



УДК 785.7.01 «19/20»

## ПРИНЦИП САМОПОДОБИЯ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ВОПЛОЩЕНИЯ В МУЗЫКАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ С ФРАКТАЛАМИ

Е.А. ЕРМАК, А.А. ТИХОМИРОВА

Белорусская государственная академия музыки, 220013, Минск,  
Республика Беларусь

**АННОТАЦИЯ.** Научно-исследовательская проблематика статьи связана с изучением фракталов как одного из видов математических структур и их индивидуального «композиторского прочтения» в музыке. Представлен обзор научно-исследовательских источников, посвященных изучению фракталов в различных видах искусства и литературе. Более подробно речь идет о научной литературе, в которой закономерности фрактальных структур рассматриваются в проекции на музыкальное искусство, предложена собственная их классификация. В центре внимания авторов – принцип самоподобия, наиболее ярко раскрывающий закономерности проявления фракталов в камерно-инструментальных сочинениях композиторов XX–XXI вв. – Д. Лигети, П. Нёргора, Д. Корманна, А. Кея. В процессе реализации принципа самоподобия акцентируется роль повтора в музыке (точного или варьированного), что проявляется в различных параметрах организации музыкального материала: звуковысотность, техника композиции, принципы развития и формообразование. Методология исследования основывается на научных трудах, в которых речь идет о воплощении фракталов в художественном произведении (А. Духно, Е. Николаева, Ю. Кирбаба, Ю. Дмитрюкова и др.), техниках композиции в музыке XX–XXI вв. (С. Курбатская, Т. Франтова и др.), особенностях формообразования и драматургии (В. Холопова, В. Задерацкий и др.).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** наука и искусство, фракталы, итеративность и самоподобие музыке, повтор точный и измененный, серийная техника, репетитивная техника, формообразование.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## THE PRINCIPLE OF SELF-SIMILARITY AND THE FEATURES OF IT'S IMPLEMENTATION IN A MUSICAL COMPOSITION WITH FRACTALS

Y.A. YERMAK, A.A. TIKHOMIROVA

Belarusian State Academy of Music, 220013, Minsk, Republic of Belarus

**ABSTRACT.** The research problems of the article are related to the study of fractals as one of the types of mathematical structures and their individual “composer reading” in music. The article provides an overview of scientific research sources devoted to the study of fractals in various forms of art and literature. In more detail, we are talking about the scientific literature, in which the patterns of fractal structures are considered in the projection on musical art, a proprietary classification of fractals in music is proposed. The author focuses on the principle of self-similarity, which most vividly reveals the patterns of fractals in chamber-instrumental compositions by composers of the XX–XXI centuries – D. Ligeti, P. Nergor, D. Cormann, A. Key. In the process of implementing the principle of self-similarity, the role of repetition in music (accurate or varied) is emphasized, which is manifested in various parameters of the organization of musical material: pitch, composition technique, principles of development and shaping. The research methodology is based on scientific works dealing with the embodiment of fractals in a work of art. A. Dukhno, Ye. Nikolaeva, Yu. Kirbaba, Yu. Dmitryukova), composition techniques in music of the XX–XXI centuries (S. Kurbatskaya, T. Frantova), features of shaping and dramaturgy (V. Kholopova, V. Zaderatsky).

**KEYWORDS:** science and art, fractals, iterativity, self-similarity in music, precise and modified repetition, serial technique, repetition technique, principles of shaping.

**CONFLICT OF INTERESTS.** The authors declare the absence of conflict of interests.

Связь науки и искусства является одной из важнейших характеристик развития современной культуры. Об этом свидетельствует возникшее в конце XX века понятие «научное искусство» (science art), одним из направлений которого является фрактал-арт. Данное течение характеризуется внедрением элементов фрактальной геометрии в различные виды искусства.

Фрактал (от лат. – *fractus* – дробный) – структура, состоящая из частей, подобных целому. Данный термин был введен франко-американским математиком Бенуа Мандельбротом в 1975 году. К основным характеристикам фрактальных геометрических структур исследователи относят: симметричность, бесконечность и итеративность. Отметим, что итеративность понимается как самоподобие, или как «результат повторного применения совокупности математических операций» [14, с. 47]. Примерами фракталов являются множество Мандельброта, треугольник Серпинского (Рисунок 1) и т. д.

Параллельно с учеными фрактальную геометрию осваивают художники, а позднее и композиторы. В современных сочинениях искусства авторы стремятся воплотить ключевые характеристики фрактальной структуры, к которым относятся самоподобие и бесконечность, эстетические категории порядка и хаоса (см. об этом: [9]). Математик и философ А. Волошинов, рассматривая фрактальные структуры в искусстве, подчеркивает влияние фракталов на структуру произведений: «Фрактальность не есть конечная форма, а есть закон построения этой формы. Это ген формообразования. Единый алгоритм формообразования приводит к огромному многообразию конкретных структур на конкретных стадиях» [4, с. 72].

Актуальность темы обусловлена, прежде всего, самой музыкальной практикой – обращением композиторов второй половины XX – начала XXI вв. (Д. Лигети, М. Ничена, Дж. А. Кея, Д. Корманна и др.) к фрактальным закономерностям в своих сочинениях, что воплощается на содержательном и композиционном уровне произведений. Интерес к изучению фракталов в музыке также проявляется и в работах музыковедов последнего десятилетия, в которых исследователи, характеризуя организацию музыкальных сочинений, используют такие термины как «фрактал», «фрактальность» и т. п. (О. Гарбуз, М. Высоцкая, С. Гончаренко, Т. Переверзева, Т. Мдивани и др.). Научная новизна



Рисунок 1. Дж.Пресли «Виолончели». Источник: [8, с. 55]

статьи заключается в недостаточной изученности вопросов, связанных с формами проявления фрактальных структур и самоподобия в музыкальном искусстве, а также отсутствием сложившейся в музыковедении терминологии и классификации относительно музыкальных произведений с фракталами.

Цель настоящей статьи – выявить основные способы претворения самоподобия фракталов в музыке, проявляющихся через технико-композиционные и формообразующие закономерности организации произведения.

В связи с тем, что фрактальная геометрия предполагает визуальное отображение математических структур, фрактал-арт зародился в изобразительном искусстве в конце 70-х гг. XX века. В 1994 году сформировалась официальная группа «Искусство и сложность» (Art and Complexity), в которой американские и французские художники-фракталисты выставляли свои работы в виртуальной галерее и публиковали манифесты фрактального искусства. Как самостоятельное направление в искусстве фрактал-арт сформировался в начале XXI столетия. Его представителями являются Линда Эллисон, Дэмиен Джонс, Дмитрий Шахов и др. (см. об этом: [9]).

Произведения *изобразительного искусства и скульптуры*, в которых претворена фрактальная геометрия, рассмотрены в статье Алины Духно [8]. Автор выявляет ряд композиционно-эстетических

особенностей фрактального изобразительного искусства, важнейшим из которых является «сложность через повторение», т. е. многократное использование различных вариантов элементов композиции, что способствует возникновению новых эстетических смыслов без потери целостности произведения. Так, данная категория представлена, например, на картине «Виолончели» Джозефа Пресли (Рисунок 2).

Другой ключевой особенностью для данного течения в искусстве является новый подход к эстетическим категориям порядка и хаоса. Противопоставляя контрастные категории, художники стремятся достичь острого эстетического переживания фрактальных образов. Кроме этого, отличительной чертой фрактального изобразительного искусства является континуальное воплощение бесконечности. Так, фрактальное изображение может передать зрителю образы бесконечности в статичном виде (см. об этом: [9]).

Данные композиционно-эстетические категории можно увидеть в произведениях, принадлежащих не только непосредственно «фрактал-арт», но и произведениям иных стилистических направлений и эпох. Так, например, многие учёные (Б. Мандельброт, Х. Сайтис, Р. Тэйлор) видят фрактальные структуры в картинах Леонардо да Винчи «Всемирный потоп», «Алхимия» Джексона Поллока, в гравюре Кацусики Хокусая «Большая волна в Канагаве», скульптуре румынско-французского мастера Константина Брынкуши «Бесконечная колонна» (Рисунок 3). В данной работе Брынкуши самоподобие реализовано через пятнадцатикратное наложение друг на друга одинаковых шестиугольных блоков. Бесконечность достигнута благодаря оптической иллюзии: в завершении скульптуры используется не полноценный блок, а лишь его часть, в результате чего создаётся ощущение продолжения колонны.

Характерные черты фрактальных структур исследователи обнаруживают и в **литературных сочинениях**, несмотря на отсутствие в их первоначальной концепции и композиции элементов фракталов как таковых. Например, филолог Т. Бонч-Осмоловская [2] анализирует ряд литературных произведений различных эпох и стран и предлагает классификацию основных путей преобразования фракталов. Так, по мнению автора, самоподобие фрактальных структур отражено в таких литературных формах, как стихи с вариациями («10 негритят»), венки сонетов (В. Брюсов «Роковой ряд»), рассказ в рассказе (Л.Н. Толстой «После бала»). Континуальное воплощение бесконечности воплощено в «бесконечных» текстах



Рисунок 2. К. Брынкуши «Бесконечная колонна».

Источник: <https://ru.pinterest.com/pin/407575835024142210/>

(Х.Л. Борхес «Сад расходящихся тропок») и так называемых семантических фракталах (Х.Л. Борхес «В кругу развалин») (см. об этом: [9]).

В **музыкознании** изучение фрактальных структур находится на этапе формирования научно-исследовательских подходов. Так, зарубежные учёные ограничиваются преимущественно сферой компьютерной алгоритмической музыки<sup>1</sup>. В работах русскоязычных авторов обнаруживается несколько стратегий к изучению фракталов в музыке. Кратко рассмотрим каждый из них.

**Первая группа** источников связана с **синергетическим**<sup>2</sup> подходом, позволяющим выявить закономерности фрактальных структур в произведениях различных эпох и жанров. Ю. Кирбаба [12] обращаясь к архаичным пластам культуры, обнаруживает

<sup>1</sup> См., например, работу Б. Хансена и Ч. Шакибан [21].

<sup>2</sup> Синергетика (от греч. *synergeia* – сотрудничество, содействие, соучастие) – «междисциплинарное направление научных исследований, в рамках которого изучаются общие закономерности процессов перехода от хаоса к порядку и обратно (процессов самоорганизации и самопроизвольной дезорганизации) в открытых нелинейных системах» [19].

две архетипические модели, связанные с фракталами. Первая – архетип «человек и Космос» – основана на принципе подобия на макро- и микроуровнях, что воплощается в искусстве благодаря «вложенным друг в друга» объектам (например, структура «текст в тексте»). Вторая модель базируется на идеи Мирового Древа, т. е. иерархически выстроенной системы. Отметим, что данная структура тесно связана с одной из самых известных фрактальных фигур – «Деревом Пифагора» (Рисунок 4).

Также исследователь предлагает рассматривать два вида фрактальных структур в художественных произведениях – семантический и композиционный фракталы. Семантический фрактал связан с категорией самоподобия, которое воплощается через тождественность смысловых пластов сочинения. Композиционный фрактал основывается на подобии структурных элементов произведений. В рамках настоящей статьи наиболее важным для нас станет рассмотрение композиционного фрактала.

*С. Гончаренко* [5] подчёркивает два принципа проявления фрактальности в музыке К. Дебюсси: принцип мультиплекции, представленный через «дробную множественность объекта», что находит выражение в программных названиях произведений композитора, и принцип остинатных блоков, которые основаны на повторении звука, интервала, аккорда и т. п. [5]). *О. Плотникова* выявляет черты фрактальной геометрии в Сонате № 10 А. Скрябина через «принцип единства», претворённый в специфической структуре вступления, характеризующейся наличием мотива-матрицы и последующих восьми фрактальных звеньев [17]).

Во **второй группе** работ исследователи рассматривают **композиторскую трактовку** фрактальных структур и пути их воплощения в музыке. В центре внимания – отдельные сочинения, в которых, так или иначе, сам автор указывает на связь строения музыкального материала с фрактальной геометрией. Так, ряд учёных обнаруживают фрактальные структуры в особенностях формообразования сочинений (*генетический* путь преобразования фракталов<sup>3</sup>). Например, *С. Лаврова* [13] выявляет особенности фрактальной геометрии в произведениях французского композитора С. Шаррино, отмечая дуальность фракталов и наличие

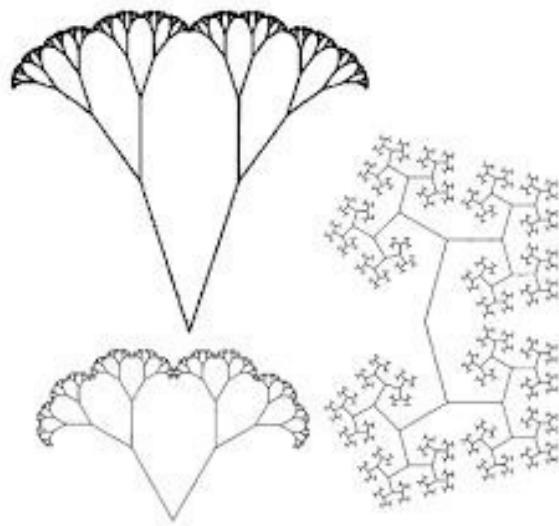


Рисунок 3. Дерево Пифагора. Источник: <https://i.pinimg.com/originals/0a/42/c6/0a42c64a09d06bec4e6eb38ae4a7a448.jpg>

как континуальных, так и дискретных фрактальных структур. *Т. Цареградская* [20] и *В. Иванов-Ракиевский* [11] указывают на черты фрактальной геометрии в форме сочинений «Серендиб» (1991–1992) и «Озеро» (2001) французского композитора-спектралиста Т. Мюрая. Авторскую технику «бесконечной серии» датчанина П. Нёргора, связанную с элементами фрактальной геометрии, рассматривают в своих работах *Е. Окунева* [16] и *Л. Акопян* [1] в анализе Второй симфонии композитора, воплощающей концепцию космизма.

В **третьей группе** работ музыковеды предлагают разные **классификации** сочинений с фракталами (И. Бекман, Ю. Дмитрюкова). Данный вопрос более подробно рассматривается в одной из статей Е.А. Ермак [9], поэтому здесь укажем только на собственную классификацию фракталов в музыке.

1/ По **принципу создания** музыкального материала фрактальных опусов выделяется:

- компьютерный (алгоритмический) способ – все параметры произведения сгенерированы компьютерной программой;
- авторское сочинение, в котором воссоздаются особенности фрактальных структур при помощи техник композиции, фактуры, принципов формообразования и т. п.;
- синтезирующий способ, предполагающий сочетание компьютерного и композиторского вариантов создания произведения. Так, ряд параметров

<sup>3</sup> Генетический путь преобразования фракталов выделяет в своей классификации Ю. Дмитрюкова [7]. Его суть заключается в трансформации какого-либо музыкального параметра так, что результат данного изменения имеет черты фрактальных структур.



музыкальной ткани сгенерированы компьютерной программой (последовательность звуков, их высота и ритм), а композитор выстраивает представленные параметры в единую фактуру, форму и т. п.

**2/ По свойствам** фракталов, взятых за основу при воплощении в музыке:

- a)** самоподобие (в широком смысле понимается как точный или варьированный повтор),
- b)** симметрия (предполагает соразмерность и пропорциональность на разных уровнях музыкальной структуры),
- c)** синтез категорий порядка и хаоса, которые можно соотнести с антиномией строгая регламентированность – нерегламентированность.

**3/ Способ претворения** фрактальных структур в музыкальном материале реализуется через:

- a)** звуковысотность (например, симметрия в строении звуковысотной линии);
- b)** технику композиции (например, серийность и сериальность);
- c)** полифонические приёмы (имитации, канон);
- d)** принципы развития (повторность);
- e)** организацию формы как целого (соотношение категорий «порядок и хаос»).

В музыке авторы, прежде всего, обращаются к такой особенности фракталов, как итеративность или **самоподобие** – ведущему принципу претворения фрактальных структур. Так, например, Б. Хансен и Ч. Шакибан [21] отмечают: «Общим для всех качеством, подчёркивающим фрактальную природу композиции, является наличие множества измерений самоподобия» (перевод наш – Е.Е., А.А.) [21].

Другие исследователи подчёркивают, что принцип самоподобия может проявляться через множество параметров, среди которых: техника композиции, особенности формообразования и фактуры и т. д. А. Гундорина отмечает воплощение фрактальных структур в «феноменах вариантности, импровизации по канону, додекафонии и сериальной технике в целом» [6, с. 63]. По мнению С. Лавровой [13], минимализм также отражает особенности фрактальной геометрии через технику «фазового сдвига», где обновление музыкального материала достигается благодаря изменениям метроритмических особенностей паттерна. В сочинении Я. Ксенакиса «Тростниковые заросли» М. Дубов указывает на фрактальные структуры как в программе сочинения, так и в принципе его построения, характеризующимся континуально-статичным типом формообразования, подчёркивает «идею ветвления» на протяжении всего произве-

дения и выделяет пять этапов становления формы (см. об этом подробнее: [18]).

Самоподобие в музыке в широком смысле понимается как повтор (точный или варьированный), который является основополагающим принципом структурирования сочинений разнообразных композиторских школ и эпох [15]. Рассмотрим некоторые варианты реализации принципа самоподобия в музыке с фракталами, следуя собственной классификации. Наиболее важным для нас станет пункт 3, касающийся **способа претворения** фракталов в музыкальном материале.

**Серийная техника композиции** и связанные с ним принципы формообразования становятся основополагающими для произведений с фракталами. Сходство данной техники с фрактальными структурами проявляются в одновременном сочетании двух противоположных особенностей формообразования: сохранение основных параметров первоначального ряда и постоянное обновление серии из-за проведения ряда на другой высоте и в новом производном виде. Параллели между фракталами и серией техникой также обнаруживаются при рассмотрении первоосновы данных явлений. В музыке серия является фундаментом всего сочинения. Во фрактальной геометрии строительным материалом и одновременно структурой, отражающей форму целого, становится начальная фигура или узор. Отметим, что ещё в начале XX века А. Веберн [3] в своих теоретических трудах и письмах описывал фрактальную природу сериальной музыки. Данные аналогии возникли в результате изучения композитором натуралистики И.В. Гёте, в частности его труда «Метаморфоз растений» (1798)<sup>4</sup>.

Идеи А. Веберна были индивидуально воплощены в авторском композиционном методе **«бесконечной серии»**, созданным датским композитором **П. Нёргром** и также связанным с музыкальными фракталами. Как и в «классической» сериальной технике, бесконечный ряд является базой для всей музыкальной

<sup>4</sup> Представленная у философа последовательность изменения растительных форм (корень – стебель – лист – цветок) в теоретической концепции А. Веберна становится своеобразным законом «об органичности развития целого из единого прафеномена» [3, с. 426], которым является серия. Композитор подчёркивал универсальность двенадцатитоновой модели для музыки XX века, где двенадцатитоновый ряд выступает в качестве «природного закона», а додекафония является проявлением «высшей природы». А. Веберн отмечает: «Праастение Гёте: корень, в сущности, не что иное, как стебель; стебель не что иное, как лист, лист, опять-таки, не что иное, как цветок: вариации одной и той же мысли» [3, с. 77].



А)

Б)

**Пример 1.** Бесконечные серии П. Нёргора (а – диатонический, б – хроматический). Источник: [16, с. 652]

**Пример 2.** Дж.А. Кей «Фракталы № 1. Итерации», тт. 14–17.  
Источник: [23]

композиции, однако серия П. Нёргора строится менее регламентировано, с использованием повторов звуков. Бесконечная серия основана на двух интервалах (малой и большой секунде), в результате чего формируется необычная структура, где чётные звуки ряда образуют транспозицию серии, а нечётные – инверсию. Е. Окунёва отмечает: «В силу особенностей своего строения [бесконечная серия] в буквальном смысле предполагала бесконечное разворачивание, генерируя новые интервалы. При этом она опиралась на варьированный повтор и обладала фрактальными свойствами, поскольку её структура воспроизводилась в ней самой на разных уровнях» [16, с. 651].

Композитор разработал два вида «бесконечной серии» – диатонический ряд, выстроенный от тона, и хроматический, основанный на полутоне (Пример 1).

Данный композиционный метод встречается в произведениях П. Нёргора 1960–1970-х гг., например, «Ирис», «Луна», «Путешествие в золотой экран», Вторая симфония.

Дж. А. Кей в своём опусе «Фракталы № 1. Итерации» использует такие приёмы варьирования первоначальной серии, как инверсия с трансформацией сегментов серии с фактурными преобразованиями (Пример 2). Отметим, что в представленном сочинении серия генерируется при помощи компьютерной

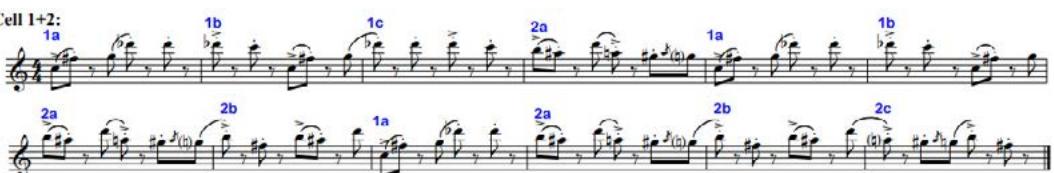


Cell 1:



**Пример 3.** Д.Корманн «Симфония коралловых рифов», Начальные ячейки, ячейка 1. Источник: [24]

Cell 1+2:



**Пример 4.** Д.Корманн «Симфония коралловых рифов». Последовательность ячеек в разделе «Первая итерация», структура Q. Источник: [24]

программы, однако сам композитор структурирует последовательность рядов в единую форму и предлагаёт их оркестровую версию. Так, в предисловии к партитуре Дж. А. Кей пишет: «В этом произведении использованы три простых мелодических элемента, к которым применена единая математическая итеративная формула, генерирующая последовательность тонов в рядах» [22].

Отметим, что самоподобие в данном сочинении проявляется на трёх уровнях: через серийную технику композиции, через принципы развития музыкального материала, а также через организацию формы как целого. Так, основным принципом развития является повторение тождественных фактурных линий в различной инструментовке (Пример 3). Форма этого произведения, состоящая из 11-ти равноправных и схожих по музыкальному материалу секций, представляет собой составную, отличительной особенностью которой становится проведение серии в прямом виде или инверсии в начале каждого раздела.

Воплощение фракталов через **репетитивную технику** обнаруживается в «Симфонии коралловых рифов» Д. Корманна<sup>5</sup>. В первой части сочинения композитор обращается к самоподобию фрактальных структур, воплощая необычную форму морских кораллов – примера случайных фракталов. Четырём разделам данной части Д. Корманн дал следующие названия:

- 1/ Initial Cells (Исходные ячейки);
- 2/ First Iteration (Первая итерация);
- 3/ Second Iteration (Вторая итерация);
- 4/ Third Iteration (Третья итерация).

Первый раздел состоит из восьми трёх-тактовых ячеек, интонационно связанных между собой интервалом тритона и чистой кварты. Каждой из ячеек композитор присваивает порядковый номер, а каждому такту (сегменту) – букву английского алфавита (Пример 3).

В последующих разделах представленные структурные элементы группируются в новые, более масштабные ячейки. Так, во втором разделе четыре 12-ти тактовых элемента (ячейки 1+2, 3+4, 5+6, 7+8), в третьем – две 24-х тактовых ячейки (1+2+3+4, 5+6+7+8), в четвёртом – одна ячейка, состоящая из 48-ми тактов (1+2+3+4+5+6+7+8).

Оригинально применён принцип ряда, характерный для репетитивной техники. Комбинация сегментов внутри ячеек строго детерминирована и имеет симметричную структуру. В разделе «Первая итерация» чередуются три элемента первой ячейки, один сегмент второй ячейки, два элемента первой и второй ячейки, один сегмент первой ячейки и три элемента второй, т. е. 3-1-2-2-1-3 (Пример 4).

Аналогично выстроены остальные структурные элементы первого раздела. Данные ряды сам композитор обозначает буквой **Q** (для сегментов первой и второй ячейки) и **R** (для сегментов третьей и четвёртой ячейки).

Во «Второй итерации» принцип строения ряда усложняется. Согласно авторской схеме [24], в двух ячейках сочетаются 1-4 и 5-8 ряды подобно тому, что

<sup>5</sup> Д. Корманн – современный бразильский композитор, пианист, автор ряда симфонических произведений, основанных на алгоритмической композиции («Симфония коралловых рифов», «Ветер и металл», «Анемоны»).



Пример 5. Д.Лигети «Головокружение», тт. 1–3. Источник: [25]

было в предыдущем разделе. Симметричное чередование элементов формы теперь воплощено на более масштабном уровне, где каждая из структур содержит в себе четыре, а не два ряда. Схожую схему Д. Корманн предлагает для второй ячейки, где 5–6 ряды обозначены S, 7–8 – буквой T (см. об этом подробнее: [24]).

Свойства самоподобия и бесконечности фрактальных структур претворяются также и через **полифонические приёмы**, например, через свободный канон и канонические секвенции. Данная полифоническая техника трактуется композиторами как форма с выведением всех голосов из одного данного, что корреспондирует с особенностями строения фракталов. Примерами использования канонов в музыке с фрактальными структурами могут служить фортепианные этюды Дьёрдя Лигети № 9 «Головокружение», № 14 «Бесконечная колонна» и № 13 «Чёртова лестница». Основание для такого рода суждений даёт сам автор в интервью Стефану Сатори: «В моей музыке есть математические соображения, соображения фрактальной геометрии» [26]. Отметим, что Р. Штайниц [27] выделяет данные сочинения в отдельную группу, реализующую общую идею – спирального бесконечного движения, характерного для фракталов.

Данный образ воплощён в этюде № 9 «**Головокружение**» на двух уровнях: через полифонические приёмы (канон) и особенности формообразования. Следуя классификации Т. Франтовой, этот канон можно охарактеризовать как бесконечный эквиритмический с мелодическим видом константы. Пропаста, основанная на нисходящем хроматическом движении в диапазоне **h<sup>1</sup>-as**, выразительно отражает образ произведения (Пример 5).

Второй уровень претворения фрактальных структур в рассматриваемом сочинении реализован через континуально-волновой принцип

формообразования<sup>6</sup>. Начинаясь на **ppp** одноголосной пропостой, музыкальная ткань постепенно уплотняется благодаря включению новых голосов и усиления динамики и приводит к продолжительной кульминации в тт. 114–125. Завершается этюд на **rrr**, в результате чего достигается ощущение возвращения начального материала этюда. Композитор таким образом создаёт эффект бесконечного дления произведения.

Аналогично представлены особенности фракталов в «**Бесконечной колонне**», однако здесь автор стремился отразить итеративность и иллюзорную бесконечность одноименной скульптуры Константина Брынкуши (см. выше Рисунок 2). Д. Лигети использует многоголосные, преимущественно трёхголосные каноны, в которых итеративность и бесконечность фракталов отражается, прежде всего, через применение необычных параметров канона. Самоподобие выражается через использование эквиритмического канона, нулевое расстояние времени вступления голосов и применение канона с рельефно-мелодическим и ритмическим видом константы. Подобие уже отражено в теме канона (Пример 6). Музыкальный материал пропости и риспости представляет собой непрерывное восходящее движение двух тождественных линий, построенных на повторении и интонационном преобразовании двух интервалов, лежащих в интонационной основе этюда – тритон и большая секунда. Самоподобие также обнаруживается и в пропосте, в которой прослеживается принцип повторяемости звукорядных ячеек, состоящих из четырёх восьмых, от звуков **c-d-e-fis-g-as-b**. По мнению китайского исследователя Я. Вена [28] самоподобие в данном

<sup>6</sup> Термин В. Задерацкого, который подчёркивает отличительную особенность континуально-волнового принципа формообразования – присутствие динамического вектора, постепенным и неуклонным накоплением экспрессии и её убыванием [10, с. 376].



Presto possibile, tempestoso con fuoco,  $\text{d} = 105$  \*)

$\left\{ \begin{matrix} 16 \\ 8 \end{matrix} \right.$  *fff sempre con tutta la forza. legato possibile*

very little pedal \*\*)

Пример 6. Д. Лигети «Бесконечная колонна», тт. 1-2. Источник: [25]

Presto legato, ma leggiero,  $\text{d} = 30$

$\left\{ \begin{matrix} 12 \\ 8 \end{matrix} \right.$  *pp*

*una corda quasi senza ped.*

*cresc. poco a poco* -

Нотный пример 7. Д. Лигети «Чёртова лестница», тт. 1-3.

Источник: [25]

произведении проявляется и в особой работе с тематическим материалом. Так, вся музыкальная ткань этюда основана на двух видах мотивов:

a) мотив поворота, характеризующийся отсутствием скачков, направление движения в нём изменяется лишь один раз;

b)canoобразный мотив (мотив опевания), где нет скачков, однако направление движения меняется чаще.

На протяжении всего сочинения эти элементы варьируются при помощи минимальных изменений направления движения внутри мотива и перемещения элементов на другую высоту, в результате чего можно говорить о принципе «сложности через повторение», предложенным А.Б. Духно [8].

Интересно достигнуто здесь ощущение бесконечности формы как целого. Д. Лигети постоянно изменяет метроритмическое положение начальных и конечных точек пропорты и риспости внутри такта, придающее музыке импульс для непрерывного движения.

Название этюда № 13 «Чёртова лестница» связано с одним из феноменов фрактальной геометрии – «Канторовой лестницей», особенностями которой является неравная длина ступеней, вертикальная крутизна, непрерывность, бесконечность. Данные особенности отражены в музыкальном материале произведения на различных уровнях (см. об этом: [9]). Так,

первый уровень проявления – ритмическая организация этюда, где вариативно комбинируются ритмические ячейки на две и на три восьмые в условиях так называемой нерегулярной метрической акцентности. В результате комбинационных перестановок синтаксических единиц с непропорциональным варьированием ритмического рисунка достигается ощущение восхождения по лестнице с неравной длинной ступеней. Второй уровень – бесконечный канон, в котором активное полифоническое имитационное развитие тематических ячеек создаёт общую непрерывность движения и чувство бесконечности (Пример 7).

Как и в «Головокружении» – это бесконечный эквириитмический канон с мелодическим видом константы. Третий уровень здесь представлен континуально-волновым принципом формообразования, где образуется крещендирующая фактурная линия неровного и непрерывного восхождения вверх, тем самым создавая аллюзию на движение по лестнице.

Таким образом, принцип самоподобия является ведущим при воплощении фрактальных структур в музыке, получая индивидуальное преломление в рамках той или иной техники композиции и принципов формообразования. Так, во «Фракталах № 1. Итерации» Дж.А. Кея данное свойство фракталов проявляется через процесс постоянного варьированного повторения начальной серии. П. Нёргор создает авторскую композиционную технику («бесконечная серия»),



являющуюся основой всего произведения. В «Симфонии коралловых рифов» Д. Корманн выстраивает форму по принципам репетитивной композиции на основе повтора изначально заданных ячеек, связанных с симметричной организацией на разных уровнях структуры целого. В этюдах Д. Лигети такие характеристики математической фрактальной структуры как самоподобие и бесконечность реализуются при помощи бесконечных канонов, континуально-волнового принципа формообразования и крещендирующих волн, варьированного повторения мотивов на протяжении сочинений. Каждый из этюдов выразительно отображает образ, предложенный самим автором в названии опусов. Так, № 14 «Бесконечная колонна» иллюстрирует стремящуюся ввысь колонну благодаря постоянному звучанию восходящих хроматических

линий. Аналогичная изобразительность фрактальных структур присутствует в опусах «Головокружение» и «Чёртова лестница», где восхождение или, наоборот, нисхождение достигается посредством канона, варьируемого через минимальные ритмические изменения.

В целом, фрактальные структуры являются связующим звеном между наукой и искусством. Несмотря на недавнее открытие теории фракталов в науке, основные характеристики данных форм, в частности самоподобие, обнаруживаются в произведениях различных эпох и видов искусства, ибо такие ключевые свойства фракталов, как повторность, симметричность, совмещение упорядоченного и хаотичного одновременно выступают важными составляющими эстетической категории красоты.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1/ Акопян Л. Эволюция и метаморфозы традиционных музыкально-теоретических категорий в новой музыке. Форма // Музыка последнего столетия: теория и история. Ч. 1, Гл. 5. 25.11.2024. URL: <https://hakobian-mlc.sias.ru/content/part1/chapter5/#link-5.5.5> (дата обращения: 22.05.2025).
- 2/ Бонч-Осмоловская Т.Б. Фракталы в литературе. URL: <https://www.ashtray.ru/main/texts/experlit/fractallit2.htm> (дата обращения: 15.01.2025).
- 3/ Веберн А. Лекции о музыке. Письма. М.: Музыка, 1975. 143 с.
- 4/ Волошинов А.В. Математика и искусство. Изд. 2-е. М.: «Проповедование», 2000. 399 с.
- 5/ Гончаренко С.С. Фракталы в музыке Клода Дебюсси // Вестник Кемеровского государственного института культуры. 2011. № 17. С. 80–87.
- 6/ Гундорина А.А. Графическая нотация в ракурсе фрактальности // Музыкальное образование в контексте культуры: вопросы теории, истории и методологии: сб. ст. М.: Пробел-2000, 2017. С. 61–76.
- 7/ Дмитрюкова Ю.Г. Фракталы в современной композиции: конспект доклада. URL: [https://www.mmv.ru/p/link/fractal\\_report.html](https://www.mmv.ru/p/link/fractal_report.html) (дата обращения: 30.09.2023).
- 8/ Духно А.Б. Фрактал как язык искусства. Взаимовлияние научного и художественного опыта // Художественная культура. 2018. № 3 (25). С. 38–61.
- 9/ Ермак Е.А. Фракталы в музыкальной композиции: к вопросу классификации // Музыкальная культура в теоретическом и прикладном измерении: сб. науч. ст. Кемерово: КемГик, 2025. Вып. 13. С. 5–12.
- 10/ Задерацкий В.В. Музыкальная форма: в 2 вып. М.: Музыка, 2008. Вып. 2. 528 с.
- 11/ Иванов-Ракиевский В.А. В результате процесса: изменение морфологии синтаксиса в творчестве Тристана Мюрая // Музыкальная академия. 2023. № 1. С. 142–157.
- 12/ Кирбаба Ю.В. Генезис синергетической парадигмы: культурологические аспекты: автореф. дис. ... кандидата культурологии: 24.00.01. Саратов, 2004. 20 с.
- 13/ Лаврова С.В. Трансформация структурного мышления музыкального постсериализма в контексте открытий современной науки // Вестник академии русского балета А.И. Вагановой. 2014. № 3(32). С. 184–191.
- 14/ Микиша А.М., Орлов В.Б. Толковый математический словарь: основные термины. М.: Русский язык, 1989. 244 с.
- 15/ Молчанов А.С. Смысловая роль повтора в музыке // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2008. № 5. С. 284–286.
- 16/ Окунева Е.Г. Симфоническое творчество Пера Нёргора: траектория развития жанра // Научный вестник Московской консерватории. 2023. Т. 14 (4). С. 646–673.



17/ Плотникова О.М. Фрактальная геометрия Сонаты № 10 А.Н. Скрябина // Проблемы музыкальной науки / Music Scholarship. 2019. № 1. С. 15–21.

18/ Теория современной композиции: уч. пособие. Отв. ред. В.С. Ценова. М.: Музыка, 2007. 616 с.

19/ Философия: энциклопедический словарь. URL: <http://philosophy.niv.ru/doc/dictionary/encyclopedic/articles/1142/sinergetika.html> (дата обращения: 20.05.2025).

20/ Цареградская Т.В. Тристан Мюрай. «Озеро» (Le Lac) для ансамбля (2001): аналитический этюд // Международный журнал исследований культуры. 2017. № 3 (28). С. 52–64.

21/ Hansen B., Shakiban Ch. Exploring fractal geometry in music. URL: <https://archive.bridgesmathart.org/2002/bridges2002-83.pdf> (дата обращения: 14.11.2023).

22/ Key J.A. Fractal music № 1 Iterations. 2019. URL: [https://www.jordanalexanderkey.com/\\_files/ugd/b9cb66\\_07f2d252cb504edb-9ba68c49d242080a.pdf](https://www.jordanalexanderkey.com/_files/ugd/b9cb66_07f2d252cb504edb-9ba68c49d242080a.pdf) (дата обращения: 14.01.2025).

23/ Key J.A. Orchestral large ensemble works. 2019. URL: <https://www.jordanalexanderkey.com/orchestral-large-ensemble-works> (дата обращения 07.05.2025).

24/ Kormann D. Fractal music. 2010. URL: <https://plus.maths.org/content/os/issue55/features/kormann/index> (дата обращения: 29.05.2025).

25/ Ligeti G. Etudes pour piano. SCHOTT, 1986. 141 p.

26/ Satory S. An Interview with György Ligeti in Hamburg. // Canadian University Music Review / Revue de musique des universités canadiennes. 1990. Vol. 10. No. 1. Pp. 101–117. URL: <https://www.erudit.org/fr/revues/cumr/1990-v10-n1-cumr0505/1014897ar.pdf> (дата обращения: 26.01.2025).

27/ Steinitz R. György Ligeti: Music of the Imagination. Faber & Faber, 2013. 429 p.

28/ Wen Ya. Analysis of Ligeti's piano etude "Columna Infinita". URL: <https://www.parlando.hu/2022/2022-3/Wen-Ligeti.pdf> (дата обращения: 09.02.2025).

## REFERENCES

1/ Akopyan, L. (2024), “Evolution and metamorphoses of traditional musical-theoretical categories in new music. Form”, Muzy`ka poslednego stoletiya: teoriya i istoriya. Ch.1, Gl. 5 [Music of the last century: theory and history. Part 1, Ch. 5], Available at: <https://hakobian-mlc.sias.ru/content/part1/chapter5/#link-5.5.5> (Accessed 22 May 2025). (In Russ.)

2/ Bonch-Osmolovskaya, T.B. “Fractals in literature”, Available at: <https://www.ashtray.ru/main/texts/experlit/fractallit2.htm> (Accessed 15 January 2025). (In Russ.)

3/ Vebern, A. (1975), Lekcii o muzy`ke. Pis`ma [Lectures on music. Letters], Muzy`ka, Moscow, 143 p. (In Russ.)

4/ Voloshinov, A.V. (2000), Matematika i iskusstvo [Maths and Art], Izd. 2-e, Prosvetshenie, Moscow, 399 p. (In Russ.)

5/ Goncharenko, S.S. (2011), “Fractals in the music of Claude Debussy”, Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo instituta kul`tury` [Vestnik of the Kemerovo State Institute of Culture], No. 17, pp. 80–87. (In Russ.)

6/ Gundorina, A.A. (2017), “Graphical notation in the perspective of fractality”, Muzykal`noe obrazovanie v kontekste kul`tury` vo`prosy` teorii, istorii i metodologii [Music Education in the Context of Culture: Issues of Theory, History and Methodology]: sb. st. Moscow, pp. 61–76. (In Russ.)

7/ Dmitryukova, Yu.G. Frakty` v sovremennoj kompozicii: konspekt doklada [Fractals in contemporary composition: report outline], Available at: [https://www.mmv.ru/p/link/fractal\\_report.html](https://www.mmv.ru/p/link/fractal_report.html) (Accessed 30 September 2023). (In Russ.)

8/ Duxno A.B. (2018), “Fractal as a language of art. Interaction of scientific and artistic experience”, Xudozhestvennaya kultura [Art culture], No. 3 (25), pp. 38–61. (In Russ.)

9/ Ermak, E.A. (2025), “Fractals in musical composition: on the issue of classification”, Muzy`kal`naya kul`tura v teoreticheskem i prikladnom izmerenii [Musical culture in theoretical and applied dimensions]: sb. nauch. st. Kemerovo, KemGik, Vy`p. 13, pp. 5–12. (In Russ.)

10/ Zaderaczkij, V.V. (2008), Muzy`kal`naya forma: v 2 vyp. [Musical form], Muzy`ka, Moscow, Vyp. 2, 528 p. (in Russ.)

11/ Ivanov-Rakievskij, V.A. (2023), “As a result of the process: a change in morphology and syntax in the work of Tristan Murail”, Muzy`kal`naya akademija [Music Academy], No. 1, pp. 142–157. (In Russ.)

12/ Kirbaba, Yu.V. (2004), Genezis sinergeticheskoy paradigm`y: kul`turologicheskie aspekty` [The genesis of the synergetic paradigm: cultural aspects]: avtoref. dis. ... kandidata kul`turologii: 24.00.01, Saratov, 20 p. (In Russ.)

13/ Lavrova, S.V. (2014), “Transformation of structural thinking of musical post-serialism in the context of discoveries of modern science”, Vestnik akademii russkogo baleta A.I. Vaganovoj [Vestnik of the A.I. Vaganova Academy of Russian Ballet], No. 3 (32), pp. 184–191. (In Russ.)

14/ Mikisha, A.M., Orlov V.B. (1989), Tolkovoj matematicheskij slovar': osnovnye terminy [Explanatory mathematical dictionary: basic terms], Russkij jazyk, Moscow, 244 p. (In Russ.)

15/ Molchanov, A.S. (2008), “The semantic role of repetition in music”, Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta kul`tury i iskusstv [Vestnik of the Moscow State University of Culture and Arts], No. 5, pp. 284–286. (In Russ.).

16/ Okuneva, E.G. (2023), “Symphonic creativity of Per Nergor: the trajectory of the genre development”, Nauchnyj vestnik Moskovskoj konservatorii [Scientific Vestnik of the Moscow Conservatory], T. 14 (4), pp. 646–673. (In Russ.)

17/ Plotnikova, O.M. “Fractal Geometry of Sonata No. 10 A.N. Scriabin”, Available at: <https://journalpmn.ru/index.php/PMN/article/>



- view/1008 (Accessed: 06 November 2023). (In Russ.)
- 18/ Teoriya sovremennoj kompozicii: uch. posobie [Theory of modern composition] (2007), Otv. red. V.S. Cenova, Muzy`ka, Moscow, 616 p. (In Russ.)
- 19/ Filosofiya: e`nciklopedicheskij slovar` [Philosophy: Encyclopedic Dictionary], Available at: <http://philosophy.niv.ru/doc/dictionary/encyclopedic/articles/1142/sinergetika.html> (Accessed 20 May 2025). (In Russ.)
- 20/ Czaregradskaya, T.V. (2017), “Tristan Muray. “The Lake” (Le Lac) for an ensemble (2001): an analytical study”, Mezhdunarodnyj zhurnal issledovanij kul'tury [International Journal of Cultural Studies], No. 3 (28), pp. 52–64. (In Russ.)
- 21/ Hansen, B., Shakiban, Ch. “Exploring fractal geometry in music”, Available at: <https://archive.bridgesmathart.org/2002/bridges2002-83.pdf> (Accessed 14 November 2023). (In Eng.)
- 22/ Key, J. A. (2019), Fractal music № 1 Iterations, Available at: [https://www.jordanalexanderkey.com/\\_files/ugd/b9cb66\\_07f2d-252cb504edb9ba68c49d242080a.pdf](https://www.jordanalexanderkey.com/_files/ugd/b9cb66_07f2d-252cb504edb9ba68c49d242080a.pdf) (Accessed: 14 January 2025). (In Eng.)
- 23/ Key, J. A. (2019), Orchestral large ensemble, Available at: <https://www.jordanalexanderkey.com/orchestral-large-ensemble-works> (Accessed: 07 May 2025). (In Eng.)
- 24/ Kormann, D. (2010), “Fractal music”, Available at: <https://plus.maths.org/content/os/issue55/features/kormann/index> (Accessed 29 May 2025). (In Eng.)
- 25/ Ligeti, G. (1986), Etudes pour piano, SCHOTT, 141 p. (In Eng.)
- 26/ Satory, S. “An Interview with György Ligeti in Hamburg”, Canadian University Music Review, Revue de musique des universités

- canadiennes, Vol. 10, No. 1, pp. 101–117, Available at: <https://www.erudit.org/fr/revues/cumr/1990-v10-n1-cumr0505/1014897ar.pdf> (Accessed 26 January 2025). (In Eng.)
- 27/ Steinitz, R. (2013), György Ligeti: Music of the Imagination, Faber & Faber, 429 p. (In Eng.)
- 28/ Wen, Ya. “Analysis of Ligeti’s piano etude ““Columna Infinita””, Available at: <https://www.parlando.hu/2022/2022-3/Wen-Ligeti.pdf> (Accessed 09 February 2025). (In Eng.)

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ермак Елена Александровна, магистрант, фортепианный и композиторско-музыковедческий факультет, Белорусская государственная академия музыки  
E-mail: lenaermak355@gmail.com

Тихомирова Алла Анатольевна, кандидат искусствоведения, доцент, доцент кафедры теории музыки, Белорусская государственная академия музыки  
E-mail: alla-tikhomirova@bk.ru

#### AUTHORS INFORMATION

Yelena A. Yermak, Master's student, Piano, Composition and Musicology Faculty, Belarusian State Academy of Music  
E-mail: lenaermak355@gmail.com

Alla A. Tikhomirova, Cand. Sc. (Art Criticism), Associate Professor, Associate Professor of Department of Music Theory, Belarusian State Academy of Music  
E-mail: alla-tikhomirova@bk.ru