

УДК 624.04

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ТЕОРИИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Кравченко Галина Михайловна

кандидат технических наук, доцент

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону

galina.907@mail.ru

Пуданова Любовь Игоревна

аспирант

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону

lpudanova@yandex.ru

Аннотация

Фракталы являются главным отображением природных структур в математике. Предлагается применение алгоритмов фрактальной теории для моделирования и конструирования уникального здания. Объектом исследования является структура объемного фрактала Мандельброта, полученная с использованием специально разработанной авторами программы «Конечно-элементное моделирование структуры фрактала». Конструктивная схема объекта представляет собой фрактал, эндо- и экзоструктура которого являются основными элементами скелета. Принципиальное отличие каркаса заключается в применении криволинейных элементов эндоструктуры, диктующих методологию разработки объемно-планировочных решений здания. Дополнительно разработана система ядер жесткости и специальный самоподобный узел соединения элементов эндоструктуры, гармонично вписывающиеся в единый несущий остов объекта исследования. Модель объемного фрактала Мандельброта 8 мощности реализована методом 3D печати из ABS пластика.

Ключевые слова: фрактал, фрактальная структура, фрактальная архитектура, конструктивные решения, каркас уникального здания, моделирование, метод конечных элементов, роботы-манипуляторы.

APPLICATION OF FRACTAL THEORY TO DESIGNING UNIQUE OBJECTS

Galina M. Kravchenko

PhD in Engineering, associate professor

Don State Technical University, Rostov-on-Don

galina.907@mail.ru

Lyubov I. Pudanova

Postgraduate student

Don State Technical University, Rostov-on-Don

lpudanova@yandex.ru

ABSTRACT

Fractals are the main representation of natural structures in mathematics. The application of algorithms of fractal theory is proposed for modeling and constructing a unique building. The structure of the volume Mandelbrot fractal is the object of research. The structure is obtained with using of the specially developed by the authors the program «Finite element modeling structure of fractal». The constructive scheme of the object is a fractal. Endostructure and exostructure of fractal are the main elements of the frame. Curved elements of the endostructure are the main feature of the skeleton of the building. Elements of the endostructure dictate the methodology for the development of space-planning solutions of the building. Additionally, a system of stiffening cores and a special self-similar node for connecting elements of endostructure was developed. These elements fit harmoniously into a single load-bearing frame of the object of study. The model of the volume fractal Mandelbrot of the 8 power is implemented by 3D printing of ABS plastic.

Keywords: fractal, fractal structure, fractal architecture, construction solutions, frame of the unique building, modeling, finite element method, robot manipulators.

Введение

Современные здания и сооружения должны обладать не только яркой запоминающейся формой, но и уникальным функционалом, имеющим логичную и упорядоченную связь с этой формой. Возникает необходимость в адаптации современных зданий к природным структурам с применением математических алгоритмов. Отображением природных структур в математике являются фракталы [1-3].

Фрактал – сложная геометрическая фигура, обладающая свойством самоподобия, то есть составленная из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. Для визуализации фракталов алгоритмы трансформируются в геометрические объемные формы с помощью итерационных процессов. При создании модели природного фрактала предполагается, что фрактальная структура является целостной и идеальной.

Объектом исследования является структура объемного фрактала Мандельброта. Новизна исследования заключается в применении фрактальной теории к проектированию реальных объектов с конструированием каркаса здания и его элементов.

Принцип фрактального формообразования прослеживается в архитектуре с давних времен, но без математического обоснования.

Б. Мандельброт отметил, что примером фрактальной архитектуры является здание Парижской оперы архитектора Ш. Гарнье, построенного в 1862 г. Фракталоподобные формы Искупительного храма Святого Семейства, построенного по проекту А. Гауди в Барселоне, представлены хаотическими нерегулярными фракталами. Кафедральный собор в Милане, строительство которого велось с 1386 года по 1965 год, имеет силуэт с множеством вертикальных повторяющихся элементов и представляет собой математическую метафору в виде графика функции Вейерштрасса.

На рисунке 1 для сравнения представлены некоторые архитектурные объекты, обладающие фракталоподобными свойствами, и фрактальная структура, разработанная авторами на основе объемного фрактала Мандельброта 8 мощности.

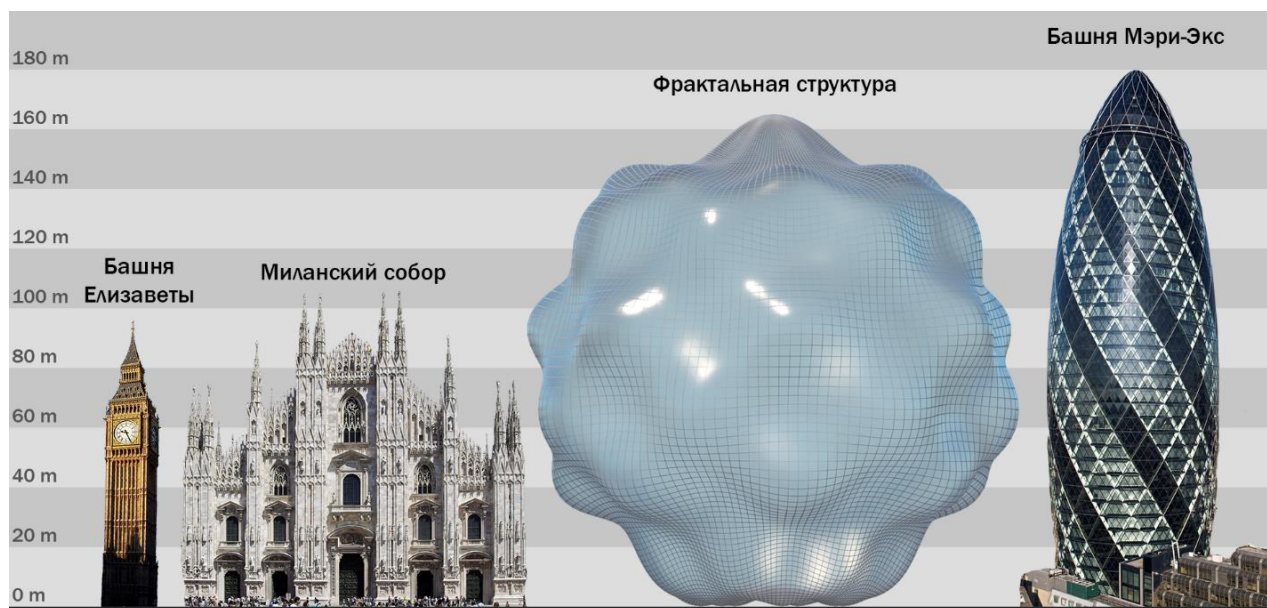


Рисунок 1. Примеры фрактальной архитектуры

Для грамотного отражения алгоритма природы в архитектурном объекте необходимо использовать методологии, в которых фрактальные элементы используются в качестве несущих конструкций. При построении фрактальной структуры простое заимствование фрактальных идей и бессистемное добавление элементов недопустимо.

Цель исследования

Целью исследования является разработка объекта фрактальной архитектуры с учетом особенностей внутренней и внешней структуры фрактала. Разработка основных конструктивных решений исследуемого объекта основывается на модели сложной структуры.

Методы исследования

Для моделирования объемной фрактальной структуры уникального здания применяется программа «Конечно-элементное моделирование структуры фрактала», разработанная на основе фрактальной теории [4]. Для моделирования каркаса уникального здания применяется метод конечных элементов, который реализован в программном комплексе SCAD [5]. Необходимо отметить, что алгоритм моделирования фрактальной структуры в дальнейшем используется при реализации технологии 3D печати объекта.

Результаты и обсуждение

Авторами разработана фрактальная структура уникального здания, сформированная на основе фрактальных принципов, заложенных в парадигме фрактального формообразования [6-8]. Парадигма заключается в возможности моделирования новой фрактальной структуры путем использования универсальных и гибких концепций структуризации и формализации динамических процессов.

Разработанный объект фрактальной архитектуры характеризуется значительной устойчивостью и малым весом, что обеспечивается применением инновационных материалов.

В процессе исследования рассматривается рациональная конечно-элементная модель каркаса здания как объемного фрактала восьмой мощности. Комплексная модель эндо- и экзоструктур реализуется с использованием алгоритма создания узлов конечно-элементной сетки в специально разработанной авторами программы «Конечно-элементное моделирование структуры фрактала» [4].

Задача моделирования пространственного объекта фрактальной архитектуры является сложной. При разработке конструктивных решений фрактальный объект имеет уникальные уровни и сложную эндоструктуру, которая диктует методологию моделирования элементов каркаса. Скелет объекта принципиально отличается от типового каркаса высотного здания.

Конструктивная схема объекта фрактальной архитектуры представляет собой модифицированную сферу, сформированную в соответствии положениями фрактальной теории.

Основными несущими конструкциями фрактальной структуры являются элементы эндо- и экзоструктуры, а также дополнительно разработанная система ядер жесткости, гармонично вписывающаяся в единый несущий остов объекта исследования (рисунок 2).

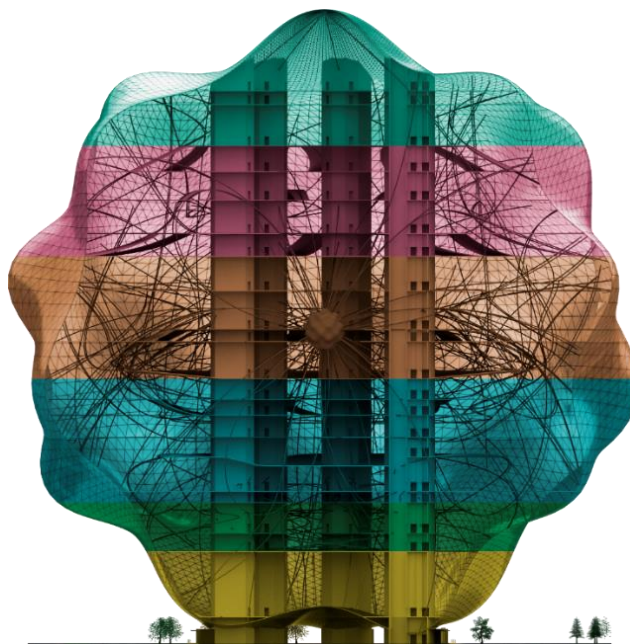


Рисунок 2. Конструктивная схема объекта фрактальной архитектуры

Элементы эндоструктуры являются в основном криволинейными и густо заполняют пространство внутри экзоструктуры, что обеспечивает устойчивость всего объекта. Для оптимизации стыкового соединения большого количества таких элементами в процессе исследование разработан специальный узел, продиктованный принципами фрактальной теории. Такой узел выполняет задачу сложного соединения большого количества элементов эндоструктуры, образуя уникальный новый фрактальный элемент, положительно влияющий на работу каркаса здания (рисунок 3).

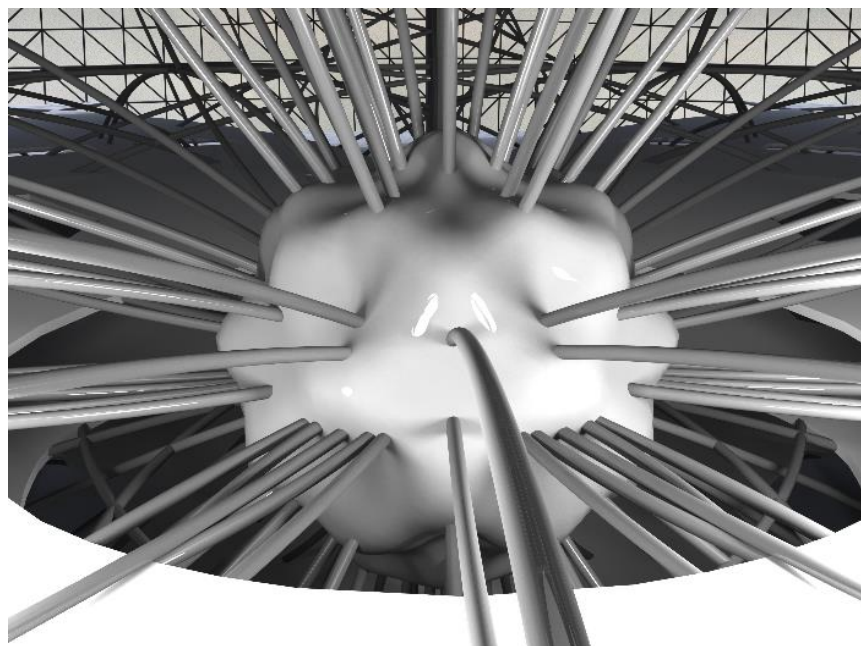


Рисунок 3. Реализация фрактального узла соединения элементов эндоструктуры

Предполагается, что элементы каркаса следует изготавливать с применением технологии 3D-печати специальными промышленными роботами-манипуляторами, способными печатать различными металлами и их сплавами без необходимости поддержки реализуемых конструкций.

Пространственная жесткость и неизменяемость здания обеспечивается включением в совместную работу всех несущих конструктивных элементов фрактала, связанных принципиально новым элементом каркаса, подобным объекту целиком.

В каркас объекта включаются уровни, сформированные на основе элементов эндоструктуры. Первая и вторая итерации развития эндоструктуры фрактала позволяют использовать уникальные формы плоскостей, которые способствуют не только образованию различных атриумных пространств по высоте здания, но и являются основой для образования необычных переходов между уровнями (рисунок 4).

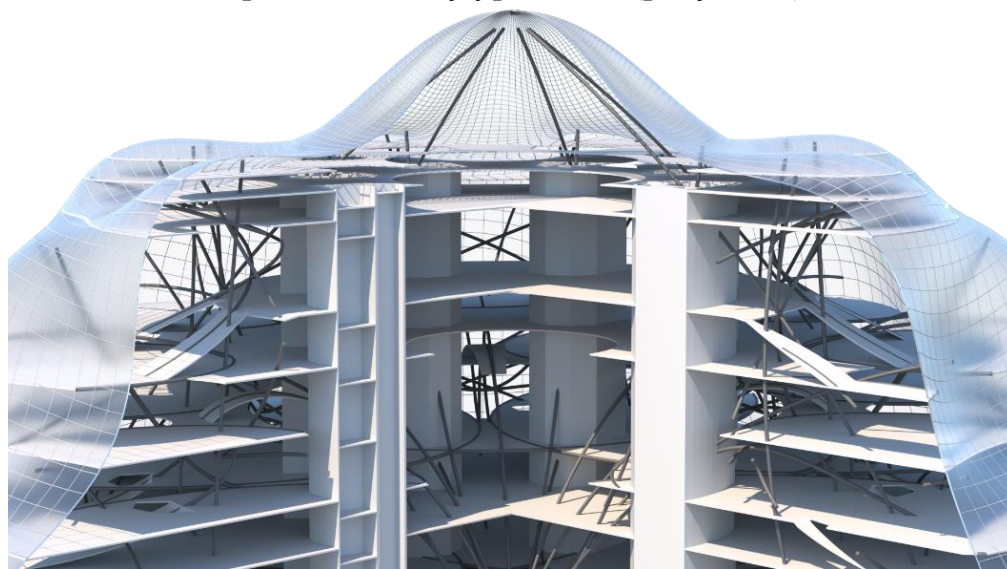


Рисунок 4. Фрагмент объекта фрактальной архитектуры

Экзоструктура объекта выполнена светопрозрачной, гармонично связывая инновационный подход проектирования с окружающей средой.

На последнем этапе исследования фрактальных структур реализована модель объемного фрактала Мандельброта 8 мощности методом 3D печати из ABS пластика, которая отличается от расчетной модели сотовой внутренней структурой.

Пластиковая модель фрактала состоит из двух частей, соединенных цилиндрическими стержнями с фасками на концах (рисунок 5).



Рисунок 5. Модель объемного фрактала Мандельброта 8 мощности

Подобного рода дефектов можно избежать путем использования специальных материалов (например, водорастворимый пластик PVA) для обеспечения поддержки участков со сложной геометрией. Пластиковая модель фрактала будет напечатана как единый объект высокого качества и точности. Другим вариантом реализации модели является использование многоосевых 3D-инструментов, обеспечивающих качественное выполнение задачи. При этом различные типы программного обеспечения, работая вместе, управляют роботом в процессе печати сложной структуры.

Заключение

Применение фрактальной теории в процессе проектирования выявляет необходимость разработки новых конструктивных решений уникальных зданий.

В процессе строительства предлагается применение инновационных материалов и технологии 3D печати для реализации уникальных фрактальных структур. Главным преимуществом инновационной технологии проектирования и строительства является возведение зданий различного назначения с индивидуальными элементами и конструкциями в короткие сроки.

При возведении здания фрактальной архитектуры максимально используются возможности технологии 3D печати, что сопровождается оперативностью создания объекта, контролем качества, снижением затрат труда и экологически безопасными материалами. При этом необходимо учитывать возможные проблемы при применении того или иного робота-манипулятора для создания элементов сложной структуры.

Объект фрактальной архитектуры является инновационным, имеет уникальную легкую структуру каркаса в соответствии с фрактальной теорией. Объемно-планировочные решения уникального здания с фрактальной структурой основаны на создании комфортного внутреннего пространства.

Применение парадигмы фрактального формообразования приводит к пересмотру классической методики проектирования и строительства уникальных зданий и сооружений.

Список литературы

1. Mandelbrot, B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: 1982. 462 p.
2. H.-O. Peitgen, P. H. Richter. *The beauty of fractals*. Springer-Verlag: Heidelberg, 1986. 184 p.
3. Frame, M.L. & Mandelbrot B.B. *Fractals, Graphics and Mathematical Education*. Washington DC: Mathematical Association of America & Cambridge UK: The University Press, 2002.
4. Конечно-элементное моделирование структуры фрактала: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ / Кравченко Г.М., Васильев С.Э., Пуданова Л.И. — № 2017664255; дата регистрации 19.12.2017 г.
5. Карпиловский В.С. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. М.:Издательство ABC, 2007. 590 с.
6. Кравченко Г.М., Васильев С.Э., Пуданова Л.И., Парадигма фрактальных структур// Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4450
7. Kravchenko G. Modeling the External Structure of a Fractals. *2017 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 90 012100.
8. Kravchenko G.M., Pudanova L. I. 2018 The fractal Mandelbrot set and the shaping of the 3D fractal (Inženernyj vestnik Dona (Eng)) 4.

References

1. Mandelbrot, B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: 1982. 462 p.
2. H.-O. Peitgen, P. H. Richter. *The beauty of fractals*. Springer-Verlag: Heidelberg, 1986. 184 p.
3. Frame, M.L. & Mandelbrot B.B. *Fractals, Graphics and Mathematical Education*. Washington DC: Mathematical Association of America & Cambridge UK: The University Press, 2002.
4. Kravchenko G.M., Vasil'ev S.E., Pudanova L.I. Konechno-e`lementnoe modelirovanie struktury` fraktala: svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM [Finite element modeling structure of fractal] № 2017664255, 19.12.2017 г. (In Russian).
5. Karpilovskij V.S. SCAD Office. Vychislitel'nyj kompleks SCAD [SCAD Office. Computing complex SCAD]. М.: Izdatel'stvo ABC, 2007. 590 p. (In Russian).
6. Kravchenko G.M., Vasil'ev S.E., Pudanova L.I. Paradigma fraktal'nyh struktur [Fractal structure paradigm]. Inženernyj vestnik Dona , 2017, №4 (In Russian).
7. Kravchenko G. Modeling the External Structure of a Fractals. *2017 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 90 012100.
8. Kravchenko G.M., Pudanova L. I. 2018 The fractal Mandelbrot set and the shaping of the 3D fractal (Inženernyj vestnik Dona (Eng)) № 4.