

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-8-72-81

^{1,*}Маяцкая И.А., ^{1,2}Языев Б.М., ¹Языева С.Б.¹Донской государственный технический университет²Казанский (Приволжский) федеральный университет

*E-mail: irina.mayatskaya@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ БИОНИЧЕСКИХ И ФРАКТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМООБРАЗОВАНИИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Исследование формообразования в данных направлениях дает возможность создания новых по форме и по структуре зданий. Бионическая архитектура является частью архитектуры, в которой используются формы и организация биологических объектов на основе методов математического моделирования с применением методов фрактальной геометрии. Именно исследования в области математики позволяют современным архитекторам найти форму высотного здания с учетом, того что каждый будет иметь свой неповторимый стиль. Такие уникальные здания гармонично вписываются в городскую и окружающую среду. В статье рассмотрены вопросы создания высотных зданий, используя бионический подход, а также методы фрактальной геометрии. Именно эти сферы исследования нужно изучать при поиске оптимальных решений в процессе проектирования и создания объектов архитектуры. Применение данных решений в конструкциях высотных зданий особенно актуально. Необходимо широкое внедрение в практику методов математического моделирования, что создает условия для более эффективного проектирования высотных зданий в современном городском пространстве. Рациональность и оптимальность объектов архитектурной бионики и применение фрактального метода в формообразовании позволяют находить интересные формы высотных зданий.

Ключевые слова: архитектура, математическое моделирование, бионика, фрактал, пространство, высотное здание.

Введение. С развитием современных методов проектирования с помощью цифровых технологий появилась возможность создания высотных сооружений на основе бионических принципов с учетом фрактальности объектов [1–3]. Архитекторы по-новому смотрят на свои проекты, и современные технологии строительства позволяют реализовать самые смелые и интересные решения. Они изучают структуру природных объектов и применяют их свойства при создании оптимальных и рациональных конструкций [4]. При этом архитекторы не копируют объект, а создают такие конструкции, которые лишь напоминают первоначальный образ, что делает сооружения уникальными и удивительными по форме.

Фрэнк Оуэн Гери создал удивительный небоскреб в Нью-Йорке – «Бикман Тауэр» (или «Нью-Йорк от Гери»), который представлен как сооружение, по которому струится вода. Пространственные решения при проектировании сооружений многих мировых архитекторов принимались с использованием структур с фрактальными особенностями природных объектов. Дувение ветра, лепестки цветков, парус в море и другие образы часто были использованы в реализуемых проектах.

Объектом исследования является форма высотного здания в развитии современной архитектуры. При строительстве высотных зданий в современном городе актуальна задача поиска раз-

нообразных структур в формообразовании объекта и гармоничного и комфортного пространства вокруг него.

Изучение особенностей формы и структуры природных объектов позволяет находить все новые и новые решения с учетом гармоничного восприятия этих сооружений и оптимальности конструкций [5–7]. И именно методы фрактальной геометрии и теории детерминированного хаоса позволяют разрабатывать уникальные высотные сооружения бионической и фрактальной архитектуры. Методы математического моделирования и возможности компьютерных комплексов позволяют выбрать оптимальный вариант с помощью численного эксперимента.

Целью данного исследования является изучение бионических и фрактальных форм высотных сооружений для поиска различных вариантов архитектурных решений.

Материалы и методы. Методы исследования включают следующие последовательности изучения проблемы: изучение бионических и фрактальных форм в современной архитектуре; анализ тех особенностей строения, которые можно использовать в проектировании прочной и устойчивой конструкции высотного здания и затем выбор оптимального решения с измененными архитектурными элементами. В процессе нахождения оптимального решения нужно активнее применять программные комплексы, что

позволит оптимизировать процесс проектирования и получить наилучшее решение поставленной задачи.

Основная часть. На рубеже XIX и XX веков созрели все предпосылки для роста зданий городов ввысь – изобретение лифтов и стального каркаса, применение железобетона. Практически полное отсутствие, в пределах городской черты, мест для нового строительства привело к увеличению стоимости земли и, следовательно, необходимости поиска оптимального варианта повышения рентабельности полезной площади. И основным аргументом появления высотных зданий был рост офисов крупных банков и компаний, которые строительством уникальных небоскребов хотели подчеркнуть свой статус.

Именно в Чикаго (США) – городе, в котором активно развивалась промышленность во второй половине XIX века, а также и финансовая сфера, появились первые высотные сооружения – небоскребы. Проектированием зданий с повышенной этажностью занималась группа архитекторов во главе с Луисом Салливаном, который стал руководителем «чикагской школы» проектирования небоскребов, формируя американский подход. Этот подход позволил создать много уникальных небоскребов со своим стилем. Эти небоскребы конкурировали по высоте и вычурности фасадов. Данный принцип виден при формировании облика Нью-Йорка, Дубая, Абу-Даби и других городов Ближнего Востока.

В первой трети XX века в Америке стало интенсивно развиваться строительство небоскребов [8, 9]. Применение железобетонных конструкций при строительстве, совершенствование конструктивной системы, изобретение новых технологий и материалов позволило архитекторам больше проявлять фантазии в работе над фасадами и формой небоскрёба в целом, разрабатывая силуэт и используя сочетание крупных блоков и фрактальность фасадов. Именно такой образ небоскрёба сложился как традиционный вплоть до 1950-х годов.

В России тоже в это время возводились высотные здания, например, здание Московского государственного университета, Министерства иностранных дел и другие сооружения, например, высотное здание гостиницы «Ленинградская» в Москве (рис. 1).

Во второй половине XX века бурное развитие инженерных новаций привело к появлению оболочных конструктивных решений с несущими наружными стенами.

Уже в 1980-х годах появляется огромное количество «рядовых» высоток, главным назначением которых была функциональная оправданность и исчезает стремление к индивидуальности

и шику и ажиотаж вокруг высотного строительства в Америке угас. К этому времени на передний план выходит проблема с экологией. Особое внимание стало уделяться экологичности возводимых сооружений и их инженерному обеспечению энергосберегающими технологиями, что снова создало импульс к новым научным разработкам в строительных материалах и технологиях.



Рис. 1. Высотное здание гостиницы «Ленинградская», Москва (фото автора – Маяцкая И.А.)

С наступлением нового тысячелетия отдельные высотные здания стали появляться и в странах Европы, затем строительство высотных зданий переместилось в Азию [10]. Первое в мире здание выше 500 метров Тайбэй было построено в Тайване уже в 2004 году, а в 2010 поставлен рекорд высоты – 828 метров Бурдж-Халифа в Дубае.

Проектирование, возведение и процесс эксплуатации сверхвысотных зданий, а также ужесточение требований экологического характера заставили архитекторов-проектировщиков обратиться к живой природе, которая на протяжении всего развития архитектурно-строительной деятельности человека помогала решать самые различные проблемы [11–14].

На симпозиуме 1960 года в городе Дайтон американский исследователь Джек Элвуд Стил сказал, что «живые прототипы искусственных систем – ключ к новой технике» и предложил назвать новую область знания – «Бионика», целью и задачей которой является изучение особенностей живых организмов и растений [1, 4].

Сверхвысокий небоскрёб представляет из себя автономную организацию существования на базе энергоэффективных независимых систем жизнеобеспечения с комфортными условиями для людей. Учёные умы строительной индустрии обращаются, находят и умело применяют на практике те методы, которые дают возможность решить сложные, казалось бы, нереализуемые задачи возникающими при создании сверхвысоких небоскрёбов, при этом они умело используют знания исследователей бионики применительно к разработке формообразования и автономности жизнеобеспечения небоскрёбов, причём используя экологичные строительные материалы и конструкции.

При проектировании несущих конструктивных систем небоскрёбов самое большое внимание уделяется обеспечению его устойчивости. Во многом устойчивость зависит от формы самого здания, и здесь на помощь приходит бионика как система знаний устройства живых организмов, например, строения стеблей злаковых культур или спиральной формы раковины улитки [4, 15–17].

У небоскрёба все этажи выстраиваются вокруг ядра, которое возводится из железобетона. Для уменьшения колебаний тела небоскрёба, через каждые пятьдесят – семьдесят метров организуют железобетонные распорки, соединяющие их с внешними колоннами, по принципу структуры волокон в стволах высоких стеблей растений.

Вопрос формы высотного здания всегда остаётся актуален. Для снижения ветрового давления, которое при значительном увеличении высоты постройки может превышать общий вес здания, образовывать зоны повышенной турбулентности и вихревые потоки, следует прибегать к простым обтекаемым природным формам.

Интересной, с точки зрения обеспечения устойчивости к внешним воздействиям небоскрёбов, является форма скрученной спирали. В отличие от классических форм параллелепипедов и вытянутых пирамид небоскрёбов, спиральное развитие тела небоскрёба выигрышно выделяет его на фоне городской застройки, динамика конструкции оживляет материальную среду, сливая её с природой воздуха, ветра, неба и облаков. На рис. 2 представлены высотные сооружения, в которых архитекторы использовали форму скрученной спирали: Mode Gakuen Spiral Tower (город Нагоя, Япония); Absolute World Towers (город Торонто, Канада); Twisting Torso (город Мальмё, Швеция); Agora Garden Tower (город Тайпей, Тайвань).

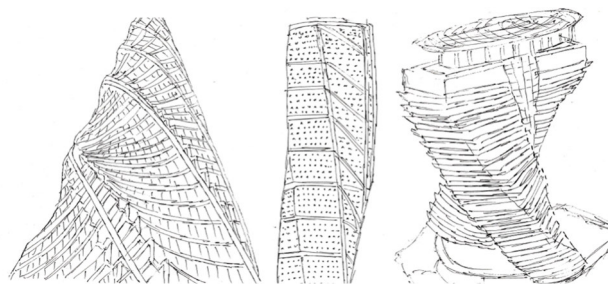


Рис. 2. Небоскрёбы в форме скрученных спиралей (эскиз автора – Маяцкая И.А.)

Башня «Эволюция» построена 2015 году и входит в комплекс «Москва-Сити» (рис. 3). Каждый этаж башни повернут относительно предыдущего на 3 градуса, в результате чего здание «закручивается» более чем на 150 градусов. Форма небоскрёба эффектно выделяется среди других небоскрёбов комплекса (рис. 4). Другие здания этого комплекса так же обладают уникальными формами (рис. 5).



Рис. 3. Комплекс «Москва-Сити», Москва (фото автора – Маяцкая И.А.)



Рис. 4. Башня «Эволюция», Москва (фото автора – Маяцкая И.А.)



Рис. 5. Башня «Москва» комплекса «Город столиц», Москва-Сити (фото автора – Маяцкая И.А.)

Фрактальность применяется как при строительстве самого здания, так и при создании фрактальных фасадов. Это хорошо видно в сооружениях комплекса «Москва-Сити» (рис. 3–7). Эти сооружения имеют гармоничные, симметричные и асимметричные, динамичные и самоподобные архитектурные формы.

Впервые при проектировании небоскрёба гениальный испанский архитектор Сантьяго Калатрава применил динамическую форму в 2005 году, проведя аналогию с закручивающимся торсом на тему античного дискобола (небоскрёб «Twisting Torso»). «Природа – это мой проводник. Она вдохновляет на создание зданий, которые отражают естественные формы и ритмы» – говорит Калатрава, давая интервью журналистам. Он всегда черпал архитектурные идеи из основ мироздания.

Применение бионических и фрактальных принципов при создании строительной конструкции – это только этап оптимального проектирования и поиска интересного решения [18–20]. Результат зависит от самих архитекторов, от их восприятия окружающего пространства. Художественный музей в Милуоки, США построен по проекту архитекторов Ээро Сааринена и Давида Калера, одного из самых гениальных архитекторов современности испанский архитектор, который спроектировал удивительный павильон «Квадраччи» (Quadracci Pavilion), входящий в архитектурный ансамбль Художественного музея Милуоки. Этот объект представляет собой сооружение в стиле био-тек, именно это сооружение показывает динамичность объекта, след движения в реальности.

В столице Тайваня городе Тайбэй в 2018 году возведён небоскрёб Agora Garden Tower, конструкция остова которого повторяет спиральную систему структуры ДНК.

Каждый из этажей 246-метровой высоты повернут относительно предыдущего на три градуса. Эффектный изгиб двойной спирали максимально увеличивает устойчивость небоскрёба. Геометрия карнизов, выполненных по террасному принципу, увеличивает полезную площадь здания.

В небоскрёбе внедрены системы, преобразовывающие энергию солнца и ветра, применены все ультрасовременные технологии интеллектуальных зданий, что позволяет человеку более эффективно взаимодействовать с искусственной средой, создавая комфорт и удобство, применяя экологичные технологии обслуживания и управления жилищным хозяйством.

Небоскрёб оснащен современной системой водоснабжения и водоотведения в здании. А так как он представляет из себя ещё и вертикальный сад, то большое количество воды требуется для полива растений и эти требования полностью обеспечиваются именно при помощи системы сбора дождевой воды. Автономная собственная система утилизации органических отходов позволяет повторно их использования для ухода за растениями. При проектировании небоскрёба «Agora Garden Tower» были учтены эти требования.

На этом небольшом количестве рассмотренных примеров небоскрёбов при проектировании, которых явно читаются бионические мотивы формообразования, можно констатировать влияние формы на все качественные характеристики небоскрёбов [14].

Задать фрактальную структуру – значит задать принцип развития по алгоритму с фрактальной размерностью, закон изменения формы, самой организации объекта [21–23]. Фрактальные формы в архитектуре создают целостный облик, который обеспечивает объединение элементов структуры с использованием таких свойств как самоподобие, подобие, след движения, сдвиг или скольжение [24, 25]. Как видно, эти свойства могут встречаться при проектировании сооружений на основе бионических принципов. В этих уникальных зданиях комплекса «Москва-Сити» применяются методы фрактальной геометрии и теории детерминированного хаоса с использованием фрактальных свойств. В теории детерминированного хаоса Бенуа Мандельброта существует важный факт, который состоит в том, что динамическая система может проявляться через хаотические формы, но они не случайны, хотя и присут-

ствуется некоторая стихийность процесса. Архитекторы в современном мире тоже используют свойства динамических систем. Можно сказать, что возникает «застывшая динамика в движении» и это дает инструмент для поиска новых форм в формообразовании.

Фрактальный и бионический методы исследования – это способы поиска архитектурных форм. В архитектурном формообразовании можно применить след движения, изгибы, изломы линий и поверхностей живой природы. Считалось, что фрактальность – это самоподобие в формообразовании, но это только один из элементов этого понятия. Фрактальность включает в себя дисимметрию и скейлинг, способность к развитию и изменению через сдвиг, скручивание, след движения. Дисимметрия – это взаимопроникновение симметрии и асимметрии. Скейлинг – это подобие со скольжением образа. Если самоподобие является понятием, которое описывает объект с дробной размерностью, то для скейлинга присуще изменение размерности в процессе построения формы и самой структуры алгоритма. На рис. 6 и 7 показаны фрактальные элементы высотных зданий.

Эти элементы фрактальности основаны на создании структур из фрагментов, где последующий элемент основан на развитии предыдущего с учетом масштабности объекта и с учетом его почти подобных изменений. Фрактальность – это не статическое понятие, а динамическая структура, способная к развитию и изменению. На рис. 9 представлен процесс проектирования башни «Эволюция».



Рис. 7. Дисимметрия в формообразовании зданий комплекса «Москва-Сити», Москва (фото автора – Маяцкая И.А.)

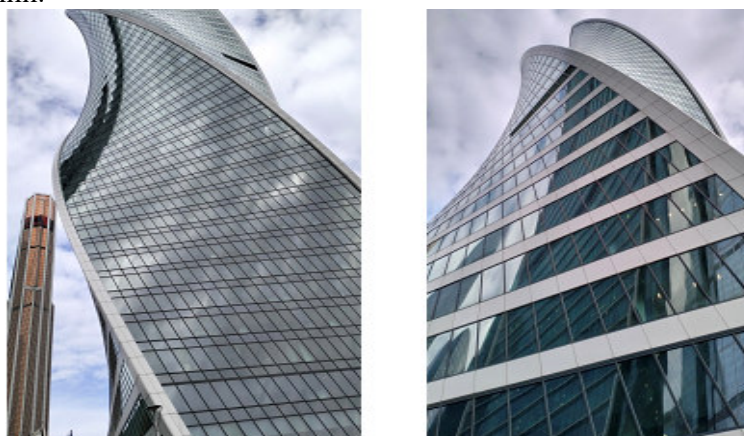


Рис. 8. Скейлинг в формообразовании зданий комплекса Москва-Сити на примере башни «Эволюция» (фото автора - Маяцкая И.А.)

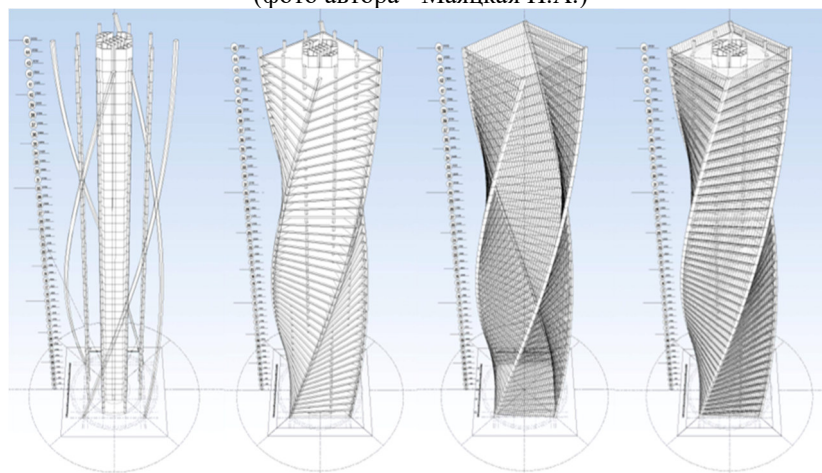


Рис. 9. Процесс формообразования башни «Эволюция»
(https://www.transneft.ru/u/articles_file/3001/59d3468d0f7fd4f1dcf49910502a9096bd9d0317)

Стоит особенно отметить такие элементы формообразования как сдвиг, изгиб или излом поверхностей, след движения в проектировании уникальных сооружений [25]. Использование сложных структур и композиций в формообразовании ведет к новому этапу в архитектуре. Но эти приемы не мешают обеспечению единства внешнего и внутреннего пространства этого здания и созданию современного архитектурного облика города.

Фрактальность природных и архитектурных форм описывается методами нелинейной динамики, фрактальной геометрии, теорией детерминированного хаоса. Фрактальные алгоритмы придают объектам неповторимый свой стиль, свою структуру организации внешнего и внутреннего пространства. Единство хаоса и порядка. Это сочетание просто создает гармоничное пространство. Главное, чтобы в этом единстве не возникало дисбаланса форм. Именно творческие способности архитекторов позволяют избежать этого. В этом процессе происходит рождение удивительных по форме и структуре сооружений. Это касается и высотных зданий. Возникает осознанная фрактальность архитектурных форм, которая и позволяет архитекторам создавать уникальные сооружения.

Фракталы позволяют находить линии контуров и структуру объектов. Так алгоритм Серпинского часто встречается в формообразовании архитектурных объектов как в целом облике сооружения, так и в его элементах. Множество Кантора – простейший фрактал, у которого удаляется средняя часть элемента и затем рекурсивным способом формируется фигура (рис. 10). Этот алгоритм используется для расположения симметричных архитектурных элементов разной высоты с различной фрактальной размерностью. Подобные симметричные элементы могут располагаться как вдоль линии сооружения, так и внутри структуры. Гребень Кантора – это прообраз многих высотных сооружений, например, высотные здания в Москве. Но стоит отметить, что контуры лишь напоминают этот фрактал, проявляя стохастический характер формообразования.

Элементы фрактала губки Менгера также встречаются в архитектуре – кубические высотные здания с подобными элементами, которые расположены как на фасадах зданий, так и в виде вырезанных архитектурных форм. Они могут быть расположены как в симметричном, так и в асимметричном порядке.

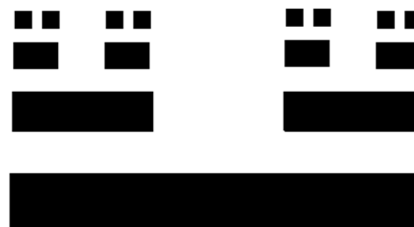


Рис. 10. Множество Кантора.

В настоящее время уделяется большое внимание строительству высотных зданий. Но стоит отметить, что доля уникальных по форме объектов в высотном строительстве остается достаточно небольшой. Проще строить высотные здания с 32 этажами и выше с простой формой в виде кубических элементов с разной высотой в городах самых разных регионов страны. В настоящее время эта тенденция теряет свою актуальность. Намечаются два направления: строительство зданий с меньшей этажностью с всесторонним развитием территории жилищного комплекса и строительство высотных зданий с уникальной формой. Примером такого объекта служит построенное в 2024 году здание на ул. Береговой в г. Ростове-на-Дону (рис. 11). Форма этого здания не только обладает такими фрактальными свойствами, как сдвиг, скручивание, но и на фасаде изображены известные архитектурные объекты города: Ростовский кафедральный собор Рождества Пресвятой Богородицы, памятник-стела «Воинам-освободителям г. Ростова-на-Дону от немецко-фашистских захватчиков», Ростовский Музыкальный театр, Ростовский театр драмы имени М. Горького, здание речного вокзала на Береговой, монумент «Тачанка-Ростовчанка» и другие объекты культурного наследия города (рис. 12).



Рис. 11. Скейлинг в формообразовании высотного здания на Береговой, Ростов-на-Дону (фото автора – Маяцкая И.А.)



Рис. 12. Элементы фасада высотного здания на Береговой, Ростов-на-Дону
(фото автора – Маяцкая И.А.)

В формообразовании высотного здания, представленного на рис. 13, применяется метод скейлинга с дискретным алгоритмом с изменением через сдвиг. В формообразовании бизнес-центра «Пять морей» (г. Ростов-на-Дону) также применяется этот метод, но применяется непрерывный алгоритм со способностью к изменению через след движения. На фасаде этого здания используются бионические элементы с изображением морских картин в сказочном стиле (рис. 14).

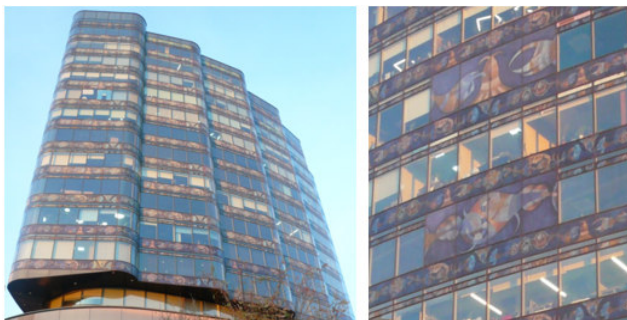


Рис. 13. Бизнес-центра «Пять морей» с южной стороны здания и элементы его фасада на Береговой, Ростов-на-Дону (фото автора – Маяцкая И.А.)

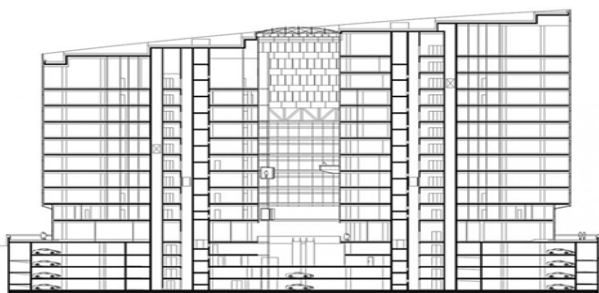


Рис. 14. План бизнес-центра «Пять морей» с северной стороны здания, Ростов-на-Дону
(<https://ardexpert.ru/uploads/images/732/07-2015/46bedab1ecd71068a910ed25b7214ca1>)

Анализируя различные формы фракталов, можно создавать интересные по форме сооружения с оптимальной организацией внешнего и внутреннего пространства, в том числе и высотные здания. Архитектура должна быть творческим направлением в строительстве современных городов, при этом учитывать уникальность региона и национальные традиции.

Выводы. Создание уникальной архитектурно-пространственной среды современных городов – цель, которую ставят архитекторы при реализации своих проектов. Именно методы математического моделирования на основе фрактальных свойств природных объектов и окружающего пространства способны реализовать самые смелые решения при проектировании уникальных высотных сооружений.

Конечно же, эстетика бионической формы создаёт визуальный комфорт при разглядывании небоскрёба. Но главное заключается в том, что бионические формы небоскрёбов существенно снижают ветровую нагрузку на здание, оптимально распределяя её по фасаду, и повышают показатель устойчивости небоскрёба. Все остальные не менее важные показатели, такие как уменьшение площади фасада, которое влечёт экономию облицовки и уменьшение количества стальных конструкций и, как следствие, существенно уменьшает вес здания в целом, также являются производными от использования бионических принципов формообразования небоскрёбов.

Необходимо изучение фрактальных форм, которые были созданы архитекторами при проектировании и строительстве уникальных зданий интуитивно, естественно сложившихся архитектурных элементов в формообразовании. Развитие бионики и нелинейной механики, а точнее её разделов, фрактальной геометрии и теории детерминированного хаоса, позволяет архитекторам развивать современную архитектуру и оптимизировать поиск новых форм в формообразовании высотных зданий. Это позволяют находить самые удивительные по форме и оригинальные по структуре архитектурные элементы. Именно развитие фрактальной архитектуры позволило создать уникальный стиль в архитектуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Питык Л. Бионика: прошлое, настоящее и будущее. Москва: Изд-во Эдитус, 2022. 308 с.

2. Баторевич Н.И., Кожицева Т.Д. Малая архитектурная энциклопедия. Санкт-Петербург: Изд-во Дмитрий Буланин, 2010. 738 с.
3. Sugar V., Leczovics P., Horkai A. Bionics in architecture // Journal of Built Environment. 2017. No 5(1). 0003. DOI: 10.1515/jbe-2017-0003
4. Mayatskaya I., Eremin V. Bionics and the choice of rational structural form // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2019. Vol. 110. p. 01042. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001042
5. Кушнер М. Будущее архитектуры. 100 самых необычных зданий. Москва: Изд-во АСТ, 2016. 176 с.
6. Трубе Г. Путеводитель по архитектурным формам. Москва: Изд-во Архитектура – С, 2014. 216 с.
7. Villesenor D. Architecture and nature. New York: Rizzoli, 2015. 334 p.
8. Чинь Ф.Д.К. Всё об архитектуре. Форма, пространство, композиция. Москва: Изд-во АСТ, 2024. 448 с.
9. Material innovation: architecture. London: Thames & Hudson Ltd, 2014. 224 p.
10. Гнедич П.П. Мировая архитектура. Москва: Изд-во Эксмо-Пресс. 2012. 240 с.
11. Баландин Р.К. Экология: Человек и природа. Москва: Изд-во Олма-Пресс, 2001. 350 с.
12. 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
13. Vishnevskaya E.V., Tolynbekova G.A., Nurkusheva L.T. Global and regional aspects of sustainable design in the frame of innovative technologies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. No 3. 033009. DOI: 10.1088/1757-899X/698/3/033009
14. Dmitriev D.S., Belostosky A.M., Nagibovich A.I. Scientific and technical support of the high-rise buildings design // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. No 2. 022064. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022064
15. Витюк Е. Ю., Юморина Ю. Е. Природные технологии как новый принцип формообразования в архитектуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 20 (4). С. 55-64. DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-55-64
16. Темнов В.Г. Конструктивные системы в природе и строительной технике (Ресурсосберегающие технологии проектирования). Санкт-Петербург: Изд-во Компьютер-бург. 2001. 65 с.
17. Темнов В.Г. Конструктивная оптимизация форм и структур архитектурно-функциональных пространств объектов среды обитания средствами САПР // Вестник гражданских инженеров. 2022. №. 4 (93). С. 47-57.
18. Mayatskaya I.A., Yazyeva S.B., Lapina A.P., Davydova V.V. Architectural bionics and the search for optimal solutions in the unique structures' design // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913. No 2. p. 022070. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022070
19. 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. No 3. p. 033046. DOI: 10.1088/1757-899X/698/3/033046
20. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Demchenko D. B., Yazyeva S.B. Creation of a comfortable environment in urban and rural settlements based on biotic principles // IOP Conference Series: Earth Environ. Science. 2021. Vol. 937. p. 042026. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042026
21. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Москва: Изд-во Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
22. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Москва: Изд-во Техносфера, 2006. 488 с.
23. Мандельброт Б. Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2009. 392 с.
24. Batty M., Longley P. Fractal Cities: a geometry of form and function. San Diego: Publishing Academic Press, 1994. 394 p.
25. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Kashina I., Gerlein N. Fractal geometry and design of modern structure // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. 02018. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102018

Информация об авторах

Маяцкая Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная механика и теория сооружений». E-mail: irina.mayatskaya@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Языев Батыр Меретович, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительная механика и теория сооружений». E-mail: ps62@yandex.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1. Казанский (Приволжский) федеральный университет. 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18, корп.1

Языева Светлана Борисовна, кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений». E-mail: iskra1917@bk.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Поступила 25.09.2024 г.

© Маяцкая И.А., Языев Б.М., Языева С.Б., 2025

^{1,*}Mayatskaya I.A., ^{1,2}Yazyev B.M., ¹Yazyeva S.B.

¹Don State Technical University

²Kazan (Volga region) Federal University

*E-mail: irina.mayatskaya@mail.ru

FEATURES OF BIONIC AND FRACTAL FORMS OF HIGH-RISE BUILDINGS

Abstract. The study of form-building in these areas makes it possible to create buildings that are new in form and structure. Bionic architecture is a part of architecture that uses forms and organization of biological objects based on mathematical modeling methods using fractal geometry methods. It is research in the field of mathematics that allows modern architects to find the form of a high-rise building, taking into account that each will have its own unique style. Such unique buildings fit harmoniously into the urban and environmental environment. The article considers the issues of creating high-rise buildings using the bionic approach, as well as fractal geometry methods. These areas of research should be studied when searching for optimal solutions in the process of designing and creating architectural objects. The use of these solutions in the designs of high-rise buildings is especially relevant. It is necessary to widely introduce mathematical modeling methods into practice, which creates conditions for more effective design of high-rise buildings in modern urban space. The rationality and optimality of architectural bionics objects and the use of the fractal method in shaping make it possible to find interesting forms of high-rise buildings.

Keywords: architecture, mathematical modeling, bionics, fractal, space, skyscraper.

REFERENCES

1. Pityk L. Bionics: past, present and future. [Bionika: proshloe, nastoyashchee i budushchee]. Moscow: Editus Publishing House, 2022. 308 p.(rus)
2. Batorevich N. I., Kozhitseva T. D. Small architectural encyclopedia. [Malaya arkhitekturnaya ehnciklopediya]. St. Petersburg: Dmitry Bulanin Publishing House, 2010. 738 p.(rus)
3. Sugar V., Leczovics P., Horkai A. Bionics in architecture. Journal of Built Environment. 2017. No. 5(1). 0003. DOI: 10.1515/jbe-2017-0003
4. Mayatskaya I., Eremin V. Bionics and the choice of rational structural form. E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2019. Vol. 110. 01042. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001042
5. Kushner M. The Future of Architecture. 100 of the most unusual buildings. [Budushchee arkhitektury. 100 samykh neobychnykh zdaniy]. Moscow: AST Publishing House, 2016. 176 p. (rus)
6. Trube G. Guide to architectural forms. [Putevoditel po arkhitekturnym formam]. Moscow: Architecture – C, 2014. 216 p. (rus)
7. Villesenor D. Architecture and nature. Rizoli. New York, 2015. 334 p.
8. Chin F.D.K. All about architecture. Form, space, composition. [Vsyo ob arkhitekture. Forma, prostranstvo, kompozitsiya]. Moscow: AST Publishing House, 2024. 448 p. (rus)
9. Material innovation: architecture. Thames & Hudson Ltd. London, 2014. 224 p.
10. Gnedich P.P. World architecture. [Mirovaya arhitektura]. Moscow: Publishing house Eksmo-Press. 2012, 240 p. (rus)
11. Balandin R. K. Ecology: Man and nature. [Ehkologiya: Chelovek i priroda]. Moscow: Olma-Press Publishing House. 2001, 350 p. (rus)
12. Dymchenko M.E., Dakoro M.F., Dadiyan D.G. The problem of form in modern architecture. E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. 02026. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102026
13. Vishnevskaya E.V., Tolynbekova G.A., Nurkusheva L.T. Global and regional aspects of sustainable design in the frame of innovative technologies. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698(3). 033009. DOI: 10.1088/1757-899X/698/3/033009
14. Dmitriev D.S., Belostosky A.M., Nagibovich A.I Scientific and technical support of the high-rise buildings design. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. No 2. 022064. DOI:10.1088/1757-899X/698/2/022064
15. Vityuk E. Yu., Humorina Yu. E. Natural technologies as a new principle of shaping in architecture. [Prirodnye tekhnologii kak novyy princip formoobrazovaniya v arkhitekture]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. No. 20 (4). Pp. 55–64. DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-55-64 (rus)
16. Temnov V. G. Constructive systems in nature and construction machinery (Resource-saving

design technologies). [Konstruktivnye sistemy v prirode i stroitel'noy tekhnike (Resursosberegayushchie tekhnologii proektirovaniya)]. St. Petersburg: Publishing house of Computerburg, 2001. 65 p. (rus)

17. Temnov V.G. Constructive optimization of forms and structures of architectural and functional spaces of habitat objects by means of CAD. [Konstruktivnaya optimizatsiya form i struktur arkhitekturno-funktsionalnykh prostranstv ob"ektov sredy obitaniya sredstvami SAPR]. Bulletin of Civil Engineers. 2022. No 4 (93). Pp. 47–57. (rus)

18. Mayatskaya I.A., Yazyeva S.B., Lapina A.P., Davydova V.V. Architectural bionics and the search for optimal solutions in the unique structures' design. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913. No 2. 022070. DOI:10.1088/1757-899X/913/2/022070

19. 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. No 3. 033046. DOI: 10.1088/1757-899X/698/3/033046

20. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Demchenko D. B., Yazyeva S.B. Creation of a comfortable envi-

ronment in urban and rural settlements based on bionic principles. IOP Conference Series: Earth Environ. Science. 2021. Vol. 937. 042026. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042026

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

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

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

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

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

Information about the authors

Mayatskaya, Irina A. PhD, Assistant professor. E-mail: irina.mayatskaya@mail.ru. Don State Technical University. Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Yazyev, Batyr M. DSc, Professor. E-mail: ps62@yandex.ru. Don State Technical University. Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1. Kazan Federal University. 420008 Kazan, 18 Kremlyovskaya street

Yazyeva, Svetlana B. PhD, Professor. E-mail: iskra1917@bk.ru. Don State Technical University. Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Received 25.09.2024

Для цитирования:

Маяцкая И.А., Языев Б.М., Языева С.Б. Особенности бионических и фрактальных элементов в формировании высотных зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 8. С. 72–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-8-72-81

For citation:

Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Yazyeva S.B. Features of bionic and fractal forms of high-rise buildings. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 8. Pp. 72–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-8-72-81