

## Фрактальность готической архитектуры

И.А. Маяцкая<sup>1</sup>, Г.И. Фазылзянова<sup>2</sup>, Б.М. Языев<sup>1, 3</sup>, С.Б. Языева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва

<sup>3</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

**Аннотация:** В статье рассмотрены основные аспекты готической архитектуры Европы. Исследование структуры сооружений готического и неоготического стилей дает возможность понять возможности создания фрактальных элементов этих уникальных зданий. Показаны методики определения фрактальной размерности для объекта как на плоскости, так и в пространстве. Перечислены характерные элементы каркасных сооружений готической архитектуры. Показаны отличия сооружений, построенных архитекторами в России, от зданий западной архитектуры в Европе. В статье рассмотрены примеры гармонического включения зданий готической архитектуры в современное городское пространство. Использование методов фрактальной геометрии позволяет более эффективно применять цифровые технологии в процессе сохранения и восстановления объектов архитектурного наследия. В статье рассматриваются методы вычисления фрактальной размерности объектов готической архитектуры с высокой степенью фрактальности.

**Ключевые слова:** архитектура, готический стиль, неоготика, элемент, фрактал, фрактальная размерность.

### 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 готической архитектуры. Архитекторы использовали изломанность линий, ажурность архитектурных элементов, самоподобие внешнего и внутреннего пространств. Это было хорошо видно в сооружениях готической архитектуры. Они интуитивно создавали шедевры мировой архитектуры. В строительстве уникальных готических соборов и исторических зданий

---

участвовали не только великие архитекторы, строители, но и великие скульпторы и художники. 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.

Целью данного исследования является изучение фрактальных форм сооружений готической архитектуры для поиска удивительных вариантов архитектурных решений. Методы исследования включают следующие последовательности изучения проблемы: изучение фрактальных форм в архитектуре готических соборов; анализ тех особенностей строения, которые можно использовать в проектировании прочной и устойчивой конструкции каркасного здания. Использование цифровых технологий при реставрации и реконструкции исторических зданий. Необходимо создание цифровых моделей шедевров мировой архитектуры, в том числе и готической. Это позволит оптимизировать процесс восстановления и сохранения исторических объектов.

Слово готика («gotico») на итальянском означает «непривычный», «варварский». Несмотря на свое первоначальное значение можно уточнить, что готика в наше время в архитектуре представляет собой изысканную мрачность, устремленную ввысь. Рассмотрим особенности этой архитектуры с точки зрения математического восприятия готических форм всего сооружения, так и его архитектурных элементов [4-6].

В сооружениях готической архитектуры используются стрельчатые арки. Это две пересекающиеся арки с пространством, которое может быть заполнено витражами или каменной резьбой оригинальных оконных проемов, которые создают впечатление, что само сооружение стремится куда-то ввысь [7-9]. Витражи и каменная резьба на окнах создают

---

таинственную атмосферу, создавая величие храма и религии. Витражи представляли собой фрактальные геометрические структуры, а также рассказывали об учении, изображая сцены из описания религиозных учений. Над главным входом или на фасаде использовался архитектурный элемент в виде «розетки», который являлся символом Девы Марии. Это круглые окна с ажурным витражом или каменной резьбой. Эти архитектурные элементы обладают ярко выраженной фрактальностью.

Тонкие стены, огромные окна с витражами, стрельчатые своды огромных залов с рядами изумительных по форме и красоте архитектурных элементов колонн характерны для сооружений готической архитектуры. Все эти сооружения возможно было создать с учетом перераспределения нагрузки по каркасу здания с применением дополнительных элементов для устойчивости и уменьшения этой распределенной нагрузки. Соборы представляли собой каркас из стрельчатых арок и нервюрных сводов. Эти утолщения на сводах представляют собой фрактальную структуру с самой удивительной по красоте форм, и они могут передавать усилия на опорные колонны и на стены здания [4,7,10]. Фрактальность проявляется во всех элементах готического храма. Нервюрный свод собора – пример фрактальных свойств сооружения. Каркасные арки – пример самоподобных конструкций. Своды покрыты свинцовыми пластинами для устойчивости конструкции. При пожаре свинцовая крыша собора Нотр-Дам де Пари (Собор Парижской Богоматери) в Париже создала много проблем, связанных с экологией [11]. При реставрации свинцовые пластины не использовались и свод в соборе сделали только из дуба, а также всё внутреннее пространство вдруг стало светлым. И весь собор потерял тот шарм готики, которым обладал до пожара. К сожалению, обновленный собор стал совсем другим, нет готического стиля того времени.

---

Для внешнего фасада соборов характерны ланцевидные окна и композиции из трех входных порталов, и, конечно, центрального оконного витража в виде розетки. Структура окон в соборе обладают самоподобием, окна имеют проемы разного размера, но с подобной геометрией. При этом центральный вход в собор, обладает свойством симметрии. План сооружения тоже обычно симметричен относительно продольной оси. Ланцевидные окна, каркасные стрельчатые арки, колонны с аркбутанами позволяют не только создавать удивительную конструкцию с вертикальными, уходящими ввысь готическими элементами, но и облегчить конструкцию сооружения, отказаться от массивных стен и небольших окон.

**Материалы и методы.** В статье проведен анализ фрактальных архитектурных форм зданий в Европе. Отмечены особенности неоготических зданий в России. В работе использованы следующие методы: поиск, анализ и сопоставление различных форм в формообразовании объектов готики и неоготики, натурные обследования и фотофиксация архитектурных элементов.

**Основная часть.** Готический стиль – это один из основных стилей в архитектуре Запада с XII века по XV век. Это сооружения восхищают своей необычной архитектурой, интересными решениями конструкций для прочности столь величественных сооружений, кружевная архитектура в камне [12-14]. Фасады сооружений очень похожи и в тоже время неповторимы в своих деталях. Но всё-таки можно выделить узкий главный фасад с двумя башнями по бокам (рис. 1) и фасад, который напоминает функцию Вейерштрасса (рис. 2, 3).

Функция Вейерштрасса определяется аналитическим выражением  $w(x) = \sum_{n=0}^{\infty} b^n \cos(a^n \pi x)$ , где  $a$  – нечетные числа,  $a \neq 1$ ;  $0 < b < 1$ . На рис. 3 показан график этой функции.



Рис. 1. – Главный фасад с двумя башнями по бокам – Церковь Де Крийтберг, Амстердам, 2008 год (фото Маяцкой)



Рис. 2. – Собор во Флоренции – Базилика Санта-Кроче, 2007 год (фото Маяцкой)

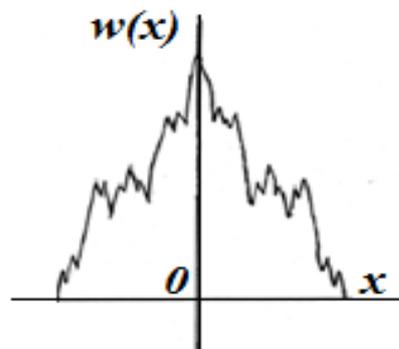


Рис. 3. Функция Вейерштрасса

Как определить фрактальную размерность? Метод для вычисления фрактальной размерности, который использовал Исмаил Х.Д. в своей работе по фрактальному анализу мечетей, предложил В Лоренс и К. Бовилл [15-17]. Это метод определения размерности  $DB$  («box counting dimension method») представляет собой метод ячеистого вычисления размерности (рис. 4). Он позволяет определить размерности самоподобных форм и других фрактальных структур.

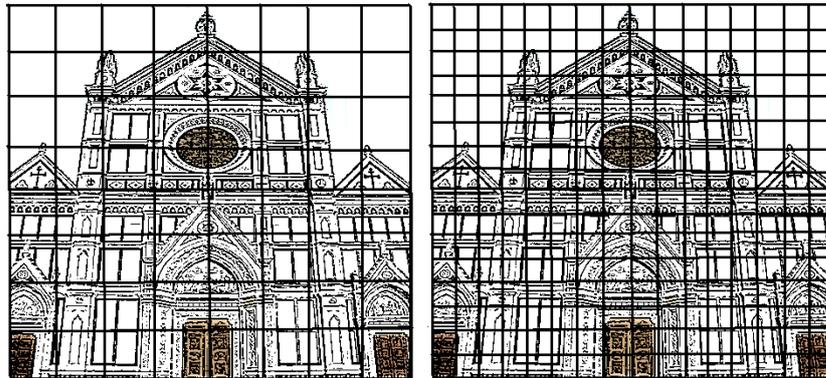


Рис. 4. – К определению фрактальной размерности: малая и большая сетки с ячейками (собор во Флоренции, фото и иллюстрация Маяцкой)

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:

$$DB_{(1-2)} = \frac{\log N_2 - \log N_1}{|\log S_1 - \log S_2|} \quad \text{или} \quad DB_{(1-2)} = \frac{\log(N_2 / N_1)}{|\log(S_1 / S_2)|},$$

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,  $1 < DB < 2$ .

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  $1 < DB < 2$ .

Сравним фасады готических соборов, используя методы фрактальной геометрии. На рис. 3 показан метод ячеистого вычисления размерности готических соборов для трех типов контуров главных фасадов. Фрактальная размерность готических храмов для теневого образа главного фасада в первом приближении равна от  $DB_{(1-2)_{\text{среднее}}} = 1,033$  до  $DB_{(1-2)_{\text{среднее}}} = 1,032$ . Рассмотрены были четыре типа сооружений: узкий фасад с двумя боковыми башнями; узкий фасад с двумя башнями с остроконечными вершинами; фасад со сложной геометрией; фасад, который напоминает функцию Вейерштрасса.

Сетки имеют следующий размер для каждого типа:

1 тип –  $S_1 = 80$  и  $S_2 = 320$  (прямоугольные ячеистые сетки  $8 \times 10$  и  $16 \times 20$ );

2 тип –  $S_1 = 96$  и  $S_2 = 384$  (прямоугольные ячеистые сетки  $8 \times 12$  и  $16 \times 24$ );

3 тип – 3.1:  $S_1 = 120$  и  $S_2 = 480$  (прямоугольные ячеистые сетки  $10 \times 12$  и  $20 \times 24$ ); 3.2:  $S_1 = 84$  и  $S_2 = 336$  (прямоугольные ячеистые сетки  $7 \times 12$  и  $14 \times 24$ ); 3.3:  $S_1 = 80$  и  $S_2 = 320$  (прямоугольные ячеистые сетки  $8 \times 10$  и  $16 \times 20$ );

4 тип –  $S_1$  и  $S_2 = 400$  (квадратные ячеистые сетки  $10 \times 10$  и  $20 \times 20$ ).

Соборы готической архитектуры имеют высокую степень фрактальности. 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.

Размерность  $DB$  в пространстве определяется по формуле:

$$DBV_{(1-2)} = \frac{\log N_{V2} - \log N_{V1}}{\log V_1 - \log V_2},$$

где  $V_i$  – размеры объемной кубической сетки;  $N_{Vi}$  – 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 определять среднее значение высоты сооружения в этой точке и также провести анализ. И в пространстве этот объект будет обладать высокой фрактальностью.

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, позволяют преодолеть эти сложности. Именно применение математических методов в программировании дает результат, но пока идет развитие данных методов в

---

этом направлении. Необходим синтез усилий математиков, изучающих топологию, программистов, реализующих численные методы, и архитекторов, которые помогают реализовать цели. Создание цифровых моделей шедевров мировой архитектуры, в том числе, и готической, позволит эффективнее проводить реставрационные работы. Архитектура создает материальную и духовную среду, в которой человек ощущает себя частью целого мира. Уничтожение архитектурного наследия приводит к стиранию национального самосознания. А мир очень изменчив, создание виртуальных образов сооружений мировой архитектуры с точным описанием всех элементов объекта позволяет минимизировать риски утраты данного объекта. Примером такого проекта является возрождение архитектурного комплекса Пальмиры в Сирии.

Собор Сент-Эжен-Сент-Сессиль – первая в Париже церковь с полностью металлической каркасной конструкцией [4,7,11]. Это уникальное сооружение с непривычно ярким внутренним пространством. Фрактальность остроконечных, уходящих ввысь башен церкви Святого Амвросия в Париже резко отличается от стиля других соборов Западной Европы того времени, что делает это сооружение поистине уникальным, не похожим на другие объекты храмовой архитектуры. Неоготический стиль проявляется и в других сооружениях в Европе, не только в соборах.

В период расцвета эпоха готического стиля в Европе в России не строили сооружения этого стиля. Лишь с XVII – XVIII веков в России стали появляться такие объекты. Началась эпоха неоготической архитектуры. Причем этот стиль в России проявлялся в основном в элементах фасада зданий, внутреннего пространства, в конструкциях крыш [10,18].

Здания «Электрозавода» тоже построены в готическом стиле. Римско-католический кафедральный собор Непорочного зачатия Пресвятой Девы Марии на Малой грузинской в Москве построен в 1911 году. Аркбутаны

---

тоже использованы в конструкции собора, только они использованы в конструкции купола. Изящество купола и башенок храма с ажурной кирпичной кладкой вызывает восхищение мастерством. Кирпичная готика присуща для сооружений в эпоху северо-европейской неоготики. Ажурная каменная роза тоже сделана по готическим традициям. Но на фасаде собора нет мифических элементов, нет горгулий. Это присуще архитектуре в России. В Москве есть и другие образцы неоготической архитектуры, например, здание ЦУМа и дом с летучими мышами на Сретенском бульваре, 6/1, в Москве (архитекторы Н.М. Проскурнин и А.И. фон Гоген).

Даже если и есть мифические образы в архитектурных элементах неоготических зданий в России, то эти элементы имеют не столь агрессивный облик. Мифические образы мало использовались в архитектуре в России и делался акцент на геометрических готических элементах. Единственная англиканская церковь в Москве тоже построена в стиле викторианской неоготики. Примером классической немецкой неоготики является собор святых апостолов Петра и Павла евангелическо-лютеранской церкви. Не только сооружения храмовой архитектуры были построены в неоготическом стиле в Москве. Потрясает своей изысканностью дворцовый ансамбль Екатерины II в Царицыно. Это первое сооружение, построенное в стиле русской готики. В Москве есть и другие сооружения в этом стиле: усадьба Зинаиды Морозовой на ул. Спиридоновка, 17 (рис. 5) и водонапорная башня возле Белорусского вокзала.

В других городах тоже были построены замечательные сооружения неоготического стиля: готическая капелла и железнодорожный вокзал в Петергофе, Чесменская церковь в Санкт-Петербурге, Владимирская церковь в Быково, Дворец Ольденбургских вблизи Воронежа, усадьба в Марфино, Храм Преображения Господня в Красноярске. Удивительные здания неоготики во Владивостоке разнообразны по форме и содержанию. Костел

---

Пресвятой Богородицы и Кирха Святого Павла являются действующими объектами храмовой архитектуры. Фасад с остроконечными башенками и ажурными архитектурными элементами Приморского Пушкинского театра также является примером неоготической архитектуры.



Рис. 5. – Особняк Зинаиды Морозовой, ул. Спиридоновка, 17 в Москве, 2025 год (фото Маяцкой)

Фасады с башенками и окнами в готическом стиле можно найти и в городах, в которых этот стиль не был распространен у архитекторов и заказчиков [19-21]. Даже в современном облике города можно найти рядом стоящие здания с готическими элементами: историческое здание и современный жилой комплекс. Необходимо, чтобы современное здание гармонично вписывалось в городскую среду, не вызывая диссонанса.

Русский архитектурный стиль неоготики демонстрирует свою самобытность и неповторимость. Готический стиль Европы не был перенят полностью, архитекторы использовали лишь его элементы, применяя в основном для создания уникального внешнего вида и интересного по форме внутреннего пространства.

### **Выводы**

Создание уникальной архитектурно-пространственной среды современных городов – цель, которую ставят архитекторы при реализации своих проектов. Исследование фрактальности сооружения 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 современной архитектуре.

### Литература

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
2. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. М.: 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. М.: КоЛибри, Алфавит-Аттикус. 2023. 352 с.
5. Баторевич Н. И., Кожицева Т. Д. Малая архитектурная энциклопедия. Санкт-Петербург: Дмитрий Буланин, 2010. 738 с.
6. Гнедич, П. П. Всеобщая история искусств: живопись, скульптура, архитектура. М.: Эксмо, 2022. 768 с.
7. Яровая, М. С. Шедевры архитектуры. М.: АСТ, 2023. 224 с.
8. Шуази, О. История архитектуры. От доисторической эпохи до XVIII века. М.: АСТ, 2024. 656 с.
9. Гнедич, П. П. Мировая архитектура. М.: Эксмо-Пресс, 2012. 240 с.
10. Яровая, М. С. Архитектура. Иллюстрированный гид. М.: АСТ, 2021. 160 с.
11. Троицкая, М. И. Парижская архитектура: от ампира до модернизма. М.: АСТ, 2023. 320 с.
12. Коул, Э. Архитектура в деталях: путеводитель по стилям и эпохам мировой архитектуры. М.: Эксмо, 2022. 352 с.

13. Трубе Г. Путеводитель по архитектурным формам. М.: Архитектура – С, 2014. 216 с.
  14. Чинь Ф. Д. К. Всё об архитектуре. Форма, пространство, композиция. М.: АСТ, 2024. 448 с.
  15. Шишин М. Ю., Исмаил Х. Д. А. Обоснование фрактального метода анализа памятников архитектуры // Вестник Алтайского государственного технического университета им. ИИ Ползунова. 2011. №. 1-2. С. 27-30.
  16. Исмаил Х. Д. А., Шишин М. Ю. А. Итоги и перспективы исследования фрактальности исламской архитектуры и искусстве // Вестник алтайской науки. 2011. №. 1. С.5.
  17. 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.
  18. Крижевская, Е. Архитектурная Москва: путеводитель по зданиям и стилям. М.: Эксмо, 2018. 240 с.
  19. 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. URL: [e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf\\_catpid2021\\_02018](https://e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf_catpid2021_02018).
  20. 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. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012028](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012028).
  21. Mayatskaya, I., Yazyeva, S., Gatiev, M., Kuznetsov, V., Klyuev, S., & Sabitov, L. Application of Fractal Methods in the Design of Modern Structures // ISCICC: 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.

URL:

[link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-44432-6\\_49.](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-44432-6_49)

### References

1. Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody [Fractal geometry of nature]. M.: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2002. 656 p.
2. Kronover R.M. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh [Fractals and chaos in dynamical systems]. M.: Tekhnosfera, 2006. 488 p.
3. Mandelbrot B. Fraktaly i khaos. Mnozhestvo Mandelbrota i drugie chudesa [Fractals and chaos. The Mandelbrot Set and other wonders], Izhevsk: NITS Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika. 2009. 392 p.
4. Jenkins S. 100 100 velichayshikh soborov Yevropy [The 100 Greatest Cathedrals in Europe]. M.: KoLibri, Azbuka-Attikus, 2023. 352 p.
5. Batorevich N. I., Kozhitseva T. D. Malaya arhitekturnaya ehnciklopediya [Small Architectural Encyclopedia]. Sankt-Peterburg: Dmitry Bulanin, 2010.738 p.
6. Gnedich, P. P. Vseobshchaya istoriya iskusstv: zhivopis', skul'ptura. arkhitektura [Universal art history: painting, sculpture. architecture]. M.: Eksmo, 2022. 768 p.
7. Yarovaya, M. S. Shedevry arkhitektury [Architectural masterpieces]. M.: AST, 2023. 224 p.
8. Choisy, O. Istoriya arkhitektury. Ot doistoricheskoy epokhi do XVIII veka [The history of architecture. From the prehistoric era to the XVIII century]. M.: AST, 2024. 656 p.
9. Gnedich, P. P. Mirovaya arhitektura [Global architecture]. M.: Eksmo-Press, 2012. 240 p.
10. Yarovaya, M. S. Arkhitektura. Ilyustrirovanny gid [Architecture. Illustrated Guide]. M.: AST, 2021. 160 p.
11. Troitskaya, M. I. Parizhskaya arhitektura: ot ampira do modernizma [Parisian Architecture: from Empire to Modernism]. M.: AST, 2023. 320 p.

12. Cole, E. Arkhitektura v detalyakh: putevoditel' po stilyam i epokham mirovoy arkhitektury [Architecture in Detail: A guide to the Styles and eras of world architecture]. M.: Eksmo, 2022. 352 p.
  13. Trube G. Putevoditel po arkhitekturnym formam [A guide to architectural forms]. M.: Arkhitektura – S, 2014. 216 p.
  14. Chin F. D.K. Vsyo ob arkhitekture. Forma, prostranstvo, kompoziciya [All about architecture. Form, space, composition]. M.: AST, 2024. 448 p.
  15. Shishin M. Yu., Ismail H. D. A. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. II Polzunova. 2011. No 1-2. Pp. 27-30.
  16. Ismail H. D. A., Shishin M. Yu. Vestnik altayskoy nauki. 2011. No 1. P. 5.
  17. Ismail H. D. A. Arkhitektura i sovremennyye informatsionnyye tekhnologii. 2012. No 4 (21). P. 11.
  18. Krizhevskaya, E. Arkhitekturnaya Moskva: putevoditel' po zdaniyam i stilyam [Architectural Moscow: a guide to buildings and styles]. M.: Eksmo, 2018. 240 p.
  19. 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.  
URL: [e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf\\_catpid2021\\_02018](https://e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf_catpid2021_02018).
  20. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Yazyeva S.B. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1083. p. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012028. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012028](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012028).
  21. Mayatskaya I., Yazyeva S., Gatiev M., Kuznetsov S., Klyuev S., Sabitov L. 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. URL: [link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-44432-6\\_49](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-44432-6_49).
  22. **Дата поступления: 20.02.2025      Дата публикации: 27.03.2025**
-