

3. Фадеев А. А. О переходе малоуглеродистой стали в упругопластическое состояние при неравномерном распределении напряжений (при чистом изгибе) / А. А. Фадеев // Исследования прочности элементов строительных металлических конструкций : труды института ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – 1982. – С. 85–91.
4. Campus F. Plastification de l'acier doux en flexion plane simple / F. Campus // Bull. de la classe des Sciences de la Academie R. de Belgique. – 1963. – Serie 5, 49, 4. – С. 303–314.
5. Dehousse N. M. Note relative a un phenomene de superelasticite en flexion constate lors d'essais d'un barreau en acier doux / N. M. Dehousse // Bull. de la Classe des sciences de la Academie R. de Belgique. – 1962. – Serie 5, 48. – С. 329–334.
6. König J. A. The yield criterion in the general case of nonhomogeneous stress and deformation fields / J. A. König, W. Olszak // Topics in Appl. continuum mech. – Wien – New York : Springer-Verlag, 1974. – С. 58–70.
7. Wo Guowei. Influence of stress distribution on yield limit / Wo Guowei, Jing Yangjie // J. Schanghai Jiatong. Univ. – 1984. - № 5. – С. 135–142.
8. Гениев Г. А. О построении инкрементальных условий пластичности / Г. А. Гениев, С. Ю. Калашников // Труды института ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Москва, 1984. – 14 с.
9. Гениев Г. А. Об учете влияния неоднородности напряженного состояния на переход материала в пластическое состояние / Г. А. Гениев, С. Ю. Калашников // Строительная механика и расчет сооружений. – 1988. – № 6. – С. 12–15.
10. Калашников С. Ю. The incremental application for pure bending of a curved bar (Golovin problem) / С. Ю. Калашников, Е. В. Гурова, С. А. Калиновский // E3S Web of Conferences. Vol. 210 (2020) Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020) (Divnomorskoe village, Russian Federation, August 19–30, 2020) / eds.: D. Rudoy, A. Olshevskaya, V. Kankhva. – [Published by EDP Sciences], 2020. – 6 p. – Режим доступа: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/70/e3sconf_itse2020_08017.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. – Doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021008017>.
11. Калашников С. Ю. Практические способы реализации инкрементальных условий пластичности в стержневых элементах строительных конструкций / С. Ю. Калашников, Е. В. Гурова, С. А. Калиновский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 4 (81). – С. 6-14.
12. Гениев Г. А. О построении уравнений плоской задачи инкрементальной теории упругости / Г. А. Гениев, С. Ю. Калашников // Исследования по строительной механике и надежности конструкций : труды института ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – 1986. – С. 4–13.
13. Лехницкий С. Г. Теория упругости анизотропного тела / С. Г. Лехницкий. – Москва – Ленинград : Гостехтеориздат, 1950. – 300 с.
14. Балдин В. А. О сопротивлении стали деформированию при неравномерном распределении напряжений / В. А. Балдин, В. Н. Потапов, А. А. Фадеев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. – № 5. – С. 23–26.
15. Балдин В. А. Об учете пластических деформаций при неравномерном распределении напряжений по сечению / В. А. Балдин // Строительная механика и расчет сооружений. – 1977. – № 1. – С. 29–31.
16. Стрелецкий Н. С. Избранные труды / Н. С. Стрелецкий ; под ред. Е. И. Беленя. – Москва : Стройиздат, 1975. – 432 с.
17. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Москва, Минстрой России, 2017. – 151 с.
18. Зубчанинов В. Г. Механика сплошных деформируемых сред / В. Г. Зубчанинов. – Тверь : Тверской государственный технический университет, 2000. – 704 с.
19. Вольмир А. С. Устойчивость упругих систем / А. С. Вольмир. – Москва : Физматгиз, 1963. – 880 с.
20. Биргер И. А. Некоторые математические методы решения инженерных задач / И. А. Биргер. – Москва : Оборонгиз, 1956. – 496 с.

© С. Ю. Калашников, Е. В. Гурова

Ссылка для цитирования:

Калашников С. Ю., Гурова Е. В. Упругое деформирование брусьев при учете вида напряженного состояния в окрестности рассматриваемой точки // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 5–11.

УДК 721.021

DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-11-17

ФРАКТАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ

О. М. Шенцова

Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Челябинск, Россия

Данная работа направлена на исследования в области применения методов фрактальной геометрии в проектировании архитектурной городской среды. При помощи фрактальной геометрии стало возможным определять способы формообразования архитектурных объектов и их дизайн, выявлять новые характерные особенности. Цель работы – выявить принципы применения фрактальных структур в формообразовании объектов городской архитектурной среды. В ходе этапа исследования были определены сущность понятий «фрактал», «фрактальность», обозначены их свойства и особенности, рассмотрены аналоги использования фрактальной геометрии в композиционных решениях объектов городской архитектурной среды с точки зрения фрактальной регулярности (упорядоченности) и нерегулярности (хаотичности). На основе анализа выявлены особенности, характерные для фрактальных объектов городской архитектурной среды.

Ключевые слова: архитектурная городская среда, фрактальная геометрия, архитектура, организация среды, архитектурное проектирование, фрактал, фрактальность.

FRactal Geometry in Organization of Urban Architectural Environment

O. M. Shentsova

South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia

This work is aimed at research in the field of application of fractal geometry methods in the design of an architectural urban environment. With the help of fractal geometry, it became possible to determine the ways of shaping architectural and design objects, to reveal their new characteristic features. The purpose of the work is to identify the principles of using fractal structures in the shaping of objects in the urban architectural environment. During the research stage, the essence of the concepts "fractal", "fractality" was determined, their



properties and features were indicated, analogues of the use of fractal geometry in compositional solutions of objects of the urban architectural environment were considered from the point of view of fractal regularity (order) and irregularity (randomness). On the basis of the analysis, the features characteristic of fractal objects of the urban architectural environment are revealed.

Keywords: architectural urban environment, fractal geometry, architecture, organization of the environment, architectural design, fractal, fractality.

Введение

С древних времен и в настоящее время в мировой архитектурной среде мы все чаще сталкиваемся с активным использованием геометрии в ее организации. Исторически можно проследить рост геометрической сложности городской архитектурной среды от простых геометрических форм к наиболее сложным.

Но понятие фрактальной геометрии появилось относительно недавно, и все чаще мы сталкиваемся с его применением в градостроительстве, архитектуре и дизайне. Фрактальная геометрия на сегодняшний день имеет актуальное значение и применяется в архитектурно-дизайнерском формировании городской архитектурной среды, компьютерном моделировании объектов градостроительства, архитектуры и дизайна.

При помощи фрактальной геометрии стало возможным определять способы формообразования архитектурных объектов и их дизайн, выявлять новые характерные особенности.

За последнее столетие было сформировано два направления применения рассматриваемой теории.

Первое направление представляют теории таких ученых, как Чарльз Дженкс, И. А. Добрицына, Е. Ю. Витюк, Е. А. Кропанева [1–4]. В данном направлении фрактальная геометрия рассматривается как возможность перехода в градостроительстве, архитектуре и дизайне от статичной структуры к динамичной, развитие города во взаимосвязи порядка и беспорядка, применение синтетического подхода к исследованию структуры градостроительных и архитектурных образований, использование математических методов в проектировании.

Е. Н. Князева и С. П. Курдюмов отмечают в работе, что «красота ... может быть рассмотрена как некий промежуточный феномен между хаосом и порядком ... в современном мире имеются города, такие как Нью-Йорк или крупнейший мегаполис Бразилии Сан-Паулу, которые разрастаются как каменные джунгли чисто хаотически, неорганизованно, спонтанно, но в итоге возникает нечто, излучающее красоту» [5].

В рамках второго направления, которое представляют В. А. Колясников и В. Н. Бабич [6], рассматривается применение фрактальной теории с использованием свойств, принципов и закономерностей формирования фрактальных структур.

Сегодня интерес к фрактальной геометрии среди исследователей [7–11, 13, 16–17] в области градостроительства, архитектуры и ди-

зайна набирает обороты. Классическим моделям проектирования объектов все чаще приходят на смену оригинальные и необычные.

Цель работы – выявить принципы применения фрактальных структур в формообразовании объектов городской архитектурной среды.

Задачи:

- определить сущность и конкретизировать понятия «фрактал», «фрактальность объекта среды»;

- выявить свойства и особенности фрактала;

- рассмотреть аналоги использования фрактальной геометрии в композиционных решениях объектов городской архитектурной среды;

- на основе анализа аналогов обозначить особенности и характеристики фрактальных структур (объектов).

Объект исследования – городская архитектурная среда.

Предмет исследования – особенности формирования фрактальных объектов городской архитектурной среды.

Принципы применения фрактальных структур в формообразовании объектов городской среды

Своими корнями фрактал уходит в живую природу. Изучать его стали в математике такие ученые, как Ж. А. Пункаре (1854–1912), Г. М. Жулиа (1893–1978), Г. Кантор (1845–1918), Ф. Хаусдорф (1868–1942). Сегодня фрактал является предметом изучения физики, биологии, социологии, искусства и других наук, в том числе и дизайна архитектурной среды.

Впервые термин «фрактал» в 1975 году был введен Бенуа Мандельбротом и опубликован в работе «Фрактальные объекты: форма, случай, размерность» (1977 г.). По определению Мандельброта, это «некая цельная структура любой природы, состоящая из частей (субструктур), которые в том или ином смысле подобны целому. Небольшая часть фрактала содержит информацию обо всем фрактале; фрактал может включать в себя повторяющиеся субструктуры бесконечное число раз» [12].

В этой же книге Б. Мандельброт сделал попытку сопоставить архитектурные стили с фрактальной геометрией, где он писал «в контексте архитектуры Мис ван дер Роэ, здание – это отсылка к Евклиду, тогда как здание новейшего периода искусства насыщено фрактальными аспектами» [13]. И этот факт стал первой попыткой связи архитектуры и фрактальной геометрии.

Фрактал в научных энциклопедиях и исследованиях трактуется следующим образом:

«Фрактал (лат. *fractus* – дробленный, сломанный, разбитый) – множество, обладающее свойством самоподобия (объект, в точности или приближенно совпадающий с частью себя самого, то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей)» [14].

«Фрактал – это сложная структура, пространственная форма которой изломана и нерегулярна или регулярна; хаотична или упорядочена и повторяет саму себя в любом масштабе» [6].

«Фракталы – это математические модели сложных структур, пространственные изображения которых представляются в идее сломанных, морщинистых и нечетких форм» [15].

Фракталами называются геометрические объекты: линии, поверхности, пространственные тела, имеющие сильно изрезанную форму и обладающие свойством самоподобия [16].

Подводя итог, *фрактал – это простая или сложная геометрическая форма (плоская или пространственная), состоящая из отдельных частей, которые идентичны самой форме, и имеющая регулярную (упорядоченную) или нерегулярную (хаотичную) структуры. При этом каждая часть дублируется в уменьшенном масштабе* (рис. 1).

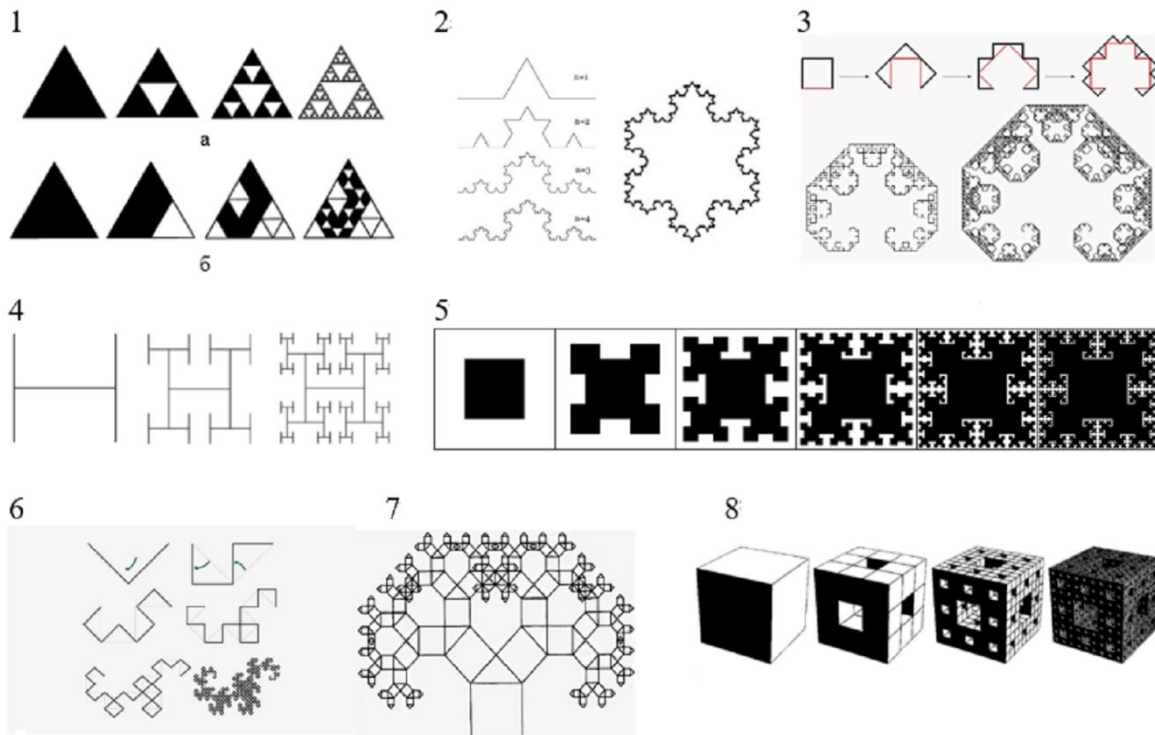


Рис. 1. Пример известных геометрических фракталов:

1 – салфетка Серпинского: а – регулярная структура, б – нерегулярная структура;
2 – кривая (снежинка) Коха; 3 – кривая Леви; 4 – Н-фрактал; 5 – Т-фрактал; 6 – дракон Хартера-Хейтуея

Под *фрактальностью объекта среды* необходимо понимать наличие у него одного из фрактальных свойств, которое выражается либо в динамическом, либо статическом состоянии.

Основными свойствами фрактальных структур в архитектуре, градостроительстве и дизайне являются самоподобие или иерархичность (многослойность), способность к развитию и непрерывному движению (генетичность), дробная размерность, непрерывность, принадлежность одновременно к хаосу и порядку.

Самоподобие означает, что фрактал более или менее единообразно устроен в широком диапазоне масштабов. Например, при увеличении или приближении изображения фрактала просматриваются ранее невидимые элементы, которые повторяют в меньшем масштабе саму фигуру. И этот процесс бесконечен.

Все эти свойства обуславливают широчайшее распространение фрактальных структур как в естественной, так и искусственной городских средах:

1) искусственно созданная, которая в свою очередь делится на сознательную (архитектуру настоящего времени, созданную по принципам фрактальной геометрии), представленную примерами на рисунке 2а, и интуитивную (архитектуру прошлых веков, созданную по принципам фрактальной геометрии), представленную примерами на рисунке 2б. Одним из ярких примеров интуитивной фрактальности могут служить многочисленные архитектоны К. Малевича, которые были созданы задолго до появления понятия фрактальности в архитектуре;

2) естественная городская архитектурная среда. Городская среда во многих своих проявлениях отражает объекты природы, ее принципы построения форм и объемов. Многие же природные структуры (ветвящиеся, спиралеобразные, дробленные) сегодня получили название фракталов. В качестве естественных природных фракталов городской среды можно рассматривать деревья с их ветвистыми кронами и листьями, реки с притоками, облака, звездное небо и

т. д. Говоря об естественности городской архитектурной фрактальности, следует отметить, что речь идет не только об отдельных зданиях, но и о взаимосвязях комбинаций городских зданий и сооружений, улиц, кварталов и других городских пространств, которые сливаются в единый организм, живущий по своим правилам и имеющий свою «душу». Этот процесс нельзя проконтролировать или запрограммировать, но можно выявить тенденции его развития.



а



б

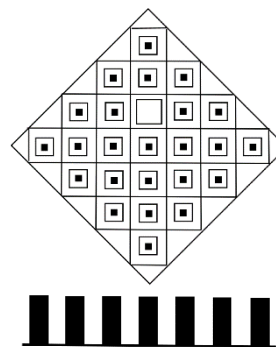
Рис. 2. Примеры сознательной и интуитивной фрактальной городской среды: а – г. Дубаи. ОАЭ, б – храм Лингаранджа в Бхубанешваре. Индия (начало XI в.)

Приведем примеры применения регулярной (рис. 3 а, б) и нерегулярной (рис. 4) фрактальной структуры в градостроительстве городов.

В теории архитектуры направление фрактальной архитектуры зародилось в первом десятилетии XXI века, в результате чего многие архитекторы и дизайнеры стали активно применять это направление в своей деятельности.



а



б

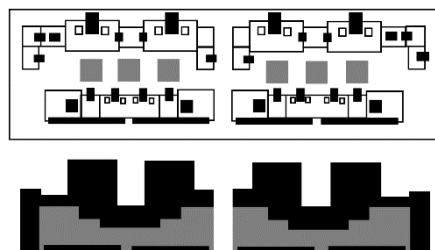


Рис. 3. Примеры регулярной структуры в градостроительстве: а – Район Суходолье г. Тюмень (вид с птичьего полета, схема); б – ЖК «Балтийская жемчужина», р-он Красносельский, г. Санкт-Петербург

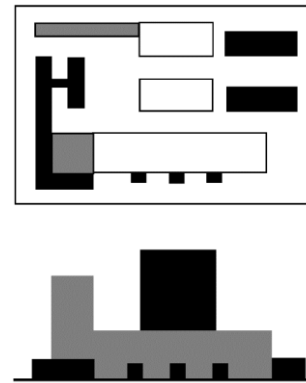


Рис. 4. Примеры нерегулярной структуры в градостроительстве: ЖК «Ярославль-Сити» на Московском пр., г. Ярославль

Отметим, что применение фрактальных структур возможно не только на макро-, но и микроуровне организации архитектурной среды. На макроуровне фрактальные структуры имеют здания и сооружения, улицы и кварталы, районы и городскую среду в целом, которая имеет особенность изменяться в пространстве и во времени. На микроуровне фрактальные структуры можно встретить в интерьерных пространствах их элементов, предметов быта и архитектурной среды.

В век развития информационных технологий также стало возможным применение фрактальной геометрии для анализа и проектирования в

области градостроительства, архитектуры и дизайна (пространств, архитектурных объектов, предметов дизайна) и для их моделирования.

Фрактальный подход в градостроительном анализе направлен на понимание размера, однородности, разнообразия и степени плотности планировочных элементов и считается наиболее эффективным по сравнению с традиционными методами градостроительного анализа (рис. 5) [17].

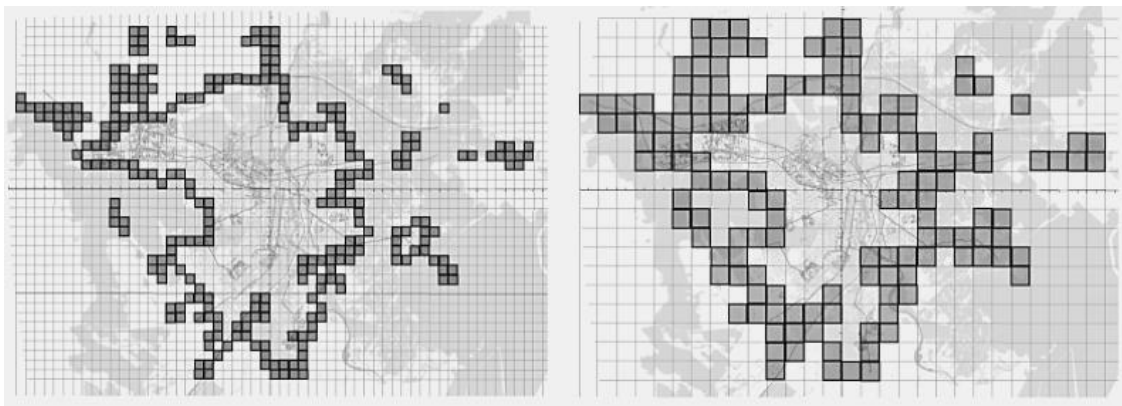


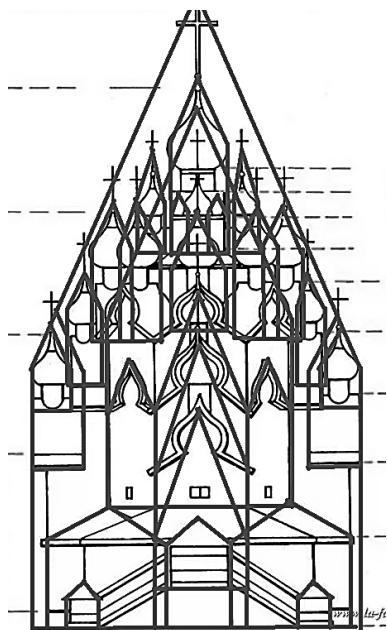
Рис. 5. Карта г. Пензы. Определение размерности методом покрытия (путем подсчета клеток): а – масштаб клетки 1000*1000 м, б – масштаб клетки 500*500 м

Фрактальные черты можно проследить в многоглавии церковных объектов. Примером может служить Преображенская церковь Кижского погоста в Карелии, размеры и расположение куполов которой в общем виде сводятся к простому фрактальному алгоритму варианта «салфетки» Серпинского (рис. 6а). Наиболее простой трехмерной фрактальной моделью является «губка» Менгера, алгоритм которой используется в проектировании большого количества современных архитектурных объектов (рис. 6б).

Из современной архитектуры можно выделить проект медиатеки в г. Сендай японского архитектора Тойо Ито, в основе которого лежит концепция «Дом-ино». Т. Ито, растягивая ее, развивает

фасады как секции, усиливая дифференциацию между этажами (рис. 7а). Разные по высоте этажи отличаются потолками, дизайном пространств (разные цвет, свет, мебель и т. п.). К тому же на двух фасадах с каждым этажом меняется облицовочный материал (прозрачное стекло, матовое стекло и алюминий). В результате, имея отличительные характеристики, этажи и отсеки формируют взаимосвязанную равномерную структуру, демонстрирующую фрактальную систему.

Универмаг «Liverpool», на создание которых архитекторов вдохновили фракталы и муаровый узор, расположен на проспекте Инсурхентес в южной части Мехико (рис. 7б).

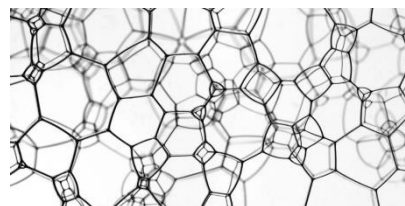
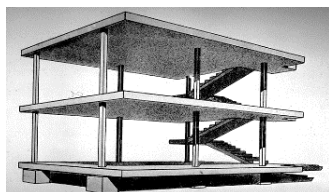


а



б

Рис. 6. Применение фрактальных алгоритмов в архитектурном проектировании:
а – «салфетка» Серпинского; б – «зубка» Менгера



а



б

Рис. 7. Пример современной фрактальной архитектуры:
а – медиатека в г. Сендай, Япония, арх. Т. Ито, 2001 г., б – Универмаг «Liverpool» в Мехико, реконструкция – Мигель Рохкинд, 2014

На основе анализа объектов городской архитектурной среды были выявлены следующие особенности, характерные для фрактальных структур (объектов):

- 1) их объединяет подобие;
- 2) способны развиваться в любых направлениях;
- 3) дают возможность бесконечного варьирования (масштабов, деталей, материалов, форм), не нарушая единства;
- 4) формируя трехмерные конструкции на основе тетраэдров или пирамид, обладают прочными связями;

5) архитектурные объекты, созданные с использованием фрактальной геометрии, более динамичны, подвижны и обладают индивидуальными чертами;

6) допускают поворот, сжатие, нелинейные преобразования исходной формы. При хаотичном построении таких фрактальных объектов в некотором нагромождении преобразований возникают формы, сходные с архитектурой постмодернизма и деконструктивизма.

Заключение

Исследование данной проблемы показало, что использование фрактальных структур в ар-

хитектурном проектировании – это новый механизм проектирования, который способен самостоятельно организовываться и развиваться и который позволяет создавать совершенно новую современную архитектурную городскую среду. Проектирование, основанное на принципах фрактальной геометрии, ведет к появлению совершенно новых архитектурных форм, а также

иному качеству жизни в городской среде. Дальнейшие исследования и эксперименты в этой области имеют большую перспективу, которая позволит разработать методiku архитектурного проектирования, основанную на углубленных фрактальных построениях.

Список литературы

1. Дженкс Ч. Новая парадигма в архитектуре / Ч. Дженкс, пер. с англ. А. Ложкин, С. Ситар // Радизайн. – 2005–2008. – Режим доступа: <http://cih.ru/ae/ad37.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Добрицына И. А. От «решетки» к «фракталу». Влияние идей нелинейной науки на архитектурно-градостроительное мышление / И. А. Добрицына // Градостроительное искусство: новые материалы и исследования / ред. И. А. Бондаренко. – Москва : КомКнига, 2007. – Вып. 1. – С. 464–470.
3. Витюк Е. Ю. Синергетический подход к решению архитектурных задач : автореф. дис. ... канд. архитектуры : / Е. Ю. Витюк. – Екатеринбург, 2009. – 15 с.
4. Кропанева Е. А. Оценка архитектурных качеств среды города на основе фрактальных структур : автореф. дис. ... магист. архитектуры / Е. А. Кропанева. – Екатеринбург, 2009. – 9 с.
5. Князева Е. Н. Синергетика. Нелинейность времени и ландшафты коэволюции / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов. – Москва : КомКнига, 2007. – 272 с.
6. Бабич В. Н. Фрактальные структуры в планировке и застройке города / В. Н. Бабич, В. А. Колясников // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 2. – С. 45–47.
7. Шенцова О. М. Влияние геометрии на формообразование в архитектуре и градостроительстве / О. М. Шенцова // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2017. – Т. 1. – С. 414–426.
8. Шенцова О. М. Геометрия форм и бионика / О. М. Шенцова, Е. К. Казанева. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2018. – 230 с.
9. Шенцова О. М. Принцип комбинаторности в архитектуре / О. М. Шенцова // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2015. – Т. 1. – С. 334–341.
10. Шенцова О. М. Эргономика и предметное наполнение архитектурной среды / О. М. Шенцова, Т. В. Усатая, Т. В. Краснова. – Магнитогорск, 2017. – 147 с.
11. Заславская А. Ю. Особенности формирования архитектурного объекта на основе фрактальных структур / А. Ю. Заславская // Градостроительство и архитектура. – 2011. – Т. 1, № 2. – С. 15–17.
12. Что такое фрактал // СВ-Астур. – Режим доступа: <https://svastour.ru/articles/raznoe/chto-takoe-fraktal.html> (дата обращения 31.08.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Айрапетов А. А. Проблемы применения фрактальной теории в архитектуре / А. А. Айрапетов // Вопросы теории архитектуры. Архитектурно-теоретическая мысль Нового и Новейшего времени : сборник научных трудов / под ред. И. А. Азизян. – Москва : КомКнига, 2006. – С. 305–320.
14. Фрактал // Википедия : свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фрактал> (дата обращения 31.08.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Бабич В. Н., Кремлев А. Г. О фрактальных моделях в архитектуре / В. Н. Бабич, А. Г. Кремлев // Архитектон : известия вузов. – 2010. – № 2 (30). – Режим доступа: http://archvuz.ru/2010_2/2 (дата обращения 31.08.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
16. Короленко П. В. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. Фрактальные и мультифрактальные методы, вейвлет-преобразования : учебное пособие / П. В. Короленко, М. С. Маганова, А. В. Меснянкин. – Москва : Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, 2004. – 82 с.
17. Гущина Е. С. Фрактальная размерность в оценке планировочной структуры крупного города / Е. С. Гущина, В. В. Смогунов // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 2. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2016/02/63202> (дата обращения: 29.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

© О. М. Шенцова

Ссылка для цитирования:

Шенцова О. М. Фрактальная геометрия в организации городской архитектурной среды // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 11–17.