

Раздел 1. Градостроительство

УДК 721.01:51-74

ФРАКТАЛЬНОСТЬ В ФОРМООБРАЗОВАНИИ ОБЪЕКТОВ АРХИТЕКТУРЫ

Маяцкая И.А.

Донской государственный технический университет;
г.Ростов-на-Дону, Россия,
e-mail: irina.mayatskaya@mail.ru

Аннотация. В статье проведено исследование структуры сооружений с использованием фрактальной размерности. Это дает возможность понять возможности создания фрактальных элементов этих уникальных зданий. Показаны методики определения фрактальной размерности для объекта, как на плоскости, так и в пространстве.

Предмет исследования: фрактальные формы сооружений архитектуры для поиска вариантов архитектурных решений.

Материалы и методы: Использование методов фрактальной геометрии позволяет более эффективного применения цифровых технологий в процессе сохранения и восстановления объектов архитектурного наследия.

Результаты: В статье дается акцент на создание цифровых моделей известных объектов архитектуры и других уникальных сооружений Европы и России. В статье рассматриваются методы вычисления фрактальной размерности объектов с различной видами формообразования. Приведен пример сооружения готической архитектуры с высокой степенью фрактальности. В данном исследовании приведены примеры фрактальных структур. Приводятся основные методы фрактальной геометрии, рассмотрены взаимосвязи и закономерности фрактальности архитектурных элементов сооружений. Исследованы разные методы вычисления фрактальной размерности. Проведен поиск оптимального решения при определении дробной размерности математическими методами.

Выводы: Фрактальная геометрия и математические методы, основанные на цифровых технологиях, помогают находить уникальные формы при моделировании структуры искусственной среды, при создании архитектурных комплексов. Определен вектор развития фрактальности с использованием дробной размерности. Поиск фрактальных структур в архитектуре позволяет создавать уникальные формы. И теория фракталов помогает воплощать эти образы в работах архитекторов.

Ключевые слова: архитектура, формообразование, элемент, фрактал, фрактальная размерность, цифровые технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Фрактальность – это понятие, которое позволило сделать революцию в математике, в понимании нашего реального мира. Сами понятия «фрактал» и «фрактальная размерность» были сформулированы Бенуа Мандельбротом в 1967 году [1]. И с тех пор начала свое развитие неклассическая математика, математика, которая старается объяснить самые неожиданные явления, будь то в физике, в прогнозировании климата, в биологии, в экономике и в других самых интересных областях познания реального мира [1-3].

Фрактальность присуща природным формам и объектам шедевров мировой архитектуры. Архитекторы использовали изломанность линий, ажурность архитектурных элементов, самоподобие внешнего и внутреннего пространств. Это было хорошо видно в сооружениях мировой архитектуры, в том числе и готической [4-7]. Сооружения с уникальной фрактальной структурой являются достоянием мировой архитектуры. Изучая фрактальность удивительных по форме зданий и организацию внешнего и внутреннего пространств сооружения, можно создавать современные здания со своим неповторимым стилем.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Целью данного исследования является изучение фрактальных форм сооружений архитектуры для

поиска удивительных вариантов архитектурных решений. Методы исследования включают следующие последовательности изучения проблемы: изучение фрактальных форм в архитектуре различных сооружений; анализ тех особенностей строения, которые можно использовать в проектировании прочной и устойчивой конструкции. Использование цифровых технологий при реставрации и реконструкции исторических зданий. Необходимо создание цифровых моделей шедевров мировой архитектуры, в том числе и уникальных современных сооружений. Это позволит оптимизировать процесс восстановления и сохранения исторических объектов. А изучение фрактальности и применение других математических методов в формообразовании позволит создавать уникальные здания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Развитие фрактальной геометрии, математического моделирования и современных программных комплексов привело к пониманию о влиянии фрактальных методов при проектировании архитектурных объектов. В развитии фрактальной архитектуры можно выделить два этапа: интуитивный и осознанный.

Архитекторы прошлых веков часто применяли такое свойство фракталов, как самоподобие. Ведь основное определение фрактала связано с созданием самоподобных структур с дробной

размерностью как с увеличением, так и с уменьшением объекта. Примером сооружений с самоподобными элементами служат храмы в Индии: храмы Кайласанатха в Эллоре, Акшардхани в Дели, Хойсалешвара в Халебиду и храмовые комплексы в Махабаликуруме (разрушен цунами 2004 года, позже восстановлен), Махабет Макбара в Джунагадже, Кхаджурахо. Многие сооружения в мире имеют высокий уровень фрактальности, особенно это присуще объектам готической и неоготической архитектуры [4-7].

Принципы фракталоподобного формообразования применялись многими архитекторами в мире. На основе опыта и интуиции были созданы архитектурные памятники. Ярким примерами такой архитектурой являются сооружения Антонио Гауди. Современные архитекторы также используют методы фрактальной геометрии, только с более сложной структурой.

Определение фрактальной размерности для архитектурных объектов возможно математическими методами. Необходимо создание программы по сохранению архитектурного облика городов России с базой виртуальных объектов. Пока не ясно, как будет использоваться данное понятие, скорее всего для классификации объектов. Но идет время, и некоторые объекты исторического архитектурного наследия могут быть утрачены. Примером объекта архитектурного наследия, который находится в очень плохом состоянии, является доходный дом наследников В.Р. Максимова на ул. Московская 72 (г. Ростов-на-Дону), дата постройки 1899 год, архитекторы Дорошенко Н.А., Дурбах Н.Н., он известен как дом с ангелами. Сооружение очень сильно разрушено и проводить реставрацию объекта будет очень сложно. Если специалисты смогут провести эти работы, то это будет символом реставрации и

реконструкции Старого Ростова-на-Дону. Фрактальная размерность может определять вектора развития компьютерной базы. Создание виртуальных моделей объектов архитектурного наследия поможет в работе реставраторов и архитекторов.

Метод для вычисления фрактальной размерности, который использовал Исмаил Х.Д. в своей работе по фрактальному анализу мечетей, предложил В. Лоренс и К. Бовилл [8-10]. Это метод определения размерности DB («box counting dimension method») представляет собой метод ячеистого вычисления размерности. Он позволяет определить размерности самоподобных форм и других фрактальных структур. Размерность DB отражает степень изломанности фрактальной структуры объекта сложной формы на плоскости. Если же нужно определить размерности в пространстве, то нужно найти DB в трех взаимноперпендикулярных плоскостях (в декартовых координатах).

Размерность DB определяется по формуле

$$DB_{(1-2)} = \frac{\log N_2 - \log N_1}{\log S_2 - \log S_1}$$

или

$$DB_{(1-2)} = \frac{\log(N_2 / N_1)}{\log(S_2 / S_1)} ; 1 < DB < 2 ,$$

где параметры равны: S – размер сетки; S_1 – размер малой сетки; S_2 – размер большой сетки; N – количество ячеек, покрывающих изображение; N_1 – количество ячеек малой сетки, покрывающих изображение; N_2 – количество ячеек большой сетки, покрывающих изображение (рис. 1).

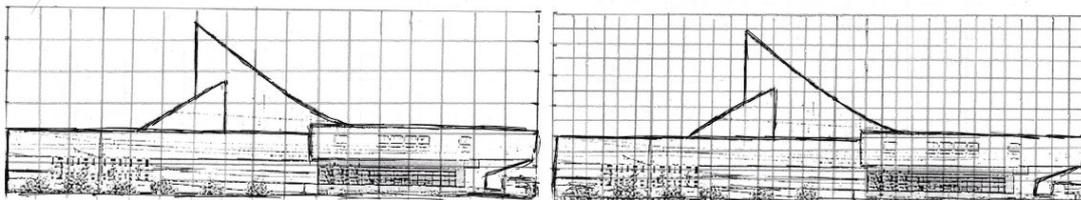


Рис. 1. К определению фрактальной размерности методом ячеистого вычисления для сооружения «Ростовский государственный музыкальный театр в Ростове-на-Дону».

Fig. 1. To determine the fractal dimension by the cellular calculation method for a structure «Rostov State Musical Theatre in Rostov-on-Don».

Размерность DB можно определить и таким образом:

$$DB_{(1-2)} = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{\ln S_2 - \ln S_1} \text{ или}$$

$$DB_{(1-2)} = \frac{\ln(N_2 / N_1)}{\ln(S_2 / S_1)} .$$

Для определения размерности DB для контура архитектурного объекта используются сооружения готической архитектуры, так как они обладают ярко выраженной фрактальностью архитектурных элементов и самого сооружения в целом. Высокая степень фрактальности в объекте характеризуется общей фрактальной размерностью в пределах $1 < DB < 2$. Так, соборы готической архитектуры имеют высокую степень фрактальности.

Сравним фасады сооружений с самым разнообразным контуром, используя методы фрактальной геометрии. Рассмотрены четыре типа сооружений: 1 – Международный аэропорт «Платов» в Ростове-на-Дону (вид главного входа и вид со стороны взлетной полосы), 2 – Ростовский государственный музыкальный театр в Ростове-на-Дону, 3 – Сиднейский оперный театр в Сиднее, Австралия, 4 – Дворец спорта «Большой» в Сочи (рис. 2). Если рассмотрим метод ячеистого вычисления размерности этих контуров для четырех объектов, то получим следующие данные.

Сетки имеют следующий размер для каждого типа:

- 1 (а) тип – $S_1 = 72; S_2 = 288$ (квадратные ячеистые сетки 18×4 и 36×8);
- 1 (б) тип – $S_1 = 48; S_2 = 192$ (квадратные ячеистые сетки 16×3 и 32×6);
- 2 тип – $S_1 = 102; S_2 = 408$ (прямоугольные ячеистые сетки 17×6 и 34×12);
- 3 тип – $S_1 = 126; S_2 = 504$ (прямоугольные ячеистые сетки 18×7 и 36×14);
- 4 тип – $S_1 = 85; S_2 = 340$ (прямоугольные ячеистые сетки 17×5 и 34×10).

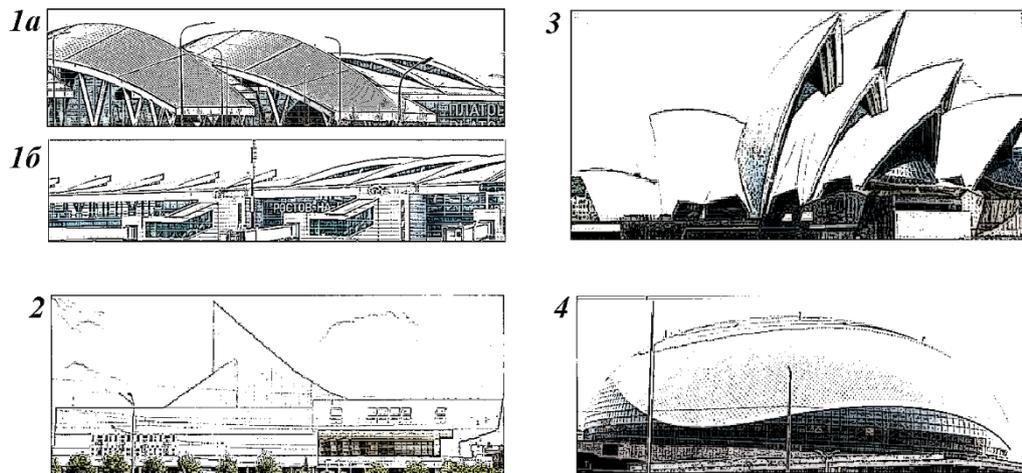


Рис. 2. Типы сооружений с различной фрактальностью.
Fig. 2. Types of structures with different fractality.

Фрактальная размерность для каждого типа сооружений равна:

- 1 (а) тип – $N_1 = 61; N_2 = 231$ и $DB_{(1-2)} = 0,961$;
- 1 (б) тип – $N_1 = 37; N_2 = 143$ и $DB_{(1-2)} = 0,975$;
- 2 тип – $N_1 = 40; S_2 = 164$ и $DB_{(1-2)} = 1,018$;
- 3 тип – $N_1 = 65; N_2 = 263$ и $DB_{(1-2)} = 1,008$;
- 4 тип – $N_1 = 65; N_2 = 285$ и $DB_{(1-2)} = 1,066$.

Как видно из анализа данных, что не достаточно будет провести двухступенчатый анализ фрактальности объекта. Фрактальную размерность можно уточнить, если провести многоступенчатый фрактальный анализ, увеличивая количество ячеек в сетке. Получая размерности $DB_{(1-2)}, DB_{(2-3)}, DB_{(3-4)}, DB_{(4-5)}$, можно более точно определить значение. Количество ячеек в каждом процессе вычисления увеличивается в несколько раз согласно ряду: $2^0, 2^2, 2^4, \dots, 2^i$, где $i = 0, 2, 4, \dots, n + 2$. Значение 2^0 соответствует объекту без сеток. Следует отметить, что многоступенчатый фрактальный анализ объектов архитектуры приводит к результатам, которые помогут лучше понять особенности сооружения.

Предлагается также оценивать фрактальность объекта через характер изменения производной к контуру фасада с применением линейной аппроксимации функции контура. Проведем разбивку контура фасада на отрезки и найдем приращение по высоте для каждого отрезка (рис. 3).

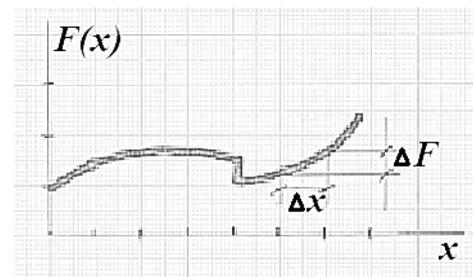


Рис. 3. К определению производной к контуру фасада здания.

Fig. 3. To determine the derivative to the contour of the building facade.

В результате получим функцию, вид которой определяется контуров фасада. Если есть один сильно выраженный фрактальный элемент, то функция производной будет иметь один излом. Если контур имеет несколько таких элементов, то это также отразится на этой функции. Если имеется

некоторая волнистая поверхность, то получается периодическая функция (рис. 4).

Распознавание архитектурного объекта с фрактальной поверхностью происходит по наличию

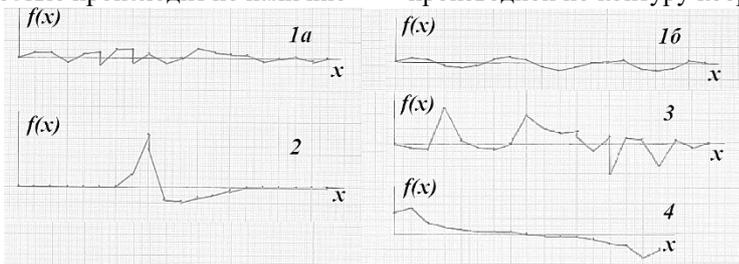


Рис. 4. Графики производной к контуру фасада здания производной к контуру фасада здания.

Fig. 4. Graphs of the derivative to the contour of the building facade of the derivative to the contour of the building facade.

Изменение фрактальности в пространстве характеризуется функцией $\Phi(x, y, z) = 0$ или $z = \varphi(x, y)$, а в плоскости изменение контура характеризуется функцией $F(x) = 0$. Форма объекта изучается при изменении контура объекта с использованием функции первой производной от координаты контура: $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ или $f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x)}{\Delta x}$ или $f(x) = \frac{\Delta F(x)}{\Delta x}$ при линейной аппроксимации.

Если на контуре есть один объект фрактальности, то функция $f(x)$ будет иметь один излом. Для фрактального объекта же монотонность может быть нарушена не только в одной точке, а в нескольких точках. В этом случае количественная оценка характеристики может быть оценена как скачок первой производной. Если же контур объекта имеет монотонную и симметричную функцию, то и функция $f(x)$ также имеет такие характеристики. Показано, что в качестве объекта распознавания фрактальности объектов можно использовать схему изменения первой производной функции по координатам, которые могут идентифицировать фрактальную поверхность объекта (рис. 3). Фрактальность природы проявляется не только в растительных объектах. Такие объекты иногда очень сложно описать математическими методами, и поэтому нужно уделять больше внимания изучению фрактальной геометрии и методам нелинейной механики.

Размерность DB в пространстве определяется по формуле

$$DBV_{(1-2)} = \frac{\log N_{V_2} - \log N_{V_1}}{\log V_1 - \log V_2},$$

где V_i – размеры объемной кубической сетки; N_{V_i} – количество объемных кубических ячеек, покрывающих объем сооружения; $i = 1, 2, 3, \dots$

В процессе вычисления размерности в пространстве определяются $DBV_{(2-3)}$ и $DBV_{(3-4)}$. Можно также в каждой ячейке на плане сооружения

изломов его контура, нарушение его монотонности. В качестве признака распознавания фрактальности можно использовать изменение первой производной по контуру координат.

определять среднее значение высоты сооружения в этой точке и также провести анализ. И в пространстве этот объект будет обладать более высокой фрактальностью, чем на плоскости. Топология в 3D-моделировании — это расположение полигонов, создающее определенный путь по поверхности полигональной сетки или из каких именно блоков состоит плоская фигура и объемный объект. Имеено в этом разделе математики и может фигурировать такое понятие, как фрактальная размерность при исследовании объектов сложной формы.

Математическое определение фрактальной размерности имеет вид

$$D = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\ln c - n \ln \rho}{\ln \left(\frac{1}{\rho} \right)},$$

где n – число покрытия шарами; c – неопределенный множитель, который можно опустить; ρ – радиус заполнения; N – число масштабов; $N = c\rho^{-n}$.

А также рассмотрим фрактальную размерность на основе таких фракталов, как ковер Серпинского и губка Менгера (рис. 4).

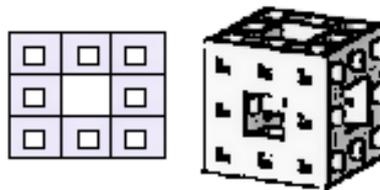


Рис. 4. Геометрические фракталы: ковер Серпинского и губка Менгера.

Fig. 4. Geometric fractals: Serpinsky's carpet and Menger's sponge.

Для построения ковра Серпинского квадрат делится на 9 частей, затем удаляется один элемент. В результате получается $N = 9 - 1 = 8$. Размер каждой грани уменьшается в 3 раза: $\rho = \frac{1}{3}$.

Фрактальная размерность равна $D_f = \frac{\ln 8}{\ln 3} = 1,89$.

Так как $1 < DB < 2$, то площадь стремится к нулю при увеличении числа итераций. Если рассмотреть губку Менгера, то в начальном кубе будет 27 малых кубов с размерностью в 3 раза меньше при первой итерации. Из куба в центре вырезаем куб. Далее процесс продолжается для n итераций. В результате $N = 20$ и $\rho = \frac{1}{3}$ для первой итерации.

Фрактальная размерность равна $D_f = \frac{\ln 20}{\ln 3} = 2,727$. Так как $2 < DB < 3$, то объем фигуры стремится к нулю при увеличении числа итераций.

Можно также определить фрактальную размерность кривой линии, заполнив вдоль шарами или кубами с одинаковыми или разными размерами. Именно коэффициент C учитывает разницу в геометрических параметров блоков. Число сегментов на кривой равно $N(\delta) = \delta^{-D}$, где D – число; δ – длина звена, $\delta \rightarrow 0$; n – число итераций, $n \rightarrow \infty$. Криволинейный элемент аппроксимируется прямой, затем кривая делится на 3 прямых отрезка. Как видно на рис. 5 уже на

третьей итерации кривая хорошо заменяется ломанной линией.

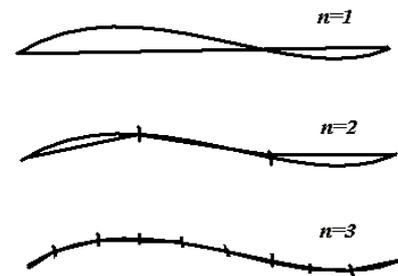


Рис. 5. Определение фрактальности кривой линии.
Fig. 5. Determining the fractality of a curved line.

В силу сложной формы большинства архитектурных объектов автоматический перенос программ по моделированию и по вычислению размерности нельзя сделать. И есть еще одна проблема: очень много определений фрактальной размерности для самых разных областей исследований. Рассмотрим заполнение блоками в виде объемных элементов разной формы для сооружения полусферической оболочки (рис. 6,7).

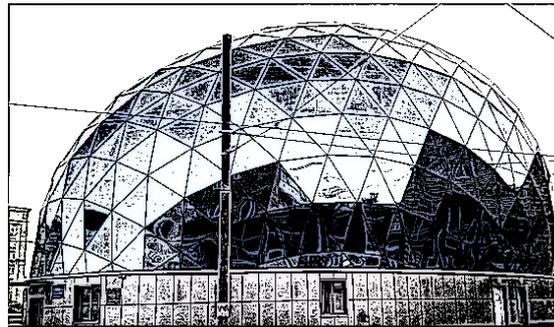


Рис. 6. Здание «Гормост-Север», г. Москва.

Fig. 6. The Gormost-Sever building, Moscow.

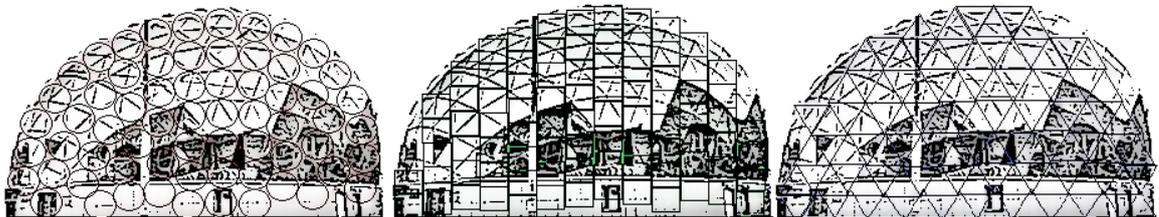


Рис. 7. К определению фрактальной размерности объекта сложной формы.
Fig. 7. To determine the fractal dimension of an object of complex shape.

Рассмотрим эквивалентные по объему элементарные блоки: шар, куб и треугольную пирамиду (тетраэдрон). Тетраэдрон – это многогранник с четырьмя гранями, шестью ребрами и четырьмя вершинами. Все грани являются равносторонними треугольниками. Также можно

использовать выпуклые правильные многогранники (платоновы тела), например, октаэдр. Фрактальная размерность – это коэффициент, описывающий фрактальные структуры на основе количественной оценки их сложности. Он показывает, насколько объект заполняет пространство. Обычно

применяется размерность Хаусдорфа, где покрытие происходит шарами или кубами, причем они могут иметь разные размеры. При заполнении объема одинаковыми блоками более плотно помещаются элементы в виде тетраэдрона, а менее плотно – шарами. Если же рассматривается объект простой формы, например, сооружения в виде прямоугольников или объекты кубической архитектуры, то лучше выбирать в качестве элементарных блоков кубы.

В данном исследовании идет исследование фрактальности различных объектов и поиск методов определения фрактальной размерности. Цифровые технологии и инновации могут помочь в сохранении и восстановлении архитектурных комплексов. Необходимо создание библиотеки 3D моделей мирового архитектурного наследия. Лазерное сканирование позволяет создать 3D-модель объекта в деталях. Это дает возможность хранить в электронном виде подробную информацию об архитектурном сооружении с учетом всех элементов. При этом полученная информация может быть в дальнейшем использована в различных компьютерных программах для планирования реконструкций, ремонтных и строительных работ. При лазерном сканировании сложных архитектурных форм возникают определенные трудности с автоматическим переносом данных в программы компьютерного моделирования. Это связано с тем, что большинство подобных приложений описывают здания лишь самыми простыми геометрическими формами. Развитие математических методов, в том числе методов фрактальной геометрии, позволят преодолеть эти сложности [11-14]. И создание цифровых моделей шедевров мировой архитектуры, в том числе и современных объектов реконструкции, позволит эффективнее проводить реставрационные работы.

ВЫВОДЫ

Создание уникальной архитектурно-пространственной среды современных городов – цель, которую ставят архитекторы при реализации своих проектов [15,16]. Исследование фрактальности сооружений современной архитектуры, а также готической и неоготической архитектуры, позволяет найти методы проектирования каркасных сооружений и применить их в современных сооружениях с уникальными формами. Это позволяет архитекторам использовать свой творческий потенциал. Именно развитие фрактальности архитектуры позволило создать уникальный стиль в готической архитектуре. Но свойства фрактальности дают возможности и современным архитекторам развивать современную архитектуру. Архитектура создает материальную и духовную среду, в которой человек себя частью целого мира. Уничтожение архитектурного наследия приводит к стиранию национального самосознания.

Необходимо сохранять национальное достояние, создавая цифровые технологии и базы виртуальных моделей. Нужно активнее применять математические методы. Необходимо создавать цифровые инструменты для проведения реставрационных работ и в случае необходимости создания хотя бы виртуальной модели архитектурного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Москва: Изд-во Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
2. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Москва: Изд-во Техносфера, 2006. 488 с.
3. Мандельброт Б. Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2009. 392 с.
4. Дженкинс С. 100 величайших соборов Европы. Москва: Изд-во КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2023. 352 с.
5. Шуази, О. История архитектуры. От доисторической эпохи до XVIII века. Москва: Изд-во АСТ, 2024. 656 с.
6. Гнедич, П. П. Мировая архитектура. Москва: Изд-во Эксмо-Пресс, 2012. 240 с.
7. Трубе Г. Путеводитель по архитектурным формам. Москва: Изд-во Архитектура – С, 2014. 216 с.
8. Шишин М. Ю., Исмаил Х. Д. А. Обоснование фрактального метода анализа памятников архитектуры //Вестник Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. 2011. №. 1-2. С. 27-30.
9. Исмаил Х. Д. А., Шишин М. Ю. А. Итоги и перспективы исследования фрактальности исламской архитектуры и искусстве //Вестник алтайской наукой. 2011. №. 1. С. 5
10. Исмаил Х. Д. Фрактальный анализ шедевров исламской архитектуры–мечети Ахмад Шаха и Тадж-Махала: обоснование метода и опыт применения //Architecture and Modern Information Technologies. 2012. №. 4 (21). С. 11
11. Batty M., Longley P. Fractal Cities: A Geometry of Form and Function. San Diego: Publishing Academic Press, 1994. 394 p.
12. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Kashina I., Gerlein N. Fractal geometry and design of modern structure // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. p. 02018. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102018
13. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Yazyeva S.B. Fractality and urban environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1083. p. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012028
14. Mayatskaya, I., Yazyeva, S., Gatiev, M., Kuznetsov, V., Klyuev, S., & Sabitov, L. Application of Fractal Methods in the Design of Modern Structures. // ISICC: International Scientific Conference Industrial and Civil Construction. Cham: Springer Nature

Switzerland. 2022. Vol. 436. pp. 414-422. DOI: 10.1007/978-3-031-44432-6_49

15. Dymchenko M.E., Dakoro M.F., Dadiyan D.G. The problem of form in modern architecture // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. p. 02026. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102026

16. Yazyeva S.B., Mayatskaya I.A., Kashina I.V., Nesterova A.N. The manifestation of fractality in the architecture of buildings and structures // Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. Issue 3. p. 033046. DOI: 10.1088/1757-899X/698/3/033046

REFERENCES

1. Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody [Fractal geometry of nature]. Moscow: Institute of Computer Science. 2002, 656 p. (in Russian)

2. Kronover R.M. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh [Fractals and chaos in dynamic systems]. Moscow: Technosphere. 2006, 488 p. (in Russian)

3. Mandelbrot B. Fraktaly i khaos. Mnozhestvo Mandelbrota i drugie chudesa [Fractals and chaos. Mandelbrot set and other wonders]. Izhevsk: Regular and chaotic dynamics Publishing House. 2009, 392 p. (in Russian)

4. Jenkins S. 100 100 velichayshikh soborov Yevropy [Greatest cathedrals of Europe]. Moscow: KoLibri, Azbuka-Attikus Publishing House, 2023. 352 p. (in Russian)

5. Choisy, O. Istoriya arkhitektury. Ot doistoricheskoy epokhi do XVIII veka [History of architecture. From prehistoric times to the 18th century]. Moscow: AST Publishing House, 2024. 656 p. (in Russian)

6. Gnedich, P. P. Mirovaya arhitektura [World architecture]. Moscow: Publishing house Eksmo-Press. 2012, 240 p. (in Russian)

7. Trube G. Putevoditel po arkhitekturnym formam [Guide to architectural forms]. Moscow: Architecture – C, 2014. 216 p. (in Russian)

8. Shishin M. Yu., Ismail H. D. A. Obosnovaniye fraktal'nogo metoda analiza pamyatnikov arkhitektury [Justification of the fractal method of analysis of

architectural monuments] // Bulletin of the Altai State Technical University named after I. I. Polzunov. 2011. N 1-2. Pp. 27-30. (in Russian)

9. Ismail H. D. A., Shishin M. Yu. Itogi i perspektivy issledovaniya fraktal'nosti islamskoy arkhitektury i iskusstva [Results and Prospects of Research on Fractality in Islamic Architecture and Art] // Bulletin of Altai Science. 2011. N 1. p. 5. (in Russian)

10. Ismail H. D. A. Fraktal'nyy analiz shedevrov islamskoy arkhitektury–mecheti Akhmad Shakha i Tadz-Makhala: obosnovaniye metoda i opyt primeneniya [Fractal Analysis of Islamic Architectural Masterpieces – Ahmad Shah Mosque and Taj Mahal: Method Justification and Application Experience] // Architecture and Modern Information Technologies. 2012. N 4 (21). p. 11. (in Russian)

11. Batty M., Longley P. Fractal Cities: a geometry of form and function. San Diego: Publishing Academic Press, 1994. 394 p.

12. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Kashina I., Gerlein N. Fractal geometry and design of modern structures // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. p. 02018. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102018

13. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Yazyeva S.B. Fractality and urban environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1083. p. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012028

14. Mayatskaya I., Yazyeva S., Gatiev M., Kuznetsov S., Klyuev S., Sabitov L. Application of fractal methods in design of modern structure // Industrial and Civil Construction. 2022. ISCICC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 436. p.p. 414-422. Springer. Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-44432-6_49

15. Dymchenko M.E., Dakoro M.F., Dadiyan D.G. The problem of form in modern architecture // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. p. 02026. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102026

16. Yazyeva S.B., Mayatskaya I.A., Kashina I.V., Nesterova A.N. The manifestation of fractality in the architecture of buildings and structures // Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. N 3. p. 033046. DOI: 10.1088/1757-899X/698/3/033046

FRACTALITY IN THE SHAPING OF ARCHITECTURAL OBJECTS

Mayatskaya I.A.

Don State Technical University;
Rostov-on-Don, Russia,
e-mail: irina.mayatskaya@mail.ru

Abstract. The article examines the structure of structures using the fractal dimension. This makes it possible to understand the possibilities of creating fractal elements of these unique buildings. The methods of determining the fractal dimension for an object, both on a plane and in space, are shown.

Subject: The fractal shapes of architectural structures for finding architectural solutions.

Materials and methods: The application of fractal geometry methods allows for more efficient using of digital technologies in the process of preservation and restoration of architectural heritage sites.

Results: The article focuses on the creation of digital models of famous architectural objects and other unique structures in Europe and Russia. The article discusses methods for calculating the fractal dimension of objects with different types of shaping. An example of a Gothic architecture structure with a high degree of fractality is given. This study provides examples of fractal structures. The main methods of fractal geometry are given, the interrelationships and patterns of fractality of architectural elements of structures are considered. Various methods of calculating the fractal dimension have been investigated. The search for the optimal solution was carried out when determining the fractional dimension by mathematical methods.

Conclusions: Fractal geometry and mathematical methods based on digital technologies help to find unique shapes when modeling the structure of an artificial environment, when creating architectural complexes. The vector of fractality development using fractional dimension is determined. The search for fractal structures in architecture allows you to create unique shapes. And the theory of fractals helps to embody these images in the works of architects.

Key words: architecture, shaping, element, fractal, fractal dimension, digital technologies.