

# ИННОВАТИКА В МУЗЫКАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ



И. Б. ГОРБУНОВА

*Российский государственный педагогический университет  
им. А. И. Герцена*

М. С. ЗАЛИВАДНЫЙ

*Санкт-Петербургская государственная консерватория  
им. Н. А. Римского-Корсакова*

УДК 78.071.4

## О МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДАХ В ИССЛЕДОВАНИИ МУЗЫКИ И ПОДГОТОВКЕ МУЗЫКАНТОВ

Логические закономерности строения музыкальных произведений стали предметом целенаправленного обучения музыкантов, начиная с первой половины XIX века (в теоретических работах этого времени обнаруживаются элементы теории множеств, природа которых, однако, не была в то время осознана, поскольку математика и теоретическое исследование музыки развивались во многом различными путями<sup>1</sup>. В связи с развитием музыкально-компьютерных технологий<sup>2</sup> как одной из важнейших сфер профессиональной деятельности современного музыканта стала очевидной необходимость формирования адекватного представления о логических закономерностях музыки, что составляет необходимый элемент подготовки современных музыкантов различных специальностей. Соответственно этому приобретает существенное значение подготовка специалистов, компетентных в данной области, современными музыкальными вузами.

В число задач обучения в данном направлении естественным образом входит освоение математических методов изучения музыки, реально представленных в научных работах различных исторических периодов. Построение таких курсов является одной из актуальных задач современного музыкального образования, поскольку основные идеи, относящиеся к данной проблематике, реализуются сегодня при разработке программно-аппаратного обеспечения для осуществления различных аспектов музыкальной деятельности: творческой, исполнительской, исследовательской и др.

Фундаментальные идеи, способные составить теоретическую основу подобных курсов, представлены рядом значительных работ<sup>3</sup>, среди которых особое

место занимает книга Я. Ксенакиса «Формализованная музыка»<sup>4</sup>. В ней намечаются связи и параллели между теоретико-множественными и теоретико-вероятностными аспектами изучения музыкально-логической системы, которые сосредоточены преимущественно в главах, составивших первое издание книги (1963). Авторы статьи распределили важнейшие из этих идей по следующим рубрикам (соответственно – разделам курса):

*Теория множеств.* В книге содержатся в развернутом виде возможности этой области математики применительно к выражению логических закономерностей музыки. Соответствие аппарата особенностям музыки как системы, характеризующейся изобразительно-знаковыми свойствами (что не исключает иных её семиотических аспектов), очевидно также благодаря тому, что подобные свойства находят выражение в форме пространственных (графических) представлений, что придаёт изложению своеобразную «мультимедийность». Введение этого аппарата создаёт возможности для выявления предпосылок данной области математики в истории музыкальной теории. Аппарат теории множеств позволяет трактовать те или иные проявления музыкально-звуковой системы многосторонне, учитывая характеристики всех свойств звука и компактно объединяя их в стройное логическое целое. В этом отношении работа Ксенакиса (как и его творческая практика) вносит свой вклад в развитие многомерной техники композиции, основы которой были заложены учителем Ксенакиса О. Мессианом в середине XX в.<sup>5</sup> Необходимо отметить также вынесение производных показателей музыкально-логического развития (например, характеристик плотности

звучания) в отдельные измерения многомерного пространства, что может быть использовано и для привлечения других аналогичных показателей, выработанных теорией музыки в XX в. К ним относятся, например, обобщающие характеристики «плотности»<sup>6</sup>, «напряжённости»<sup>7</sup>, «звуковой температуры»<sup>8</sup> музыкальных построений и т. п. При этом часть опытов по систематизации музыкально-логических отношений на основе указанных характеристик (например, «напряжённости» созвучий и их систем) сыграла заметную роль в осмыслении новых логических закономерностей музыки XX в., способствуя тем самым внесению «ясности и стройности» (по известному выражению С. Танеева)<sup>9</sup> в их применение на практике.

*Теория вероятностей.* Благодаря творческой практике Ксенакиса широкую известность приобрёл стохастический метод композиции, основанный на применении закономерностей, изучаемых соответствующей областью математики. Разработка этого метода (как и «обратные» ему опыты музыкально-статистических исследований) составила важный шаг на пути к более полному осмыслению музыкально-логической системы как принципиально всеобщего по своему значению «единства числа, времени и случая» (отмеченного ещё в 20-е гг. XX в. А. Лосевым)<sup>10</sup>. Историческая заслуга Ксенакиса в отношении данного метода заключается в соединении его основ (известных, например, из работ К. Шеннона, Дж. Пирса, Л. Хиллера и Л. Айзексона)<sup>11</sup> с высоким уровнем техники музыкальной композиции.

*Теория информации.* Информационность музыкально-логических структур характеризуется Ксенакисом на основе статистической теории информации К. Шеннона. Благодаря «двойному» – теоретико-вероятностному и теоретико-множественному – применению матриц в книге (поскольку в теоретико-игровых её разделах отчётливо представлен элемент оценки сообщений) присутствует и постановка вопроса о синтезе различных подходов к изучению информации, имеющая несомненную перспективную ценность. По мнению авторов статьи, в качестве одного из шагов на пути решения этой проблемы применительно к музыкально-логической области возможно использование системы «банальностных вычетов» (соответственно частоте повторения того или иного элемента или сочетания элементов) из значений величин, характеризующих разнообразие соотношений между элементами в тех или иных музыкальных построениях, при информационной оценке этих последних.

Ранее близкая к понятию информации (субъективно воспринимаемого разнообразия) характеристика «приятности» созвучий выдвигалась в книге Л. Эйлера «Опыт новой теории музыки, ясно изложенной в соответствии с непреложными принципами

гармонии»<sup>12</sup>, а также в его более ранних работах<sup>13</sup>, при этом автором книги рассматривались различные аспекты характеристики, в частности, результаты объединения созвучий в тональности и переходы одних тональностей к другим. Идея близка позднейшему понятию информации, существенному для эстетической оценки явлений<sup>14</sup>; к тому же значение данного понятия (так же, как и эйлеровской категории «приятности») не ограничивается чисто логической областью, оно включает и более конкретное смысловое содержание. Помимо этого – общефилософского по существу – понятия в исследовании и практическом применении довольно быстро обнаружился музыкально-эстетический аспект<sup>15</sup>.

Результаты использования математических методов в музыковедении первых двух третей XX века получили дальнейший импульс благодаря появлению теории нечётких множеств<sup>16</sup>, обращение к которой позволило выявить предпосылки для её появления в теории музыки.

В середине XX в. музыковедением и смежными науками предложен ряд перспективных идей, содержащих широкие возможности для изучения факторов неопределённости в системе музыкального мышления и частично опередивших аналогичные идеи в области точных наук. Так, на рубеже 1940–1950-х гг. учёный-акустик и музыкант-теоретик Н. А. Гарбузов выдвинул теорию зонной природы музыкального слуха, охватывающую все основные свойства звука<sup>17</sup>. Согласно его теории, каждой элементарной логической единице музыки соответствует на практике ряд близких друг другу звуковых характеристик (высот, длительностей, громкостей, тембров), вместе образующих целую полосу – зону. Границы зон со временем меняются; меняться может также само их число.

Примерно в это же время группой американских композиторов (Дж. Кейдж, Э. Браун, Д. Тюдор и др.) был выдвинут ряд предложений по введению факторов неопределённости в логическую структуру музыки, позднее оформившихся в виде алеаторической и сонористической техники письма и получивших широкое распространение во всём мире<sup>18</sup>. Некоторые аспекты предложений родственны зонной теории Гарбузова, но относятся в большей мере к исполнительской стороне музыки и предполагают значительно более широкие границы зон высот и длительностей звука. Практические опыты по их реализации (конкретная эстетическая характеристика которых не входит здесь в нашу задачу) способствовали осознанию элементов логической неопределённости, присутствующих в самой музыкальной традиции (партии ударных инструментов с неопределённой высотой звука, мелизматика, артикуляция, традиционная система динамических оттенков).

Также к 40–50-м годам XX в. относится формирование метода «семантического дифференциала»

Ч. Осгуда и его соавторов, выросшего из исследования закономерностей слухо-зрительных синестезий<sup>19</sup>. Метод является важным шагом вперёд в изучении области музыкально-синестетических представлений благодаря их группировке на основе ступенчатых шкал различий. Помимо возможности статистического обобщения данных синестетического восприятия музыки различными слушателями (с чем также связаны факторы неопределённости музыкального содержания), данный метод допускает элемент неопределённости в структуре самих шкал, что позволяет говорить о зонной природе музыкальных синестезий. Каждый дифференциал (единица различия) в такой шкале представлен отрезком прямой (между противоположными понятиями), который также может быть трактован как зона синестетических представлений. Само различие этих представлений возможно на основе как количественных, так и качественных различий и, таким образом, не требует обязательного равенства отрезков по величине.

С точки зрения логической организации музыки представляется возможной модификация этого аппарата, когда носителями музыкального значения оказываются не отрезки («дифференциалы семантических шкал»), а точки на их стыках, местоположение которых также допускает определённые колебания в пределах некоторой полосы (зоны). Такая модификация придает шкалам синестетических значений элементов музыки сходство с существующими в музыкальной теории шкалами различий самих элементов (простой пример – высотный звукоряд), также допускающими различные степени точности и, соответственно, колебания в расстояниях между отдельными элементами (например, шкала интервалов в работе С. И. Танеева «Подвижной контрапункт строгого письма»)<sup>20</sup>. Оригинальный вариант методики изучения синестетических закономерностей музыки на данной основе (с разомкнутой внутренней структурой шкал и качественным различием самих элементов синестетических соответствий) был предложен в 1970-е гг. Б. М. Галеевым применительно к изучению слухо-зрительных синестезий<sup>21</sup>.

Охарактеризованные выше идеи и методики составляют очевидные предпосылки к применению аппарата нечётких и «грубых»<sup>22</sup> множеств<sup>23</sup> (к моменту выдвижения большей части этих идей ещё не существовавшего) в музыкально-научных исследованиях (помимо известного ранее и нашего широкого применения уже в 50–60-е годы XX в. аппарата теории вероятностей и математической статистики). Они, однако, не дают полного представления об уже выявленных к тому времени формах проявления фактора неопределённости, действующих в системе музыкального мышления (в том числе – в его синестетической сфере). Более сложные формы такого рода отмечены в более ран-

них исследованиях Э. Курта<sup>24</sup> и Дж. Шиллингера<sup>25</sup>, посвящённых закономерностям пространственно-слуховых синестезий в мелодическом движении. Оба исследователя отмечают значение отдельных звуков мелодии как точек, выделяющих моменты смены направлений движения («границы отдельных фаз», «высшие точки линейных кривых»). Шиллингер, помимо этого, указывает на зависимость характера линий во входящих в музыкальные синестезии зрительных представлениях от артикуляции звуков (кривая линия – legato, ломаная линия – non legato, точечная структура – staccato). Конкретный характер кривых или ломаных линий при этом не регламентируется, что позволяет говорить (это особенно очевидно в случаях криволинейных траекторий движения) об их «зонной геометрии», равно как и о нечётких функциональных зависимостях при взаимодействии звуковых и зрительных элементов в рамках музыкальных синестезий.

Рассмотренные теоретические идеи и обобщения представляются примечательными в качестве основы точного исследования различных составляющих системы музыкального мышления, включая её синестетическую область. Последний из этих аспектов весьма важен при моделировании синестезий как частного случая виртуальных реальностей средствами компьютерной техники и тем самым – использования музыки в качестве источника таких реальностей<sup>26</sup>. В связи с идеями непосредственного включения зрительного ряда в музыку с помощью компьютерно-технических средств<sup>27</sup> такое моделирование приобретает весьма существенное значение не только для синтетических форм художественной деятельности с участием музыки, но и для самого музыкального искусства.

Разработка отдельных композиционных закономерностей, а также их совокупности способствует раскрытию понятия гармонии. Так как функцией гармонии является скрепление, связь некоторого числа элементов, чтобы синергетически согласовать их друг с другом на выполнение общей задачи, то при обучении студентов музыке с использованием информационных технологий, в соединении компьютера и искусства, большое значение приобретает раздел математики – *теория групп*. В известном труде по теории групп, посвящённом вопросам использования принципов и методов симметрии в различных областях искусства, отмечается: «Понятие симметрии входит в искусствоведение через понятие структуры. Искусство как образная форма познания и моделирования мира должно отображать и действительно отражает его структурную сторону. Структурность достаточно общий закон, форма существования и движения материи, и этому закону подчинены также продукты научного и художественного творчества. Хорошо известно, что произведения искусства – художественной литературы, поэзии, музыки, живо-

писи, архитектуры и т. д. – обладают сложной художественной структурой, представляют органическое переплетение и взаимопроникновение различных подструктур отдельных компонент художественной выразительности»<sup>28</sup>.

Ряд учебно-педагогических экспериментов по тематике статьи (лекции, семинары, практические задания) осуществлён авторами в ходе проведения курсов «Математика и информатика» на факультете музыки Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена и факультативного курса «Математические методы исследования в музыкознании» для студентов Санкт-Петербургской государственной консерватории им. Н. А. Римского-Корсакова. Рассмотренные идеи книги Ксенакиса составили основу конкретных *практических заданий* учебных музыкально-математических курсов. К числу таких заданий относится запись музыкально-звуковых построений в форме алгебраических операций над множествами, изучение и практическое моделирование закономерностей статистического распределения музыкально-логических характеристик, подсчёт информационного значения различных проявлений этих закономерностей с применением существующих обобщений теории информации и т. п. При этом более сложные случаи такого рода, анализируемые Ксенакисом (например, предполагающие участие непрерывных случайных

величин, моделирование которых соответственно требует применения аппарата дифференциального и интегрального исчисления), могут играть роль факультативных элементов проблематики курса, вводимых по мере необходимости, в частности – в связи с задачами, возникающими в ходе исследовательской и практически-творческой работы студентов по основным (специальным) музыкальным дисциплинам<sup>29</sup>.

В наиболее полном объёме изложенные в данной статье идеи нашли воплощение в курсе «Информационные технологии в музыке», который является одним из основополагающих при подготовке студентов факультетов музыки, обучающихся по направлению «Художественное образование» в рамках профессионально-образовательного профиля «Музыкально-компьютерные технологии» и «Музыкальное искусство».

Для реализации данной учебной дисциплины подготовлено учебное пособие «Информационные технологии в музыке»<sup>30</sup>, в котором рассматриваются принципы и формы взаимодействия музыки, математики и информатики в их историческом развитии (включая современный этап), а также содержатся рекомендации к построению учебного курса, посвящённого применению математики и информационных технологий в области исследования музыки и практической музыкальной композиции.

## ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>1</sup> Marx A. B. Die Lehre von der musikalischen Komposition. Bd. 1–4. – Berlin, 1837–1847; Riemann H. Grundriss der Kompositionslehre. – Leipzig, 1897.

<sup>2</sup> Горбунова И. Б. Феномен музыкально-компьютерных технологий как новая образовательная творческая среда // Известия РГПУ им. А. И. Герцена: научный журнал. – 2004. – № 4 (9). – С. 123–138.

<sup>3</sup> Лосев А. Ф. Музыка как предмет логики (1927) // Лосев А. Ф. Из ранних произведений. – М., 1990. – С. 195–392; Эйзенштейн С. М. Вертикальный монтаж // Эйзенштейн С. М. Избр. произведения. В 6 т. Т. 2. – М.: Искусство, 1964. – С. 189–266; Зарипов Р. Х. Кибернетика и музыка. – М.: Наука, 1971 и др.

<sup>4</sup> Xenakis I. Musiques formelles // La Revue musicale. – № 253/254. – Paris, 1963. Данные последующих изданий книги (на англ. языке): Xenakis I. Formalized Music. Thought and Mathematics in Composition. Bloomington. – London: Indiana University Press, 1970 (2nd print 1972); Xenakis I. Formalized Music. Thought and Mathematics in Music. Stuyvesant and Hillsdale. – N. Y.: Pendragon Press, 1992.

<sup>5</sup> Мессиаен О. Четыре ритмических этюда (1950). – Л.: Музыка, 1974.

<sup>6</sup> Schillinger J. The Schillinger System of Musical Composition. V. 1 – 2. – New York: Carl Fischer, 1946; Křenek E. Extents and Limits of Serial Techniques // The Musical Quarterly. – 1960. – № 2. – P. 210–232 и др.

<sup>7</sup> Курт Э. Романтическая гармония и ее кризис в «Тристане» Вагнера (1920). – М.: Музыка, 1975; Hindemith P. Unterweisung im Tonsatz. Т. 1. – Mainz: B. Schott's Söhne, 1940; Оголевец А. С. Введение в современное музыкальное мышление. – М.; Л.: Музгиз, 1946.

<sup>8</sup> Xenakis I. Musiques formelles // La Revue musicale. – № 253/254. – Paris, 1963.

<sup>9</sup> Танеев С. И. Материалы и документы. Т. 1. – М.: АН СССР, 1952. – С. 233.

<sup>10</sup> Лосев А. Ф. Музыка как предмет логики...

<sup>11</sup> Зарипов Р. Х. Кибернетика и музыка. – М.: Наука, 1971; Пирс Дж. Символы, сигналы, шумы. – М.: Мир, 1967; Hiller L. A., Isaacson L. M. Experimental Music. Composition with an Electronic Computer. – New York; Toronto; London: McGraw-Hill, 1959.

<sup>12</sup> Эйлер Л. Опыт новой теории музыки, ясно изложенной в соответствии с непреложными принципами гармонии. – СПб.: Нестор-История, 2007.

<sup>13</sup> Euler L. Nova theoria lucis ac colorum // Leonhardi Euleri opuscula. Varii argumenti. – Berolini, 1746. – P. 169–244; Euler L. Conjectura physica circa propagationem soni ac luminis. – Berolini, 1750; Euler L. Conjecture sur la raison de quelques dissonances généralement reçues dans la musique // Mémoires de l'Académie des Sciences de Berlin, 20 (1764). – Berlin, 1766. – P. 165–173; Euler L. Du véritable caractère de la musique moderne // Ibid. P. 174–199; Euler L. De harmoniae veris principiis per

speculum musicum representatis // Novi commentarii Academiae Scientiarum Petropolitanae, 18 (1773). – Petropoli, 1774. – P. 330–353; Эйлер Л. Письма к немецкой принцессе о разных физических и философских материях (1766). – СПб.: Наука, 2002.

<sup>14</sup> Крюковский Н. И. Кибернетика и законы красоты. – Минск: БГУ, 1977.

<sup>15</sup> Моль А. Теория информации и эстетическое восприятие. – М.: Мир, 1966; Пирс Дж. Символы, сигналы, шумы. – М.: Мир, 1967; Зарипов Р. Х. Кибернетика и музыка. – М.: Наука, 1971.

<sup>16</sup> Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближённых решений. – М.: Мир, 1977; Soft Computing. Third International Workshop on Rough Sets and Soft Computing. – San Diego, CA (USA), 1995.

<sup>17</sup> Н. А. Гарбузов – музыкант, исследователь, педагог. – М.: Музыка, 1980.

<sup>18</sup> См., например: Денисов Э. В. Стабильные и мобильные элементы музыкальной формы и их взаимодействие // Денисов Э. В. Современная музыка и проблемы эволюции композиторской техники. – М., 1986. – С. 112–136; Когоутек Ц. Техника композиции в музыке XX века. – М.: Музыка, 1976; Nordvall T. Krzysztof Penderecki – studium notacji i instrumentacji // Res facta 2. – Kraków: PWM, 1968. – S. 79–112.

<sup>19</sup> Osgood Ch., Suci J., Tannenbaum P. The Measurement of Meaning. – Urbana, Illinois: Illinois University Press, 1957.

<sup>20</sup> Танеев С. И. Подвижной контрапункт строгого письма. – М.: Музгиз, 1959.

<sup>21</sup> Галеев Б. М. Проблема синестезии в искусстве // Искусство светящихся звуков: сб. работ СКБ «Прометей». – Казань, 1973. – С. 67–88.

<sup>22</sup> То есть, содержащих лишь предельные значения входящих в нечёткое множество величин.

<sup>23</sup> Заде Л. А. Указ. соч.; Soft Computing. Op. cit.

<sup>24</sup> Курт Э. Основы линейного контрапункта. – М.: Музгиз, 1931 и др.

<sup>25</sup> Schillinger J. Op. cit.

<sup>26</sup> Заливадный М. С. Применение закономерностей слухо-зрительных синестезий в композиции и анализе музыки // Синестезия: содружество чувств и синтез искусств: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Казань, 2008. – С. 156–159.

<sup>27</sup> Ульянич В. С. Компьютерная музыка и освоение новой художественно-выразительной среды в музыкальном искусстве: автореф. дис. ... канд. искусствоведения. – М., 1997.

<sup>28</sup> Шубников А. В., Копчик В. А. Симметрия в науке и искусстве. – М., 1972. – С. 296–297.

<sup>29</sup> Более подробно данные вопросы рассмотрены нами в работах: Горбунова И. Б., Заливадный М. С. Опыт математического представления музыкально-логических закономерностей в книге Я. Ксенакиса «Формализованная музыка» // Общество – Среда – Развитие: научно-теоретический журнал. – № 4 (25) '12. – С. 135–139; Горбунова И. Б., Заливадный М. С., Кибиткина Э. В. Основы музыкального программирования: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2012.

<sup>30</sup> Горбунова И. Б. Информационные технологии в музыке: учеб. пособие. Т. 1. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009; Горбунова И. Б. Информационные технологии в музыке: учеб. пособие. Т. 2. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2010.

### **Горбунова Ирина Борисовна**

главный научный сотрудник  
учебно-методической лаборатории  
«Музыкально-компьютерные технологии»,  
доктор педагогических наук,  
профессор кафедры информатизации образования  
Российского государственного педагогического университета  
им. А. И. Герцена

### **Заливадный Михаил Сергеевич**

кандидат искусствоведения,  
старший научный сотрудник  
Санкт-Петербургской государственной консерватории  
им. Н. А. Римского-Корсакова

