Russia  
mserg1958@mail.ru