

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ФРАКТАЛЬНОГО МЕТОДА В АНАЛИЗЕ ШЕДЕВРА ИСЛАМСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ – МЕЧЕТИ АХМАД ШАХА

Исмаил Халед Д. Альдин,
кандидат архитектуры,
доцент кафедры архитектуры,
Инженерный колледж, Мосульский университет.
Ирак, г. Мосул.
Khalid_jammal@yahoo.com

Шишин Михаил Юрьевич,
искусствовед, академик РАХ, доктор
философских наук, профессор,
заведующий международной кафедрой
ЮНЕСКО Алтайского государственного
технического университета.
Россия, г. Барнаул.
shishinm@gmail.com

Аннотация

В статье обосновывается авторский подход фрактального анализа памятников архитектуры на основе ячестого вычисления размерности (the box counting dimension method, DB). Он охватывает основные пространственные и художественные характеристики (плана, фасада и разреза) и верифицируется на основе поиска фрактальных согласований в памятнике исламской архитектуры – мечети Ахмад Шаха в Стамбуле. Доказывается прямая зависимость высокой степени фрактальности памятника и его художественных и эстетических характеристик. Впервые осуществляется исследование известного памятника исламской архитектуры. Работа призвана внести вклад в теорию анализа архитектурных объектов, результаты ее могут быть в методологическом плане использованы в практике проектирования, в первую очередь в храмовых сооружениях.

Ключевые слова: фрактальность, фрактальная архитектура, фрактальная размерность, фрактальный анализ, мечеть Ахмад Шаха в Стамбуле.

Библиографическое описание для цитирования:

Исмаил Х.Д.А., Шишин М.Ю. Применение многоступенчатого фрактального метода в анализе шедевра исламской архитектуры – мечети Ахмад Шаха // Искусство Евразии. – 2018. – №3(10). – С. 37-47. DOI: 10.25712/ASTU.2518-7767.2018.03.003. [Электронный ресурс] URL: <https://readymag.com/u50070366/1135734/10/>

Объектом нашего исследования являются памятники исламской архитектуры, которые наиболее полно отразили архитектурные, художественные, эстетико-религиозные и научные достижения. Культовые здания и сооружения выступают в роли идеала, на который ориентируется архитектурная мысль. Среди них есть и такие, которые стали частью всемирного культурного наследия, и мечеть Ахмад Шаха в Стамбуле по праву относится к ним [4]. Мечеть Ахмад Шаха (Голубая мечеть) построена в Стамбуле в 1609–1616 годах. Она стала символом исламской архитектуры (рис. 1, 2, 3).



Рис. 1. Мечеть Ахмад Шаха, Стамбул, Турция. Источник:

https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Sultan_Ahmed_Mosque_Istanbul_Turkey_retouched.jpg

Рис. 2. Мечеть Ахмад Шаха, Стамбул, Турция. Вид сверху. Источник: http://3.bp.blogspot.com/-NRy8y6eVf08/UWfyxLG1RI/AAAAAAAAAX4/xC0kzFFD_U4/w1200-h630-p-k-no-nu/sultan_abmet_mosque1.jpg

Рис. 3. План мечети Ахмад Шаха, Стамбул, Турция. Источник: http://stevewatson.info/travel/Turkey/Week_1/diary.htm

Такие значительные культовые здания изучаются многими исследователями, и можно разделить все уже опубликованные работы по нескольким типологическим признакам. Некоторые ученые выбирают исторический подход в изучении памятника, когда объект раскрывается с точки зрения условий его возведения, описываются основные архитектурные элементы, жизнь и творчество архитектора, построившего этот памятник [4]. Есть функциональный подход, когда храм рассматривают, отталкиваясь от его основной функции – места для собрания людей, молитв и т.д. При этом подчеркивается связь здания с ритуалом [3]. В последнее время начинает активно применяться подход, опирающийся на геометрию, и, в частности, ведутся исследования по выявлению в мировой храмовой архитектуре «золотой пропорции», что приводит к замечательным результатам [7; 8].

В русле геометрических исследований все активнее начинают применяться подходы, основанные на фрактальной геометрии. В российском искусствоведении уже накапливается значительный опыт по данной проблематике или сопряженным вопросам, сошлемся здесь лишь на такие работы: «Математика и искусство» В.А. Волошинова [2], «Загадки древнерусского чертежа» А.А. Тица [11], «Золотая пропорция и человек» В.И. Коробко и Г.Н. Коробко [8], «Золотое сечение: три взгляда на природу гармонии» И.Ш. Шевелева [12].

Высокий уровень пропорциональности, ритмической организованности, использование принципов золотого сечения, свойств квадрата, модульной сетки и симметрии и т.д. присущи исламской архитектуре и выбранному нами для анализа памятнику. Это легко обнаруживается визуально, как и красота и выразительность здания. Возникает ощущение высокой согласованности всех частей, что будет подтверждено ниже с помощью теории фрактальной геометрии. Одновременно постараемся обосновать авторский подход к анализу подобного рода архитектурных объектов и зависимость высокой художественной выразительности от степени фрактального согласования различных частей здания. Работа по доказательству высоких художественно-эстетических характеристик храмовых сооружений уже ведется. Отмечается, что колонны, арки, ниши, организованные с переменной последовательностью в архитектуре, являются наглядным применением лучевых структур и примером широкого применения метрических моделей [8].

В отношении применения законов фрактальной геометрии в архитектуре можно выделить два этапа. Доказано, что многие памятники архитектуры, например, готического стиля в Европе, имеют высокий уровень фрактальности. Это говорит о том, что принципы фракталоподобного формообразования в архитектуре применяются с давних времен, хотя и не всегда они были математически выверенными. Здесь сказывался талант, опыт и интуиция архитектора. После появления работы Б. Мандельброта «Фрактальная геометрия природы» [9, с. 16-24; с. 46-89] использование фрактальных алгоритмов в архитектурном морфогенезе становится осознанным. Стало возможным применение фрактальной геометрии и для анализа архитектурных форм (моделирования таких структур). Для разных типов архитектурных сооружений можно найти фрактальный аналог, двумерный или трехмерный, и тем самым выявить их фрактальный алгоритм [1]. Мечеть Ахмад Шаха, конечно же, является примером интуитивного использования фракталоподобия в архитектуре и достижений в математике в арабской культуре.

В работах Н.А. Салингароса [15] исследуется применение «золотой пропорции», которая проявляется в исторических сооружениях и приводит к высокой художественной выразительности памятников, но, кроме того, показывается широкое проявление этой пропорции в природных объектах. Единые пропорциональные отношения способствуют созданию гармоничного синтеза архитектурного объекта и окружающего пространства.

Мечеть Ахмад Шаха можно рассматривать как причудливый фрактальный объект с широким применением «золотого сечения», определяемый по меньшей мере восемью членами этого пропорционального ряда. Аккорды золотых пропорций и других фрактальных соотношений создают архитектурную симфонию этого храма. Визуальная интерпретация «угла золотого сечения» дает фрактальный алгоритм, проявляющийся в живой природе, а также в орнаментах и архитектуре. Расположение и размеры куполов данного храма, минаретов, основных объемов, условно показанные в одной плоскости плана с осевой симметрией, в самом общем виде сводятся к простому фрактальному алгоритму варианта «салфетки» [5, с. 77].

Продолжая и расширяя данное исследование, проведем фрактальный анализ мечети Ахмад Шаха в Турции методом, основанным на фрактальной теории. Целью нашего

анализа является определение уровня фрактальности в плане, фасаде и разрезе мечети Ахмад Шаха, а также их фрактальная согласованность.

Свой метод мы основываем на исследованиях В. Лоренса (Lorenz W.E.) [14] и К. Бовилла (Bovill C.) [13], которые предложили для измерения фрактальности в архитектурных формах зданий метод ячеистого вычисления размера (the box counting dimension method, DB). С помощью этого метода определяется фрактальная размерность сложного изображения, которое не способны описать другие традиционные методы. Он основан на том, что визуально фрактальная размерность выражает степень «шероховатости-изрезанности» структуры, что обозначает степень сложности объекта [13; 14].

Основная процедура метода ячеистого вычисления заключается в последовательном наложении сетки (состоящей из ячеек) путем уменьшения масштаба и подсчета количества ячеек, содержащих изображение, при каждом изменении масштаба. На рисунке 4 приведен пример: подсчитываются только те ячейки, которые содержат изображение, важные детали находятся в белом пикселе, а неважные в черном фоне [16].

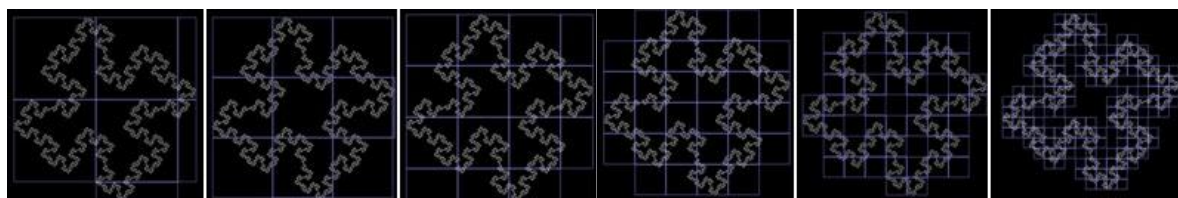


Рис. 4. Процедура метода ячеистого вычисления.

На рисунке 5 можно заметить, как при каждом изменении размера ячейки сетки деталь изображения, отобранная любой ячейкой, изменяется; соответственно подсчитывается количество таких ячеек [16].

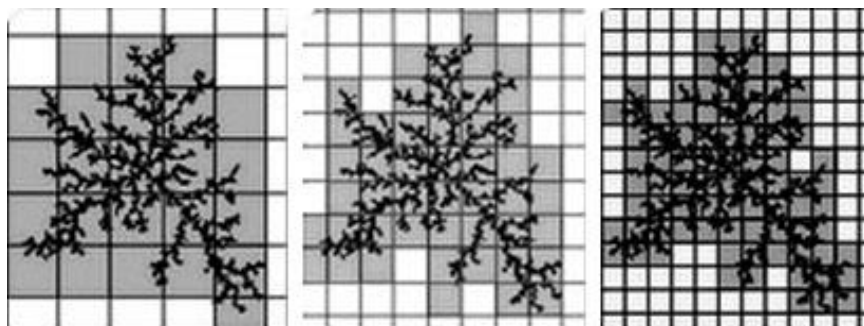


Рис. 5. Влияние изменения размера ячейки на количество выбранных деталей.

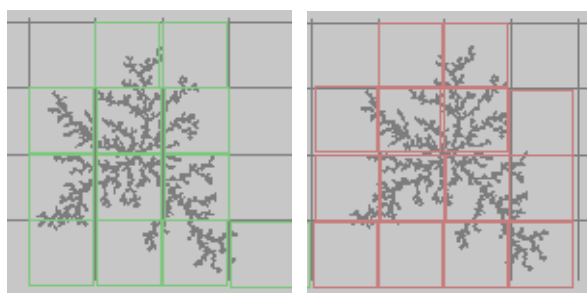


Рис. 6. Влияние расположения сетки на расчет количества ячеек (деталей).

Немаловажно и то, как расположена сетка на изображении при использовании метода ячеистого вычисления, так как это может повлиять на фактическое количество ячеек, содержащих изображение и необходимых для покрытия всех его деталей. На рисунке 6 для покрытия изображения необходимо 12 зеленых ячеек, а справа – 14 ячеек, так как сетки расположены в разных местах [3, с. 332].

Метод ячеистого вычисления размера позволяет работать как с самоподобными, так и с несамоподобными структурами, выявляя степень фрактальности объекта, что доказывает точность и универсальность этого метода.

Для вычисления степени фрактальности мы применяем программу FracLac [6; 16]. Данная программа специально разработана для определения фрактальности как архитектурных, так и природных объектов. Метод ячеистого вычисления, реализованный в программном комплексе FracLac, используется для расчета количества необходимых ячеек, покрывающих изображение, содержащее детали, затем рассчитывается фрактальная размерность. Операционно это выглядит следующим образом. Берется план, разрез или другой элемент архитектурного объекта, на него накладывается сетка определенного размера (S1), и рассчитывается количество ячеек, включающих части изображения (N1); затем размер сетки уменьшаем (S2) и снова рассчитываем количество ячеек (N2). Фрактальная размерность между двумя масштабами рассчитывается путем вычитания $\log N1$ из $\log N2$, и затем осуществляется деление на разницу между $\log S1$ и $\log S2$. Этот расчет можно выразить математическим уравнением:

$$DB(1-2) = [\log N(s2) - \log N(s1)] / [\log 1/s2 - \log 1/s1] \text{ или } DB(1-2) = [\log N(s2) / N(s1)] / [\log s1 / s2],$$

где S – размер сетки, N – количество ячеек, покрывающих детали изображения [14].

Проведем сравнительный фрактальный анализ ключевых элементов мечети Ахмад Шаха в различных масштабных размерностях. Применение указанного метода вычисления фрактальных характеристик фасада, плана и разреза дает результаты, которые мы для удобства представления сведем в таблицы. Стоит отметить, новизна данного подхода заключается в том, что анализ является многоступенчатым: последовательно рассчитывается фрактальность плана, разреза и т.д., и затем через специальную операцию проводится сравнение на всех уровнях определения фрактальности.

Первый этап анализа заключается в определении фрактальной размерности в объекте (план, фасад и т.д.). Критерии уровня фрактальности уже достаточно обоснованы в теории фрактальности:

– высокая степень фрактальности в объекте – если общая фрактальная размерность объекта $1 < DF < 2$;

– низкая степень фрактальности в объекте – если общая фрактальная размерность $DF \approx 1$ или ≈ 2 .

На втором этапе проводится расчет согласованности полученных данных уровня фрактальности каждого масштаба конкретного элемента. Постараемся обосновать этот методологический прием еще с одной позиции. Полученные данные фрактальности каждого масштаба конкретного элемента (повторим еще раз – план,

фасад и т.д.) могут быть рассмотрены на предмет их согласованности. Можно выделить два варианта согласованности этих данных:

– в первом случае график согласования данных разномасштабного анализа будет представлять прямую или плавную линию. Это значит, что уровень согласованности в данном случае высокий;

– если график будет представлять ломаную линию, это означает, что уровень согласования снижается.

Подобного рода исследование оправдано тем, что, во-первых, можно глубже проанализировать уровень фрактальности выбранного элемента. Во-вторых, поскольку в дальнейшем мы ставим целью найти уровень согласования различных элементов комплекса – согласование фасада и плана и т.д., то для этого мы должны быть уверены, что данные по фрактальности различных элементов будут иметь один и тот же характер (уровень) согласования. Мы бы хотели усилить этот тезис и определить этот этап фрактального анализа архитектурного памятника в качестве ключевого. Другими словами, переход к согласованному анализу различных элементов архитектурного комплекса может идти через данную процедуру.

Согласованность фрактальной размерности объекта рассчитывается при помощи статистической функции «СТАНДОТКЛОН». Эта функция хорошо себя оправдала в программном продукте MS Excel. Напомним, что она определяет, насколько различные данные отклоняются от их среднего уровня. Функция СТАНДОТКЛОН вычисляется по следующей формуле:

$$\text{СТАНДОТКЛОН}(x,y) = \sqrt{\sum(x-x)^2/n},$$

где x – выборочное среднее значение (число 1, число 2), а n – размер выборки [10].

И, наконец, на третьем этапе анализа будет произведено согласование данных разномасштабного фрактального анализа между различными элементами.

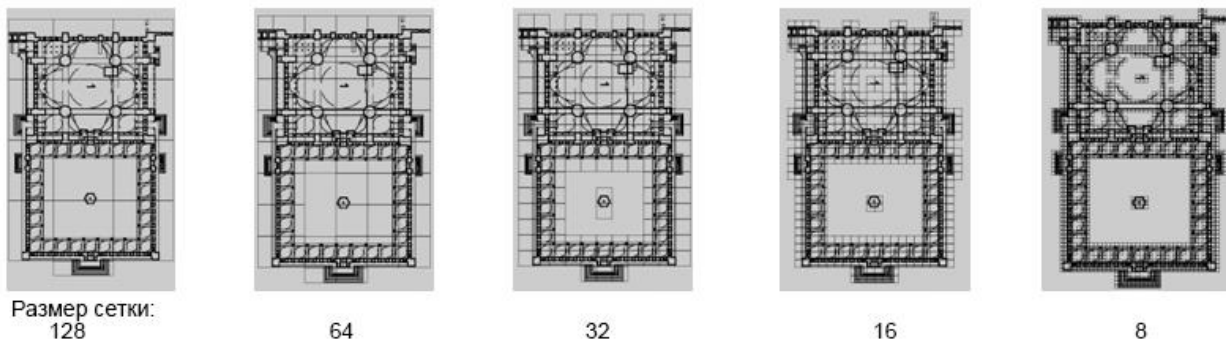
Для более объективного анализа согласованности (подобности) двух графиков уровней фрактальности может быть эффективно применена программа MS Excel через функцию «КОРРЕЛ». Данная функция показывает уровень корреляции между графиками различных массивов данных. Уравнение для коэффициента корреляции имеет следующий вид:

$$\text{КОРРЕЛ}(x,y) = \sum(x-x)(y-y) / \sqrt{\sum(x-x)^2 \sum(y-y)^2},$$

где x и y – средние значения выборок СРЗНАЧ (массив 1) и СРЗНАЧ (массив 2) [10].

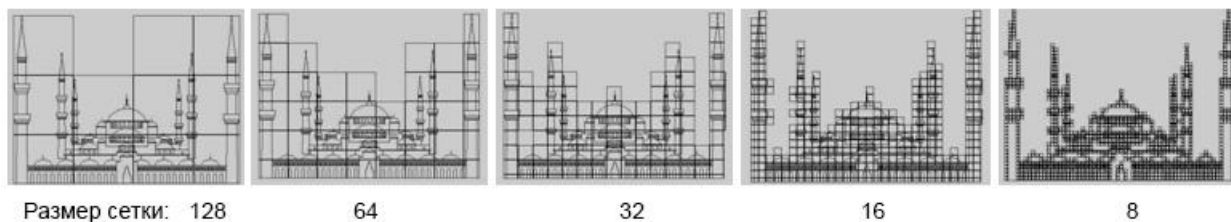
Проведем теперь расчет фрактальной размерности плана, фасада и разреза мечети Ахмад Шаха в Турции и представим это в табличной форме и в виде графиков (таблицы 1, 2, 3). Рассмотрим результаты согласованности полученных данных фрактальности каждого масштаба плана и фасада мечети Ахмад Шаха в таблице 4 и диаграмме. Результаты согласования архитектурных характеристик между планом и фасадом мечети Ахмад Шаха рассматриваются в таблице 5.

Таблица 1. Вычисления фрактальной размерности плана мечети Ахмад Шаха



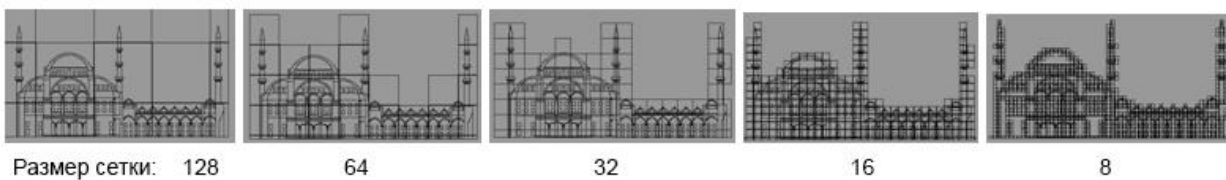
	Расчет фрактальной размерности между:		Фрактальная размерность
	большой размер сетки	маленький размер сетки	
1	256	128	1.885
2	128	64	1.700
3	64	32	1.729
4	32	16	1.662
Общая фрактальная размерность орнамента			1.74

Таблица 2. Вычисления фрактальной размерности фасада мечети Ахмад Шаха



	Расчет фрактальной размерности между:		Фрактальная размерность
	большой размер сетки	маленький размер сетки	
1	256	128	1.789
2	128	64	1.671
3	64	32	1.557
4	32	16	1.531
Общая фрактальная размерность орнамента			1.64

Таблица 3. Вычисления фрактальной размерности разреза мечети Ахмад Шаха



	Расчет фрактальной размерности между:		Фрактальная размерность
	большой размер сетки	маленький размер сетки	
1	256	128	1.893
2	128	64	1.639
3	64	32	1.753
4	32	16	1.666
Общая фрактальная размерность орнамента			1.74

Таблица 4 и диаграмма. Согласованность полученных данных фрактальности каждого масштаба плана, фасада и разреза мечети Ахмад Шаха

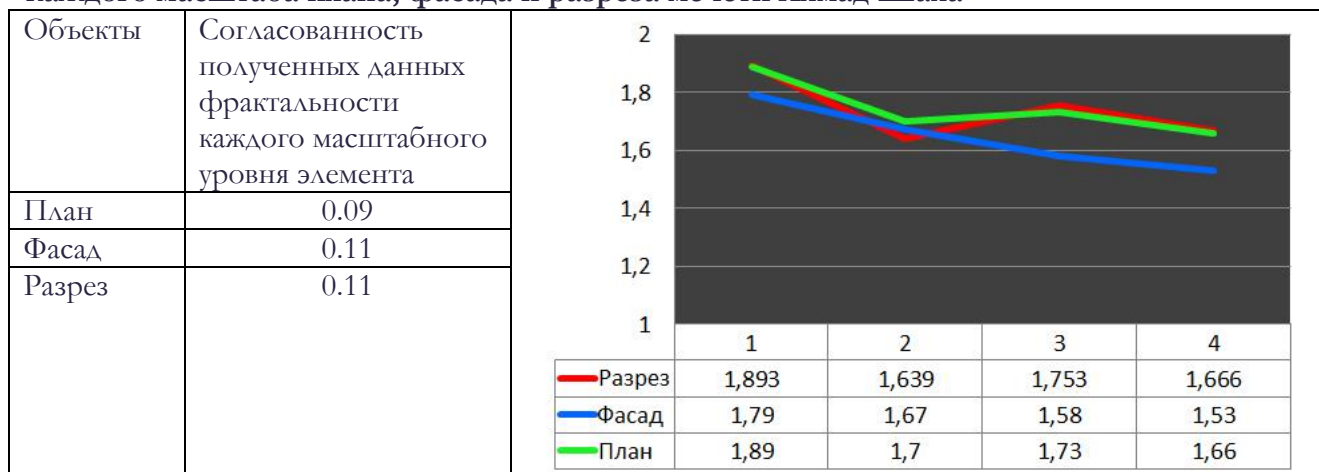


Таблица 5. Согласование архитектурных характеристик между объектами мечети Ахмад Шаха

Объекты мечети Ахмад Шаха	Согласования данных разномасштабного фрактального анализа между различными элементами	Оценка
Между планом и фасадом	0.88	высокая
Между планом и разрезом	0.95	высокая
Между фасадом и разрезом	0.69	высокая

Заключение

Проведенный анализ показывает, что именно предложенный многоступенчатый фрактальный анализ памятника архитектуры приводит к важным результатам и дает возможность глубже понять особенности того или иного сооружения. С опорой на него по сути дела впервые проведен фрактальный анализ одного из шедевров исламской архитектуры – мечети Ахмад Шаха, позволяющий сделать следующие выводы:

Исследовано, что исламская архитектура и фрактальная геометрия неразделимы. Учитывая высокую художественную выразительность этих элементов памятника исламской архитектуры и высокий уровень фрактальности, можно сделать вывод, что они между собой связаны, так как фрактальная размерность плана, фасада и разреза мечети Ахмад Шаха считается высокой ($1 < DF < 2$) и находится в соответствии с фрактальными характеристиками, как видно из таблиц 1, 2, 3.

Получено, что согласованность данных фрактальности каждого масштаба плана, фасада и разреза считается высокой (близка к нулю, как видно в таблице 4 и диаграмме). Художественная выразительность мечети объясняется, в том числе, высокой фрактальной согласованностью – самоподобность элементов здания поддерживается и согласованностью метрической размерности.

Найдено, что архитектурные характеристики плана согласуются с архитектурными характеристиками фасада объекта и также согласуются с архитектурными характеристиками разреза данного объекта, так как согласованность данных разномасштабного фрактального анализа между планом, фасадом и разрезом комплекса Ахмад Шаха считается высокой (близка к одному), как видно в таблице 5.

Другими словами, данный подход фрактального анализа раскрывает высокую согласованность между различными пространственными характеристиками комплекса Ахмад Шаха. С повышением фрактальной согласованности возрастает и эстетическое значение объекта, и одновременно подтверждается, что зодчие обладали высоким профессионализмом и высокой художественной интуицией.

Литература

1. Бабич В.Н., Кремлев А.Г. О фрактальных моделях в архитектуре // Архитектон: известия вузов. – 2010. – № 30. [Электронный ресурс] URL: http://archvuz.ru/numbers/2010_2/07 (дата обращения 16.04.2018).
2. Волошинов А.В. Математика и искусство. – М.: Просвещение, 2000.
3. Всемирная история архитектуры в 12 томах / под ред. Н. В. Баранова. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. – Т.8.
4. Ибрагимов И.А. Формирование архитектуры христианства и ислама как выражение понятия системы координат в визуально-ориентационно-смысловом пространстве // Архитектон. – 2008. – №23. [Электронный ресурс] URL: http://archvuz.ru/numbers/2009_2/ta7 (дата обращения 16.04.2018).
5. Исаева В.В., Касьянов Н.В. Фрактальность природных и архитектурных форм // Культура: вестник ДВО РАН. – 2006. – № 5.
6. Исмаил Х.Д.А., Шишин М.Ю. Обоснование фрактального метода анализа памятников архитектуры // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – 2011. – № 1-2. – С. 27-30.
7. Коробко В.И. Золотая пропорция и проблемы гармонии систем. – М.: Издательство АСВ, 1998.
8. Коробко В.И., Коробко Г.Н. Золотая пропорция и человек. – М.: Издательство АСВ, 2002.
9. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М., 2002.
10. Описание математических функций в Microsoft Excel. [Электронный ресурс] URL: <http://office.microsoft.com/ru-ru/excel-help/HP010342332.aspx?CTT=5&origin=HP010342920> (дата обращения 16.04.2018).
11. Тиц А.А. Загадки древнерусского чертежа. – М.: Стройиздат, 1978.
12. Шевелев И.Ш., Марутаев М.А., Шмелев И.П. Золотое сечение: три взгляда на природу гармонии. – М.: Сройиздат, 1990.
13. Bovill C. Fractal geometry in architecture and design. – Bosten: Birkhäuser, 1996, 73-92 p.
14. Lorenz W. E. Fractal and fractal architecture // Department of computer aided planning and architecture: site Vienna University of Technology. – Vienna, 2003. [Электронный ресурс] URL: www.fractalarchitect.com (дата обращения 12.01.2017).
15. Salingaros N.A., Michael A., Mehaffy W. Architecture, patterns and mathematics // A theory of architecture. Ch. 6. – Solingen: Umbau-Verlag, 2006.
16. Karperien A., Sturt C. The FracLac [Electronic resource] // School of Community Health, Faculty of Science: electron site. Australia, 2007. [Электронный ресурс] URL: <http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/fractalac/FLHelp/TheoryStartUpScreen.htm> (16.04.2018).

Статья поступила в редакцию: 28.07.2018 г.

DOI 10.25712/ASTU.2518-7767.2018.03.003

APPLICATION OF A MULTI-STAGE FRACTAL METHOD IN ANALYSIS MASTERPIECES OF ISLAMIC ARCHITECTURE – AHMAD SHAH MOSQUE

Ismail Khalid D. Aldeen
Ph.D., Lecturer,
College of engineering – department of
architecture, University of Mosul,
Iraq, Mosul.
Khalid_jammal@yahoo.com

Mikhail Yurievich Shishin
Art historian, Academician of the Russian
Academy of Arts, Doctor of Philosophy,
Professor, Head of the international
department of UNESCO of the Altai
State Technical University.
Russia, Barnaul.
shishinm@gmail.com

Abstract

This paper presents approaches to the fractal analysis of architectural monuments basing on the box counting dimension method (DB) and the spatial coherence of the basic and artistic characteristics (plan, elevation & section). It is verified by the example of fractal coherence in Islamic architectural monuments (Mosque of Ahmad Shah in Istanbul). A direct dependence of a high degree of fractality of the two monuments is substantiated on its artistic and aesthetic features. For the first time carried out a study based on fractal theory to these outstanding monuments of Islamic architecture. The work aims at further investigation of fractal theory in relationship with the architectural objects.

Keywords: fractality, fractal architecture, fractal dimension.

Bibliographic description for citation:

Ismail Kh.D.A., Shishin M.Yu. Application of a multi-stage fractal method in analysis masterpieces of Islamic architecture – Ahmad Shah Mosque. *Iskusstvo Evrazii – The Art of Eurasia*, 2018, No. 3(10), pp. 37-47. DOI: 10.25712/ASTU.2518-7767.2018.03.003. Available at: <https://readymag.com/u50070366/1135734/10/> (In Russian).

References

1. Babich V.N., Kremlev A.G. *O fraktal'nykh modelyakh v arkhitekture* [On fractal models in architecture]. *Arkhiteton – Architecton*, 2010, No. 30. Available at: http://archvuz.ru/numbers/2010_2/07 (accessed at: 16/04/2018).
2. Voloshinov A.V. *Matematika i iskusstvo* [Mathematics and art]. Moscow, Prosveshchenie, 2000.
3. *Vsemirnaya istoriya arkhitektury v 12 tomakh* [World History of Architecture in 12 volumes. Ed. N. V. Baranova]. Moscow, Publishing house of literature on construction, 1969, vol. 8.
4. Ibragimov I.A. *Formirovanie arkhitektury khristianstva i islama kak vyrazhenie ponyatiya sistemy koordinat v vizual'no-orientatsionno-smyslovom prostranstve* [Formation of the architecture of Christianity and Islam as an expression of the concept of a coordinate system in a visual-orientational-semantic space]. *Arkhiteton – Architecton*, 2008, No. 23. Available at: http://archvuz.ru/numbers/2009_2/ta7 (accessed 16.04.2018).
5. Isaeva V.V., Kas'yanov N.V. *Fraktal'nost' prirodnykh i arkhitekturnykh form* [Fractality of natural and architectural forms]. *Kultura: vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN – Culture: the bulletin of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences*, 2006, No. 5.
6. Ismail Kh.D.A., Shishin M.Yu. *Obosnovanie fraktal'nogo metoda analiza pamyatnikov arkhitektury* [Substantiation of the fractal method of analysis of architectural monuments]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Altai State Technical University*, 2011, No.1-2, pp. 27-30.
7. Korobko V.I. *Zolotaya proporsiya i problemy garmonii system* [Golden proportions and problems of harmony of systems]. Moscow, Publisher ASV, 1998.
8. Korobko V.I., Korobko G.N. *Zolotaya proporsiya i chelovek* [A golden proportion and a person]. Moscow, Publisher ASV, 2002.
9. Mandel'brot B. *Fraktal'naya geometriya prirody* [Fractal geometry of nature]. Moscow, 2002.
10. Description of mathematical functions in Microsoft Excel. Available at: <http://office.microsoft.com/ru-ru/excel-help/HP010342332.aspx?CTT=5&origin=HP010342920> (accessed 16.04.2018).
11. Tits A.A. *Zagadki drevnerusskogo chertezha* [Mysteries of the Old Russian drawing]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1978.
12. Shevelev I.Sh., Marutaev M.A., Shmelev I.P. *Zolotoe sechenie: tri vzglyada na prirodu garmonii* [Golden Section: Three views on the nature of harmony]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1990.
13. Bovill C. *Fractal geometry in architecture and design*. Bosten: Birkhäuser, 1996, 73-92 p.
14. Lorenz W. E. *Fractal and fractal architecture*. Vienna, 2003. At: Department of computer aided planning and architecture: site Vienna University of Technology. Available at: www.fractalarchitect.com (accessed 12.01.2017).
15. Salingaros N.A., Michael A., Mehaffy W. *Architecture, patterns and mathematics*. In: *A theory of architecture*. Ch. 6. Solingen: Umbau-Verlag, 2006.
16. Karperien A., Sturt C. *The FracLac* [Electronic resource]. School of Community Health, Faculty of Science: electron site. Australia, 2007. Available at: <http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/fracLac/FLHelp/TheoryStartUpScreen.htm> (accessed 16.04.2018).

Received: July 28, 2018.