DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-4-89-95

*Языева С.В., кандидат технических наук, профессор,
Языев Б.М. *, доктор технических наук, профессор,
Донской государственный технический университет, Россия*
*Ответственный автор E-mail: ps62@yandex.ru

ПРОЯВЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОСТИ В АРХИТЕКТУРЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация: в статье показано наличие пропорционального соответствия частей и целого с использованием принципов фрактальной геометрии при формировании понятия красоты природных объектов и явлений. Исследованы объекты искусственной среды на предмет формирования образов на примере математических моделей обсчёта природных объектов, которые обладают свойствами фрактала. В статье представлены виды фракталов. Приведены примеры фрактала в физике, биологии, химии. Фрактальная геометрия может и должна использоваться при моделировании структуры искусственной среды, которую создаёт человечество посредством архитектуры. Сам процесс проектирования как отдельно взятого здания, так и интегрирование его в городскую среду, которая в процессе формирования так же представляется достаточно хаотичной, подпадает под принципы фрактальной геометрии. Моделирование этих процессов при помощи принципов фрактальной геометрии позволяет не только создать максимально комфортную искусственную городскую среду, но вести мониторинг протекания всех процессов внутри неё.

Ключевые слова: фрактальность, архитектура, принципы фрактальной геометрии, красота пропорций

Введение

Давно доказано, что понимание красоты исходит из пропорциональной сопоставимости частей и целого. Из истории до наших дней известны этапные серьёзные исследования этой сопоставимости.

Считается, что Пифагор, изучавший в стране пирамид науки египетских жрецов, такую гармоничную пропорциональную сопоставимость частей и целого впервые назвал «золотой пропорцией» и ввёл это понятие в каноны красоты древнегреческой культуры.

В своих трудах, написанных в III веке до н.э. и дошедшим до наших дней, Эвклид при помощи золотой пропорции строил правильные пятиугольники, и поэтому такой пятиугольник был назван «золотым».

В архитектуре – древнеримский исследователь Витрувий в своём труде «10 книг об архитектуре» проанализировал и обосновал гармоничную пропорциональность красивейших античных построек.

Гениальный итальянский математик Лука Пачоли во времена средневекового Ренессанса написал первую книгу о золотой пропорции, назвав ее «Божественной пропорцией». Потому как считал, что даже в создании Вселенной Бог использовал именно этот принцип. Позже эта идея была использована первооткрывателем законов движения планет Солнечной системы немецким математиком Кеплером. Свою книгу он так и назвал – «Гармония Вселенной».

Позднее, уже другим гениальным учёным Леонардо да Винчи, была получена пропорциональная гармония в процессе сечения стереометрического тела, образованного правильными пятиугольниками и после этого названная им «золотое сечение». Численное выражение золотого сечения названо в честь древнегреческого архитектора Фидия «фи» (обозначается греческой буквой ϕ) и равно оно 1,6180339887498948482..., значение округляют: $\phi = 1,618$. В процентном соотношении золотое сечение выглядит, как 62% и 38% целого.

Методы и материалы

Принцип золотого сечения лежит в основе совершенства эстетического и функционального в соотношении целого и его частей как в природе и искусстве, так и в технике и архитектуре.

Таинственная связь материальной гармонии форм и совершенной абстракции чисел и отношений имеет свое подтверждение в математических обсчетах красоты. Эта связь интуитивно проявлялась в полотнах гениальных художников и творениях скульпторов, в эмпирических постройках архитекторов. Искусствоведы, используя естественнонаучные знания дали направление современным творцам использовать при проектировании и создании образа законы геометрии и вдохновляться математическими закономерностями.

Результаты и обсуждения

Дошедшие до нас памятники архитектуры, которые вызывают восхищение своей красотой уже исследованы на предмет пропорционального соответствия частей и целого и не везде эта гармония коррелируется наличием «золотой пропорции». На вопрос в чём же заключается красота тех или иных архитектурных ше-

девяносто годов прошлого появилась возможность ответить только в конце XX века, когда в своей книге «Фрактальная геометрия природы», вышедшей в 1977 году, Бенуа Мандельброт ввёл термин «фрактал».

Рис. 1. Классический фрактал, Динамический фрактал, Случайный фрактал
Fig. 1. Classic fractal, Dynamic fractal, Random fractal

Этот термин в основном из высшей математики. Термин, означает геометрическую фигуру, обладающую свойством самоподобия, то есть составленную из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком.

Рис. 2. Треугольник Серпинского, кривая Пеано, вид кривой Леви после 12 итераций
Fig. 2. Sierpinski's triangle, Peano curve, view of the Levy curve after 12 iterations

В физике фракталы естественным образом возникают при моделировании нелинейных процессов, таких как турбулентное течение жидкости, сложные процессы диффузии-адсорбции, пламя, и тому подобное.

Рис. 3. График функции Вейерштрасса
Fig. 3. Weierstrass function graph

В биологии они применяются, например, для описания систем внутренних органов; в ботанике для моделирования растений, популяций животного мира.

Рис. 4. Дерево, система кровеносных сосудов и бронхиальное дерево
Fig. 4. Tree, blood vessel system and bronchial tree

Кривая Коха нашла практическое применение при вычислении протяжённости береговой линии рек и морей.

Рис. 5. Кривая Коха и береговая линия
Fig. 5. Koch curve and coastline

Фракталы используются в нефтехимии, например, при моделировании пористых материалов, которые имеют очень сложную геометрическую структуру.

Рис. 6. Микрофотографии образцов различных пористых материалов
Fig. 6. Microphotographs of samples of various porous materials

Широкое применение фракталы нашли в компьютерной графике, где с их помощью создают практически фотографические изображения природных объектов, таких как горные ландшафты, поверхности морей и так далее. Добиваясь очень правдоподобной реалистичности при небольших объемах данных. В основу компьютерного построения изображений объектов природы положен один из самых известных фракталов, в том числе за пределами математики благодаря своим цветным визуализациям, Множество Мандельброта.

Рис. 7. Фрактал Множество Мандельброта
Fig. 7. Fractal Mandelbrot Set

Естественно, что зодчие прошлых веков интуитивно использовали фрактальные принципы в своих сооружениях, потому как ощущение красоты было им дано на генетическом уровне и природную красоту, которая сопровождала их повсюду, они воспринимали духовно. Чаше фрактальные принципы находили воплощение во фрактальных поверхностях формирующих фасады зданий и их элементах декора, но фрактальность можно наблюдать и в пространственной (внутренней и внешней) организации зданий и сооружений. С тех пор мы наслаждаемся памятниками архитектуры очень интересными как по образу фасадов, так и по построению пространственной форме [8, 9].

Рис. 8. Примеры использования принципов фрактальности в памятниках архитектуры
Fig. 8. Examples of using the principles of fractality in architectural monuments

Отсюда понимание закона красоты зданий и сооружений может прийти только после изучения ещё одной, вызывающей интерес во всём научном мире, пропорциональной зависимости частей и целого – принципа фрактальной геометрии.

Рис. 9. Примеры использования принципов фрактальности в современной архитектуре
Fig. 9. Examples of using the principles of fractality in modern architecture

В Википедии понятие Фрактал трактуется как от латинского *fractus* - дроблённый, сломанный, разбитый – множество, обладающее свойством самоподобия (объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого, то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей) [10].

То есть Фракталы обладают следующими свойствами: самоподобие; способность к развитию; имеют дробную размерность, размытость и нечеткость контуров; способностью описать хаотические процессы [1, 2].

Многие современные архитекторы вдохновляются многомерной геометрией фракталов и воплощают математические образы в очень простые и логичные формы, которые комфортно воспринимаются глазами и психикой созерцателя. Своими архитектурными объектами материальной культуры человечество обогатило искусственный мир новыми яркими и незабываемыми творениями и безгранично расширило многообразие фрактальной геометрии в архитектуре и ее предметном наполнении.

Виртуальные компьютерные фракталы на основе принципов фрактальной геометрии позволяют самым оптимальным способом моделировать искусственно созданную действительность, что проявляется в способности достаточно хорошо имитировать как объекты как живого мира, так и его предметного наполнения.

При создании своей мебели японский дизайнер Такеши Миякава использовал принципы фрактальной геометрии. Например, одна из моделей, созданных им тумбочек состоит из 23 ящиков, причем ящики расположены так, что пространство объема, в форме куба тумбочки, используются практически полностью.

Рис. 10. Тумбочка созданная по принципу фрактальности

Fig. 10. Bedside table created on the principle of fractality

Другой наш гениальный современник Генри Сегерман будучи математиком по профессии использовал принципы фрактальности как источник идей. Вооружившись формулами и числами, он создал свой виртуальный мир с математической точностью форм, наполнив его метафорическими фрактальными фигурами, спиралями и даже тессерактами, четырехмерными гиперкубами. Кривые Гильберта, реализованные в космогонические предметы Сегерманом, представляют собой фрактальные структуры в виде непрерывной линии, которая заполняет пространство объема фигуры, ни разу не прерываясь и не пересекаясь сама с собой. При этом, если увеличить масштаб, можно увидеть, что части этой кривой повторяют форму целого. Скульптурные предметы Сегермана, которых получилось чуть больше сотни, являются наглядным и точным физическим воплощением абстрактных математических концепций и законов.

Рис. 11. 3D-скульптуры Генри Сегермана

Fig. 11. Henry Segerman 3D sculptures

Выводы

В науке теорию подтверждает или опровергает эксперимент, но по ряду причин провести эксперименты в реальном мире не всегда представляется возможным. И в этом случае на помощь ученым приходят принципы фрактальной геометрии, которые предоставляют возможность выполнять компьютерные эксперименты, воспроизводящие такие явления и процессы, с абсолютной реалистичностью развития процесса и визуализированного в естественном для реального мира виде. Именно фрактальные модели предоставляют возможность обнаружить определенные закономерности и выявить упорядоченность даже в таких системах, в которые, на первый взгляд, представляют из себя только беспорядок и хаос, но на самом же деле их значения полностью предопределены входными параметрами системы.

В результате проектной деятельности сформировались основные принципы фрактальной геометрии – это иерархическая организация целого; его непрерывное формообразование; сингулярность меры; неопределенность границ и динамичность хаоса. На основе изучения построек мировой архитектуры прошлого, обладающими этими принципами, Бенуа Мандельброт первым написал о фрактальности в природе и в архитектуре [7].

Фрактальный принцип расположения конструктивных элементов в архитектуре используется как при строительстве самого здания, так и в организации внутреннего пространства, и в организации всего комплекса в целом. Архитекторы, используя фрактальный принцип, создают уникальные проекты. Они стараются сочетать удивительные по форме и структуре сооружения [3, 4]. Фрактальный принцип в архитектурных сооружениях имеет дробную размерность, в которой применяются самоподобные элементы с фрактальной размерностью.

XXI век весь процесс проектирования архитектурных объектов полностью переместил в виртуальное пространство компьютерного моделирования. Сегодня ландшафтное проектирование осуществляется с помощью компьютерного моделирования с использованием самых передовых программ.

Безграничное количество архитектурных образов черпается при помощи математических моделей об-счёта природных объектов, которые обладают свойствами фрактала. Создаются специальные программы математического об-счёта всех физико-механических характеристик конструкций и их работы по противо-действию внешним воздействиям на объект в целом. Современная архитектура уже на стадии проектирова-ния закладывает создание новых материалов, технологий и конструкций необходимых при возведении ульт-расовременных построек.

Эстетические характеристики понятия красоты искусственной среды являются результатом взаимодей-ствия стабильности и хаоса, линейной нелинейной активности и принципы фрактальности являются в ру-ках учёных инструментом для анализа красоты исторических памятников архитектуры и возможности на основе этих принципов моделировать суперсовременную архитектуру зданий и сооружений.

Литература

1. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университе-та, 2004. 160 с.
2. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. М.: Техносфера, 2006. 488 с.
3. Кушнер М. Будущее архитектуры. 100 самых необычных зданий. М.: АСТ, 2016. 176с.
4. Трубе Г. Путеводитель по архитектурным формам. М.: Архитектура С, 2014. 216 с.
5. Building construction: Architecture and nature / I. Mayatskaya, B. Yazyev, S. Yazyeva, P. Kulinich // MATEC Web of Conferences, 2017.
6. Маяцкая И.А. Распознавание природных объектов с фрактальной поверхностью // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №7-3 (61). С. 54 – 58.
7. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
8. Маяцкая И.А, Языева С.Б., Языев Б.М. Оптимальность конструкций с точки зрения архитектурной бионики // Строительство и техногенная безопасность. 2017. №9 (61). С. 7 – 11.
9. Маяцкая И.А, Языева С.Б., Языев Б.М. Фрактальность и симметрия в архитектурных элементах со-оружений // Строительство и техногенная безопасность. 2018. №12 (64). С. 29.
10. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фрактал>
11. Балханов В.К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления. Улан-Удэ: Башкуев. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. 224 с.
12. Peitgen H.-O., Richter P.H. The Beauty of Fractals. Berlin: Springer. 1986. Русский перевод: Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. М.: Мир. 1993.
13. Prusinkiewicz P. Selfsimilarity in plants: integrating mathematical and biological perspectives. In Novak M.M., editor, Thinking in Patterns: Fractals and Related Phenomena in Nature. Singapore: World Scientific. 2004. P. 103 – 118.

References

1. Morozov A.D. Vvedenie v teoriyu fraktalov. Nizhnij Novgorod: Izd-vo Nizhegorodskogo universiteta, 2004. 160 p. (rus.)
2. Kronover R.M. Fraktaly i haos v dinamicheskikh sistemah. M.: Tekhnosfera, 2006. 488 p. (rus.)
3. Kushner M. Budushchee arhitektury. 100 samyh neobychnykh zdaniy. M.: AST, 2016. 176 p. (rus.)
4. Trube G. Putevoditel' po arhitekturnym formam. M.: Arhitektura S, 2014. 216 p. (rus.)
5. Mayatskaya I., Yazyev B., Yazyeva S., Kulinich P. Building construction: Architecture and nature. MATEC Web of Conferences, 2017.
6. Mayackaya I.A. Raspoznavanie prirodnih ob"ektov s fraktal'noj poverhnost'yu. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2017. 7-3 (61). P. 54 – 58. (rus.)
7. Mandel'brot B. Fraktal'naya geometriya prirody. M.: Institut komp'yuternyh issledovaniy, 2002. 656 p. (rus.)
8. Mayackaya I.A, YAzyeva S.B., YAzyev B.M. Optimal'nost' konstrukcij s tochki zreniya arhitekturnoj bi-oniki. Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2017. 9 (61). P. 7 – 11. (rus.)
9. Mayackaya I.A, YAzyeva S.B., YAzyev B.M. Fraktal'nost' i simmetriya v arhitekturnyh elementah sooru-zhenij. Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2018. 12 (64). P. 29. (rus.)
10. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Fraktal> (rus.)
11. Balhanov V.K. Osnovy fraktal'noj geometrii i fraktal'nogo ischisleniya. Ulan-Ude: Bashkuev. Ulan-Ude: Izd-vo Buryatskogo gosuniversiteta, 2013. 224 p.

12. Peitgen H.-O., Richter P.H. The Beauty of Fractals. Berlin: Springer. 1986. Russkij perevod: Pajtgen H.-O., Rihter P.H. Krasota fraktalov. M.: Mir. 1993.
13. Prusinkiewicz P. Selfsimilarity in plants: integrating mathematical and biological perspectives. In Novak M.M., editor, Thinking in Patterns: Fractals and Related Phenomena in Nature. Singapore: World Scientific. 2004. P. 103 – 118.

*Yazyeva S.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Professor,
Yazyev B.M. *, Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Don State Technical University, Russia*
*Corresponding author E-mail: ps62@yandex.ru

THE MANIFESTATION OF FRACTAL DIMENSIONS IN THE ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Abstract: the article shows the presence of proportional correspondence of parts and the whole using the principles of fractal geometry in the formation of the concept of beauty of natural objects and phenomena. The objects of the artificial environment for the formation of images on the example of mathematical models of calculation of natural objects that have the properties of fractal are investigated. The article presents the types of fractals. Examples of fractal in physics, biology, chemistry are given. Fractal geometry can and should be used in modeling the structure of the artificial environment that humanity creates through architecture. The very process of designing a single building, and its integration into the urban environment, which in the process of formation is also quite chaotic, falls under the principles of fractal geometry. Modeling of these processes using the principles of fractal geometry allows not only to create the most comfortable artificial urban environment, but also to monitor the flow of all processes within it.

Keywords: fractality, architecture, principles of fractal geometry, beauty of proportions

Для цитирования: Языева С.В., Языев Б.М. Проявление фрактальности в архитектуре зданий и сооружений // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №4. С. 89 – 95. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-4-89-95

For citation: Yazyeva S.V., Yazyev B.M. Manifestation of fractal dimensions in the architecture of buildings and structures. Construction Materials and Products. 2019. 2 (4). P. 89 – 95. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-4-89-95

Поступила в редакцию 2 июня 2019 г.

Принята в доработанном виде 12 июля 2019 г.

Одобрена для публикации 8 августа 2019 г.

Received: June 2, 2019.

Revised: July 12, 2019.

Accepted: August 8, 2019.