

Поколения фрактальной структуры

Г.М. Кравченко, Л.И. Пуданова

Донской государственной технической университет

Аннотация: Фрактальная геометрия применяется при разработке новых конструкций на основе принципов фрактального формообразования и исследовании поколений фрактальных структур. Поколения структуры характеризуется оптимизацией исходной геометрии в процессе итерирования. Фрактальные структуры старших поколений обладают лучшими показателями надежности. Целью исследования является разработка алгоритма моделирования новых конструкций на основе принципов фрактального формообразования. Развитие фрактальных структур требует создания новых технологий и материалов.

Ключевые слова: фрактальная структура, поколения, фрактальная геометрия, формообразование, саморазвивающиеся структуры, уникальные конструкции, 3D моделирование

Параметрическое моделирование в синтезе с фрактальной геометрией представляет возможность создания и исследования новых уникальных фрактальных структур [1].

Фракталы, обладая сложной саморазвивающейся структурой, являются сложным объектом для повторения человеком, поэтому необходимо использовать специализированные инструменты [2-5].

Целью исследования является разработка алгоритма моделирования новых конструкций на основе принципов фрактального формообразования.

Применение принципов фрактального формообразования к структурным конструкциям является инновационным методом моделирования. Фрактальный подход является эффективным способом анализа различных архитектурных форм [6]. Предлагается рассматривать фракталы как математические абстракции, которые обладают характерными свойствами. Фрактальная геометрия в совокупности с архитектурой имеет невообразимый потенциал, обусловленный безграничностью возможностей.

Парадигма фрактального формообразования заключается в возможности использования стандартной методологии, которая включает

фрактальные элементы, при создании новых уникальных структур, а не заимствование фрактальных идей и бессистемное добавление элементов [7].

Основные принципы и определения фрактальной геометрии необходимо использовать при моделировании строительных конструкций и исследовании поколений фрактальной структуры [8-10].

Адаптация с постоянным весом является простейшим вариантом анализа фрактальных структур при первичном рассмотрении гипотезы фрактального формообразования. Стержневые элементы в большинстве своем однородные, призматической формы. Оптимизационный ресурс таких конструкций практически исчерпан. Усложнение геометрических форм, применение неоднородных эффективных структур приводят к оптимальной геометрии с использованием критерия равнонапряженности.

Для реализации идеи уникального здания нового поколения разрабатываются программные комплексы для моделирования уникальных элементов и конструкций, инновационные строительные материалы, а также новые типы оборудования для создания строительных конструкций из прочных, но легких материалов.

Для моделирования и исследования фрактальной структуры используется специально разработанная авторами программа «Итерации фрактальной структуры». Программа предназначена для конечно-элементного моделирования плоской фрактальной структуры на основе генерации множества точек нового элемента путем итерирования исходного элемента – аксиомы и применима для создания плоских фрактальных структур на основе принципов фрактального формообразования. В качестве аксиомы принимается стержень заданной длины. За правило принимается замена аксиомы группой из нескольких элементов, образующих ромб. В программе предусмотрен ввод исходных данных, таких как базовые точки

для элемента аксиомы и правила, количество итераций. Блок-схема программы представлена на рисунке 1.

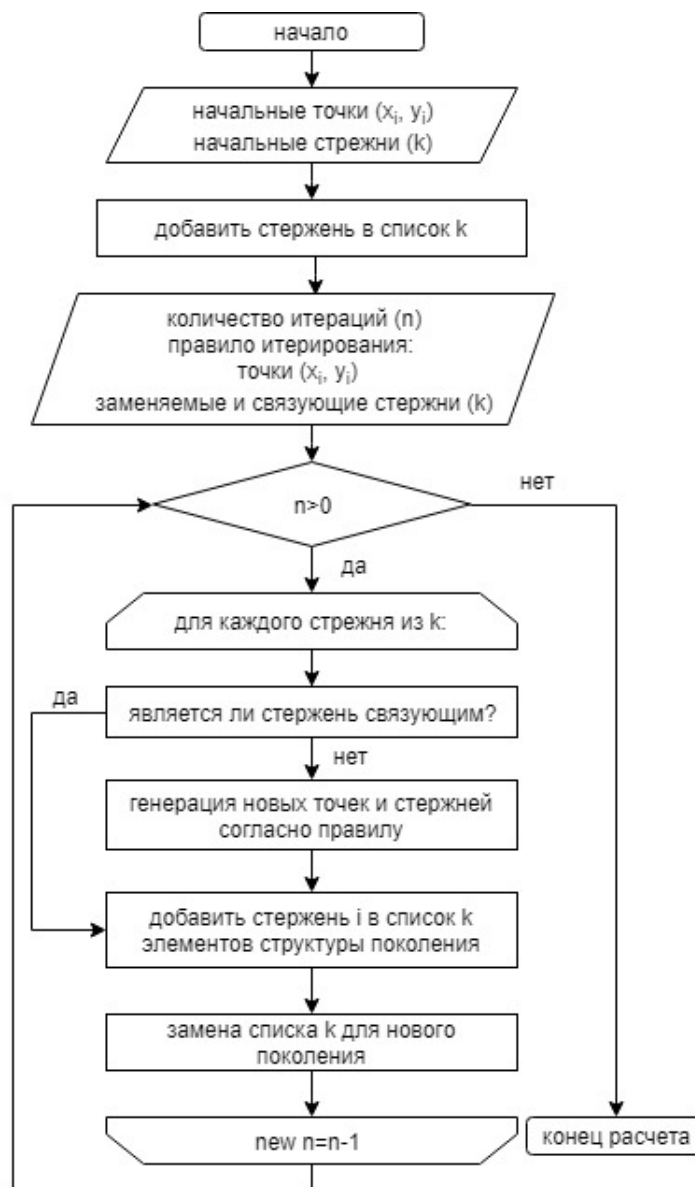


Рис. 1 – Блок-схема программы «Итерации фрактальной структуры»

На каждой итерации результатом вычислений являются координаты точек структуры и набор стержневых конечных элементов, образующих уникальную плоскую фрактальную структуру.

Поколения плоской фрактальной структуры являются объектом исследования. За нулевое поколение принимается шарнирно опертая балка

фиксированной длины, нагруженная распределенной нагрузкой. При анализе фрактального формообразования все поколения структуры обладают одинаковым весом, сечение элементов структур изменяется в зависимости от поколения и общей длины элементов конструкции. В качестве материала для структур всех поколений принята сталь обыкновенная.

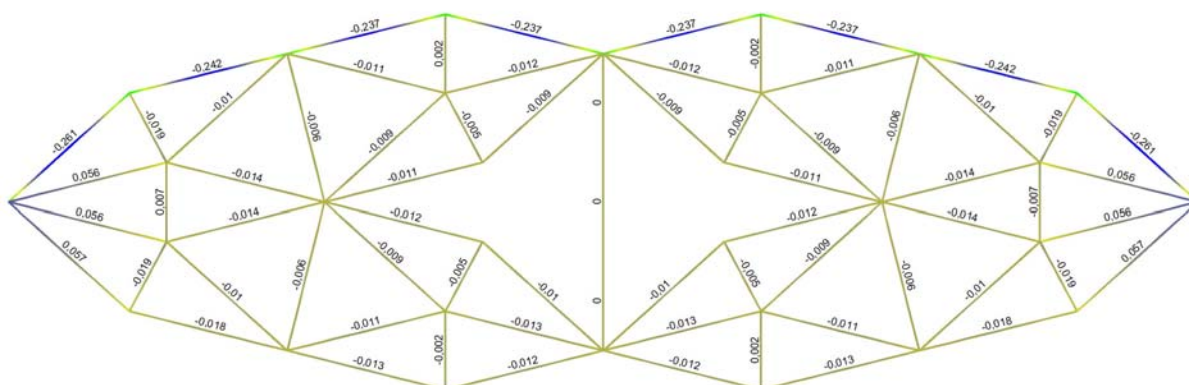
Структура первого поколения представляет собой правило, применяемое для формирования фрактальной конструкции. Балка фиксированной длины заменяется на структуру, состоящую из четырех элементов, образующих ромб. При применении подобного правила конструкции следующих поколений могут оказаться неустойчивыми, поэтому принято решение добавить в правило связующий стержень в середине пролета. Связующий стержень на последующих итерациях не заменяется, т.е. не участвует в итерационном процессе, что обеспечивает жесткость и устойчивость фрактальной структуры (рис. 2).



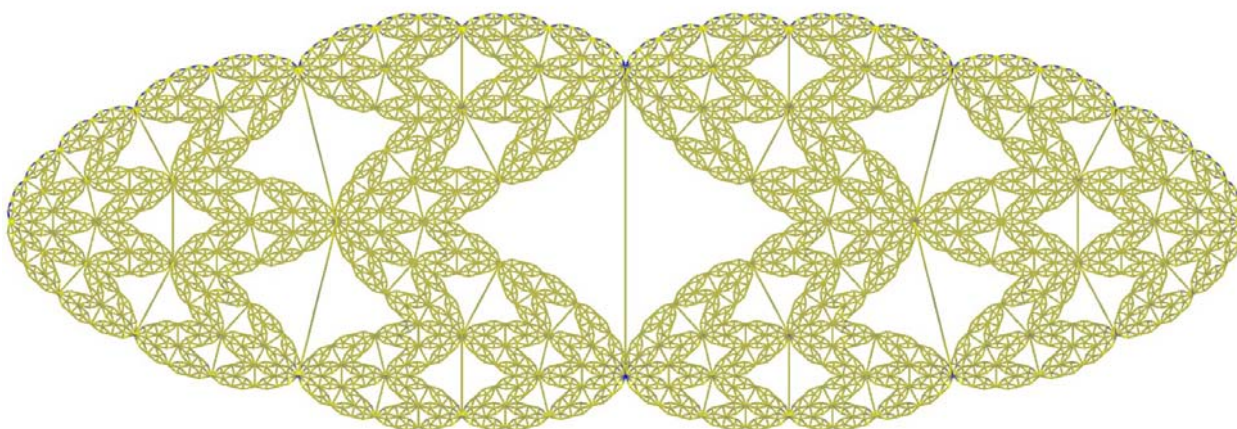
Рис. 2 – Аксиома и правило формирования фрактальной структуры

Конструкция второго поколения в полной мере не отображает преимущества фрактального формообразования. На данной стадии конструкция больше напоминает ферму, нежели уникальную фрактальную структуру. Дальнейшее итерирование способствует созданию фрактальной конструкции нового рода. На рисунке 3 представлены усилия, возникающие в фрактальных структурах разных поколений от собственного веса и распределенной нагрузки по верхнему поясу, близкой к предельной для исходной балки.

а)



б)



Усилия M_x (кН*м)

-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	3,448e-004	0,001
-0,002	-0,002	-0,001	-4,189e-004	0,001	0,001
-0,002	-0,001	-4,189e-004	-2,279e-004	0,001	0,001
-0,001	-0,001	-2,279e-004	-3,702e-005	0,001	0,001
-0,001	-0,001	-3,702e-005	1,539e-004		
-0,001	-0,001	1,539e-004	3,448e-004		

Рис. 3 – Усилия M_x , возникающие в фрактальных структурах: а) третье поколение; б) седьмое поколение

При рассмотрении поколений фрактальной структуры подразумевается, что при большем порядке итерирования структура за счет большего количества самоподобных элементов становится устойчивее. В таблице 1 сведены результаты максимальных усилий и вертикальных перемещений поколений фрактальной структуры.

Таблица №1

Результаты исследования фрактальных структур разных поколений

Поколения	Max z, [мм]	Поколения	Max My, [кН/м]	Поколения	Max Qz, [кН]
0	163,5648	0	18,7200	0	6,2400
1	17,4859	1	3,9787	1	3,4779
2	3,4739	2	0,9592	2	1,7164
3	0,2122	3	0,2472	3	0,8688
4	0,2607	4	0,0646	4	0,4434
5	0,3272	5	0,0172	5	0,2282
6	0,4181	6	0,0051	6	0,1212
7	0,5423	7	0,0021	7	0,0776

Несмотря на то, что конструкции старшего поколения являются ажурными и тонкими, они способны нести значительную нагрузку, во много раз превышая возможности исходной балки. Полученная самоподобная структура высокого поколения состоит из тонких элементов, и, следовательно, требует применения уникальных тонких прочных материалов.

Конструкцию на основе сложной фрактальной структуры практически невозможно создать с применением классических методологий и материалов, таких как бетон или сталь.

Для реализации конструкций, разработанных по принципам фрактального формообразования, необходима технология 3D печати. Современная технология 3D печати позволяет реализовать любые идеи проектировщика и воплотить в жизнь проекты любой степени сложности и детализации. Предлагаются креативные роботизированные производственные решения для искусства и промышленности (рис. 4).



Рис. 4 – Малогабаритный промышленный робот, разработанный компанией MX3D

Такие принтеры создают реальные объекты на основе компьютерной объемной модели, используя специализированные методологии. В настоящее время генетические алгоритмы применяются для решения задач оптимизации конструкций. Прежде всего, это параметрический синтез, в результате которого реализуется минимизация массы деформируемых объектов.

Следовательно, необходимо разработать инновационные материалы, применяемые в синтезе с современными технологиями, для создания конструкций нового поколения фрактальных структур.

Литература

1. Jencks Ch. The New Paradigm in Architecture, (seventh edition of The Language of Post-Modern Architecture), Yale University Press, London, New Haven, 2002. 288 p.
2. Mandelbrot, B.B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: 1982. 462 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. Pp. 25-27.
4. Волошин А.В. Об эстетике фракталов и фрактальности искусства. В кн.: Синергетическая парадигма. Прогресс-Традиция, 2002. 495 с.
5. Н.-О. Peitgen, Р. Н. Richter. The beauty of fractals. Springer-Verlag: Heidelberg, 1986. 184 p.
6. Kravchenko G.M., Pudanova L.I. The fractal Mandelbrot set and the shaping of the 3D fractal // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5374
7. 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
8. Кравченко Г.М., Васильев С.Э., Пуданова Л.И., Моделирование фракталов // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3930
9. Shanshan J., Jinxi Z., Baoshan H. Fractal analysis of effect of air void on freeze–thaw resistance of concrete. Construction and Building Materials. 2013. No.47. Pp. 126–130.
10. D. Rayneau-Kirkhope, Y. Mao, and R. Farr, Ultralight fractal structures from hollow tubes Phys. Rev. Lett. 109, 204301 (2012); Optimization of fractal space frames under gentle compressive load, Phys. Rev. E 87, 063204 (2013). Pp. 2-10.

References

1. Jencks Ch. The New Paradigm in Architecture, (seventh edition of The Language of Post-Modern Architecture), Yale University Press, London, New Haven, 2002. 288 p.
-

2. Mandelbrot, B.B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: 1982. 462 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. Pp. 25-27.
4. Voloshin A.V. Ob estetike fraktalov i fraktal'nosti iskusstva [About the aesthetics of fractals and fractal art]. Progress-Traditsiya, 2002. 495p.
5. H.-O. Peitgen, P. H. Richter. The beauty of fractals. Springer-Verlag: Heidelberg, 1986. 184 p.
6. Kravchenko G.M., Pudanova L.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5374
7. Kravchenko G.M., Vasil'ev S.E., Pudanova L.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4450
8. Kravchenko G.M., Vasil'ev S.E., Pudanova L.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3930
9. Shanshan J., Jinxi Z., Baoshan H. Fractal analysis of effect of air void on freeze–thaw resistance of concrete. Construction and Building Materials. 2013. No.47. Pp. 126–130.
10. D. Rayneau-Kirkhope, Y. Mao, and R. Farr, Ultralight fractal structures from hollow tubes Phys. Rev. Lett. 109, 204301 (2012); Optimization of fractal space frames under gentle compressive load, Phys. Rev. E 87, 063204 (2013). Pp. 2-10.