

УДК: 72.01
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.18
EDN: RIRXHF



Тенденции развития бионического подхода в архитектуре

Д.В. Серегин¹, Е.И. Прокофьев¹

¹ арх. Компания CROX, г. Шанхай, Китайская Народная Республика;
² Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Природа исторически являлась источником знания и вдохновения для архитекторов, позволяя создавать новые формы, подходы, конструктивные и инженерные решения. С развитием науки в теоретическом знании архитектуры появляется направление - Бионика. Тенденции развития данного направления расширяют и изменяют понимание архитектуры, что, в конечном итоге, преобразует создаваемую человеком среду. Анализируя актуальные вопросы данного подхода возможно сформировать и систематизировать архитектурный аппарат для решения многообразия вопросов архитектуры. Основной канвой и общей идеей бионики является гармонизация природы с архитектурой, позволяя природе и архитектуре быть взаимодополняющими элементами. Так же, важной частью бионического подхода является инновационность утилитарных решений архитектуры (конструктивных, функциональных эксплуатационных и др.), что позволяет находить более эффективные решения. *Целью исследования* является анализ исторического развития бионического подхода в архитектуре, понимание следственно-причинных связей бионических принципов и форм современных зданий и других архитектурных объектов. *Задачи исследования:* выделение в работах архитекторов ключевых моментов, повлиявших на формирование бионического подхода; определение основных бионических принципов; разработка графической схемы развития бионической концепции в архитектуре. *Основные результаты исследования* состоят в выявленной взаимосвязи этапов развития концепции бионики, пониманию логики современных вопросов и вызовов данного направления.

Выводы. Полученные результаты предлагают структурированную модель развития подхода с исторических предпосылок образования проблематики до настоящего времени.

Ключевые слова: бионика, биомиметика, биоморфизм, органика, рационализм, тектонизм, эмергентность

Для цитирования: Серегин Д.В., Прокофьев Е.И. Тенденции развития бионического подхода в архитектуре // Известия КГАСУ, 2024, № 2(68), с. 205-220, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.18, EDN: RIRXHF

Trends in development of the bionic approach in architecture

D. V. Seregin¹, E. I. Prokofiev¹

¹ Architectural company "CROX", Shanghai, China
¹ Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Nature has historically been a source of knowledge and inspiration for architects, allowing them to create new forms, approaches, constructive and engineering solutions. With the development of science, a direction called Bionics appears in the theoretical knowledge of architecture. Trends in the development of this area expand and

change the understanding of architecture, which ultimately transforms the environment created by man. Analyzing the current issues of this approach, it is possible to form and systematize an architectural apparatus for solving a variety of architectural issues. The main outline and general idea of bionics is the harmonization of nature with architecture, allowing nature and architecture to be complementary elements. Also, an important part of the bionic approach is the innovation of utilitarian architecture solutions (constructive, functional, operational, etc.), which allows us to find more effective solutions. *The purpose* of the study is to analyze the historical development of the bionic approach in architecture, to understand the causal relationships of bionic principles and forms of modern buildings and other architectural structures. *The objectives of the research* are to highlight the key points in the works of architects that influenced the formation of the bionic approach; to highlight the main bionic principles; to develop a graphical scheme for the development of the bionic concept in architecture. *The main results of the study* consist in the revealed interrelation of the stages of development of the concept of bionics, understanding the logic of modern issues and challenges in this area. *Conclusions.* The results obtained suggest a structured model for the development of the approach from the historical background of the formation of the problem to the present.

Keywords: bionics, biomimetics, biomorphism, organics, rationalism, tectonism, emergence

For citation: Seregin D. V., Prokofiev E.I. Trends in development of the bionic approach in architecture // News KSUAE, 2024, № 2(68), с. 205-220, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.18, EDN: RIRXHF

1. Введение

Взаимоотношения между природой и архитектурой сформированы очень давно [1, 2]. С древних времен и до настоящего времени академическая теория и практика пытаются проанализировать эквilibrium между этими двумя мирами.

Природа с ее сложностью, естественностью и эстетикой всегда была источником вдохновения для архитекторов. Начиная с древнейших цивилизаций природа из репрезентативно-монументального искусства стремилась интегрироваться в архитектурный код, быть неотъемлемой частью архитектурного замысла [3]. Образцом и «Венцом» такой интеграции стал Коринфский ордер - предмет долгой стилистической эволюции античного мира, привнеся в сам “код” классической архитектуры органику (Акант Коринфского ордера). Этот вектор вовлечения органики в архитектурный код, чем является ордер, можно назвать биоморфным принципом в классическом архитектурном замысле: (βίος /bíos/ - Жить и μορφή /morphé/ - Форма). Как природа проникала в архитектуру, так и архитектура проникала в природу - естественные элементы, природный ландшафт становившийся внутренней частью архитектурных объектов что стало другим аспектом бионики - биофилией в архитектуре: (βίος /bíos/ - Жить и φιλία /philia/ - Любить) [4]. Позднее, в средневековье Готика продолжает вовлечение в свой стиль органических элементов, и имея принципы выраженного структурно-эстетического артикулирования появляется конструктивная орнаментация и прото- биомиметика: (βίος /bíos/ - Жить и μίμησις /mimesis/ – подражание).

Рационализм 20 века был обусловлен сменой парадигм, сформированной в начале столетия с фундаментальным развитием естественных и точных наук, смешением дисциплин, что привело к распространению междисциплинарного подхода. Появилась математическая биология, которая в свою очередь стала интегрироваться как междисциплинарное знание в архитектуру 20 века [5,6]. Научный подход к архитектурно-строительным исследованиям природы в начале 1960-х годов привел к созданию нового научного и практического направления в архитектуре и строительстве – к «Архитектурной бионике» [7-9]. Слияние промышленного производства с бионическими принципами, привело к появлению новой концепции в архитектуре – Биотек [10,11]. С развитием стандартов архитектурной индустрии, что во многом связано с развитием применения компьютера, систем САПР (системы автоматизированного проектирования) и BIM (building information modeling), появлением новых методов расчета, создания и

анализа кривых в виртуальном пространстве, началось развитие комплексного эко подхода, содержащего комплексные стратегии бионики [12-14]. В архитектуре зданий и сооружений начинается имитация природных экосистем [15,16]. Таким образом, бионика направлена на создание устойчивой среды, находящейся в гармонии с экологией планеты, а также переходит в формат общественно-культурного явления [17,18].

Современный статус идей бионического подхода во многом связан с открытиями в сфере биологии, физики, математики, с развитием профессионального инструментария в архитектуре [19-21].

Целью исследования является анализ исторического развития бионического подхода в архитектуре, понимание следственно-причинных связей бионических принципов и форм современных зданий и других объектов.

Задачи исследования: выявление в работах архитекторов ключевых моментов, повлиявших на формирование бионического подхода; определение основных бионических принципов; разработка графической схемы развития бионической концепции в архитектуре.

2. Материалы и методы

Исследование основано на обзоре литературе, включающим исторические источники, современную практику, и также визуальный анализ архитектурных объектов. Был использован метод обобщения и структурирования полученной информации.

Исторический анализ предполагает выстраивание логики развития данной теории, начиная с ее образования, учитывая современное понимание вопроса. Начиная со времен античности, проводится углубленное изучение ключевых фигур и течения, таких как Антонио Гауди, модернизм 20 века : Фрайя Отто, Ф. Канделлы, Советскую школу. Целью этого анализа является понимание эволюции подхода и ключевых событий в развитии бионики в архитектуре.

Рассмотрены современные архитектурные практики, использующие принципы бионики, такие как Сантьяго Калатрава, Захи Хадид, Ма Яносона. Анализ включает изучение направления действующих проблематик: комплексные вопросы в практике и теоретические вопросы, на основе текстов, научных статей, публикаций самих авторов и исследований по ним.

Следуя изученным источникам проведен выбор иллюстраций, для наглядного представления о бионическом подходе в архитектуре. Систематизация информации, согласно результатам исследования исторических и современных практик, позволяет структурировать взаимосвязи в эволюции направления бионики. Он включает в себя выстроенную организацию информации с выделением ключевых моментов. Этот шаг имеет решающее значение для стратегического понимания эволюции бионики в архитектуре. Выбор данной методологии основан на выстраивании стратегического понимания развития Бионического направления. Понимание стратегии развития бионики дает несколько принципиальных преимуществ. Это позволяет составить более четкую наглядную схему по развитию направления - логику междисциплинарной интеграции природы, как источника знания и вдохновения, в актуальное научное знание для пользы и применения в архитектуре. Так же это позволит консолидировать понимание современных вопросов, которые являются шагом для перспективных горизонтов развития.

3. Результаты и обсуждение

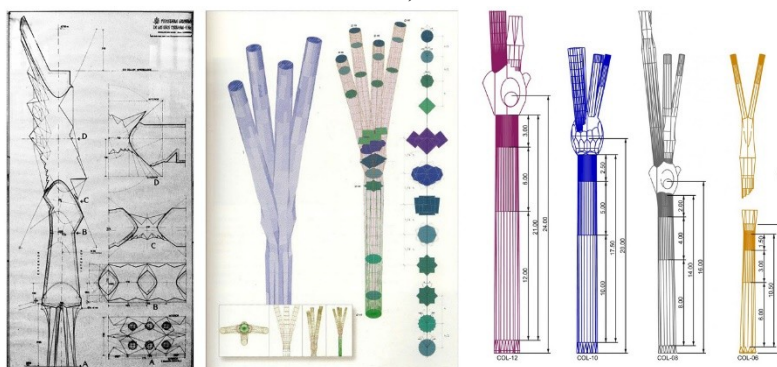
Бионика (биоморфность и биомиметика) в комплексном виде проявляется в творчестве знаменитого каталонского архитектора Антонио Гауди. Использование биоморфизма как в общем объёмно- пространственном подходе, так и в отдельных архитектурных и конструктивных элементах, используя их гармоничную интеграцию – это основа концептуального и языкового аппарата архитектора.

Наиболее ярким примером для анализа комплексного бионического подхода может быть рассмотрен интерьер нефа Базилики Саграда Фамилия с колоннадой и сводами – «каменного леса». Дизайн колонн, напоминающих деревья, обусловлен структурной

оптимизацией - ветвящиеся к сводам стержни позволяют нести большую нагрузку и перераспределять давление на конструкцию здания (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Элементы интерьера нефа Базилики «Саграда Фамилия»

а.- колоннада и своды нефа; б.- конструкции колонн. (Источник: <https://blog.sagradafamilia.org/>)

Fig. 1. Elements of the interior of the nave of the Sagrada Familia Basilica

a. - colonnade and vaults of the nave; b. - column designs. (Source: <https://blog.sagradafamilia.org/en/>)

В сводах использованы модули с параболическими поверхностями, обусловленные производственной оптимизацией, так же являются конструктивными жесткими элементами с экономией материала за счет их пустотной пространственной конфигурацией. Колонны со сводами создают бионический композит - новое решение следуя замыслу архитектора - созданием конструктивного “цветущего” (за счет модулей сводов) леса как концепции для интерьера базилики, помимо общего экспрессивного эстетического эффекта - распределяя нагрузку - позволяя достигать новых пропорций в пространстве одновременно экономя материал. Учитывая многообразие биоморфности и конструктивной биомиметики феномена архитектуры А. Гауди, проблематику подхода можно описать как «композитность и экотектоника» (состоящую из разнообразных элементов объединённых в объёмно-конструктивную систему).

В XX веке с развитием научного знания математические и природные закономерности стали более концептуально взаимопроникающими понятиями, нежели в более ранних исторических периодах, когда использование геометрических закономерностей природных форм было направлено на эстетический анализ (определение золотого сечения). Важной частью нового подхода является трактат Дарси Томпсона - шотландского ученого, основателя математической биологии - «О росте и форме», изданной в Кембридже в 1917 году, приводящей в соответствие преобразования в живой природе с математическими формулами и законами физики (рис. 2).

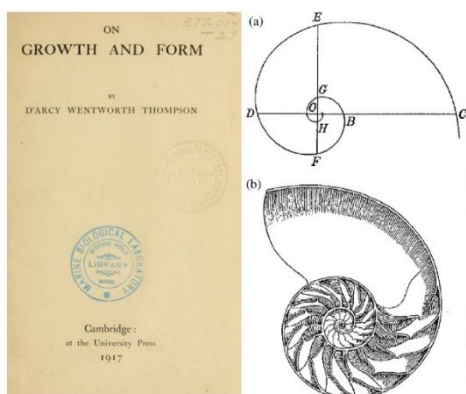


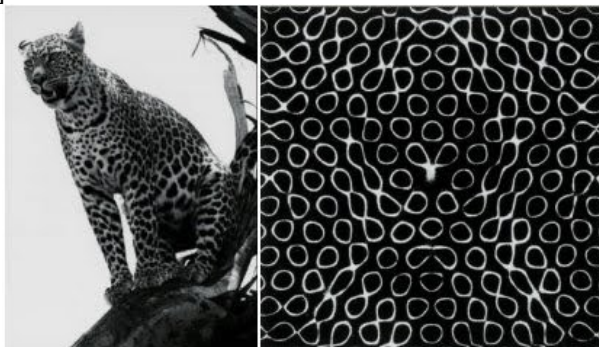
Рис. 2. Трактат «О росте и форме» Д. Томпсон 1917г.

(Источник: <https://en.wikipedia.org/>)

Fig. 2. Treatise “On Growth and Form” by D. Thompson 1917

(Source: <https://en.wikipedia.org/>)

В середине 20 века (50х годах) идеи математического биолога Алана Тьюринга являлись продолжением междисциплинарного слияния математики и природы, ставшими соответственно вопросами кибернетики и биоморфогенеза (рис. 3). «Он рассматривал природу как кодоносную, воплощающую процессы, полезные для машинного интеллекта. Возможно, он основывал свои морфогенетические исследования 1950-х гг. на вычислениях, вдохновленных биологией [4]. Его коды и расшифровки биологических объектов были задокументированы и сохранены для использования в компьютерном моделировании» [6].

Рис. 3. Паттерны А. Тьюринга (Источник: <https://www.researchgate.net>)Fig. 3. A. Turing patterns (Source: <https://www.researchgate.net>)

13 сентября 1960 года состоялся первый международный симпозиум «Живые прототипы искусственных систем – ключ к новой технике» по бионике, официально закрепивший появление новой науки и сам термин – «Бионика», предложенный американским исследователем Дж. Стилом. Таким образом, бионика – это междисциплинарная наука на стыке между биологией и техникой, решающая инженерные задачи на основе опыта живой природы.

Развитие использования железобетона в 20 веке вместе с целостным, холистическим подходом математического проектирования бионических поверхностей привело к распространению тонких бетонных оболочек, демонстрирующих органическое, самонесущее распределение нагрузки [6].

Тонкостенные бетонные оболочки проектировались как самостоятельные несущие элементы (рис. 4). Например, таким объектом является “индустриальный виадук” итальянского архитектора и инженера Серджио Мусмечи, художественный замысел которого был заключен в создании оболочки с экспрессией распределения внутренних нагрузок. Кроме того, для анализа развития бионики середины 20 века представляют интерес самонесущие перекрытия – работы с оболочками испано-мексиканского

архитектора Феликса Канделлы. Эти архитектурные объекты имеют свою логику: математическую конфигурацию кривизны, производства тонкостенных армированных бетонных оболочек и функционал общественных пространств. Так же с общим развитием модернистической пластики бетона появилась новая техника в архитектурном замысле, модернистическая экспрессия – терминал TWA американско-финского архитектора Ээро Сааринена. Вернулись идеи артикулированных конструкций на основе понимания внутренних распределений нагрузок как конструктивной и эстетической логики, выраженных в системах ребристых перекрытий с изометрическим рисунком – шерстяная фабрика Gatti архитектора Пьера Луиджи Нерви [22].

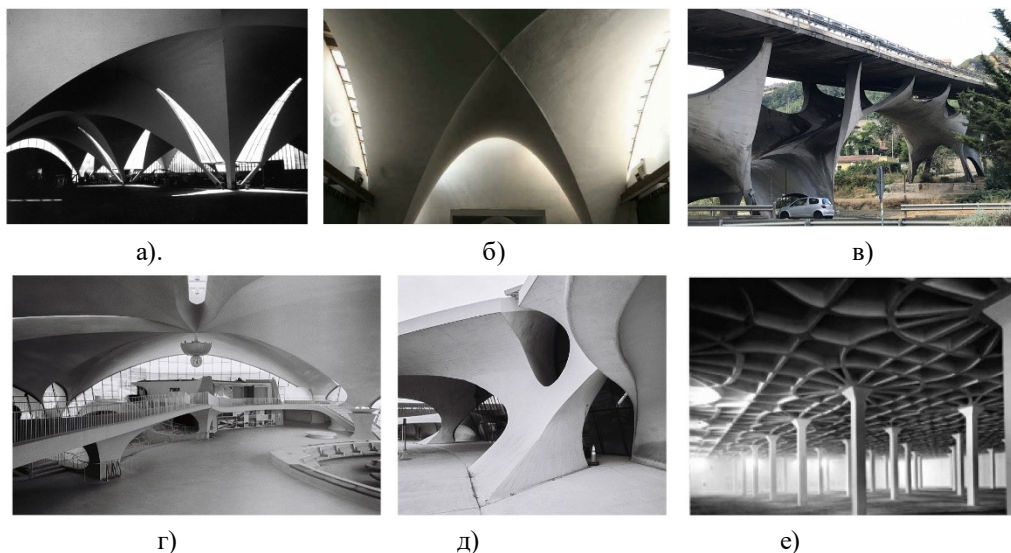


Рис. 4. Пластическое артикулирование конструкций и элементов из бетона
а.- крыша ромовой фабрики Бакарди, арх. Ф.Канделла ; б.- здание Мексиканской фондовой биржи, арх. Ф. Канделла ; в.- Индустриальный виадук, арх. С. Мусмечи; г.- терминал TWA (интерьер), арх. Э. Сааринен ; д.- терминал TWA (деталь экстерьера), арх. Э. Сааринен ; е- шерстяная фабрика Gatti, арх. П. Л. Нерви. (Источник: <https://www.archdaily.cl>)

Fig. 4. Plastic articulation of structures and elements made of concrete
a. - roof of the Bacardi rum factory, architect F. Candella; b. - building of the Mexican Stock Exchange, architect F. Candella; c.- Industrial viaduct, architect S. Musmeci; d. - TWA terminal (interior), architect E. Saarinen; e. - TWA terminal (exterior detail), architect E. Saarinen ; f. - Gatti wool factory, architect P. L. Nervi. (Source: <https://www.archdaily.cl>)

Помимо работ с бетонными конструкциями, архитекторы используют новые материалы и технологии на базе знаний о топологии, пространственных сетках, создавая качественно отличающиеся характеристики создаваемых ими объектов: геодезические купола Бахмистра Фуллера и, мягкие оболочки Фрая Отто (рис. 5).

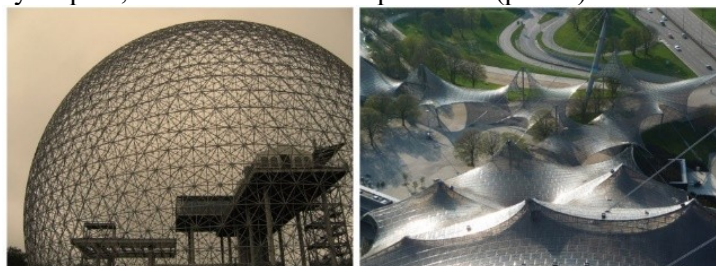


Рис. 5. Геодезические купола и мягкие оболочки
(Источник: <https://www.dezeen.com>)

Fig. 5. Geodesic domes and soft shells.
(Source: <https://www.dezeen.com/>)

Использование бионических подходов в архитектурной практике советской архитектуры было частью рационализации и конструктивной обоснованности новых

форм, что позволило решить конструктивные и эстетические вопросы крупных общественных проектов, поставив вопрос о фундаментальной утилитарности бионики в архитектуре, что в дальнейшем привело к идее массового производства органических форм (рис. 6).



а) б)
Рис. 6. Примеры бионики в СССР

а.- велотрек в Крылатском, арх. Н.И.Воронина, А.Г.Оспенников ; б.- эстрада певческого поля в Таллине, арх. А.Котли, Х.Сепманн. (Источник: <https://krylatskoe.com>)

Fig. 6. Examples of bionics in the USSR

a. - velodrome in Krylatskoye, architects N.I. Voronina, A.G. Ospennikov; b. - stage of the singing grounds in Tallinn, architects A. Kotli, H. Sepmann. (Source: <https://krylatskoe.com>)

Среди научных направлений, занимавшимися исследованиями и практической реализацией природных принципов в строительстве и архитектуре, следует выделить немецкую исследовательскую группу «Биология и строительство» под руководством Фрая Отто (1925 – 2015), а также группу советских специалистов, которую объединил и возглавил Юрий Сергеевич Лебедев (1921 – 1992). Одним из фундаментальных идей Ю.С. Лебедева была работа над проблематикой целостности бионики [7,8].

В 2004 году выходит книга архитектора и теоретика Детлефа Мертиса «Биоконструктивизм» в развитие идей стратегического использования материалов и бионических подходов в архитектуре. Книга, написанная на основе анализа работ Фрая Отто, обозначает новое направление в архитектуре.

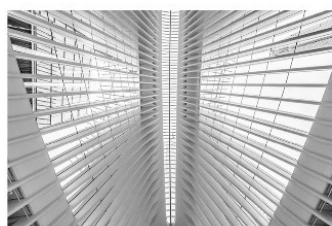
Слияние промышленного производства с бионическими принципами, привело к появлению новой концепции в архитектуре - биотек. Основа концепции биотека представляют собой симбиоз биологического ориентирования с эффективностью промышленного массового производства.

Сантьяго Калатрава является пионером в этом движении [9]. Он использует свой особый подход к сегментированию элементов дизайна для создания органических форм, которые неразрывно связаны с процессами промышленного производства. Благодаря стратегическому использованию сегментированной геометрии, архитектурные композиции С. Калатравы служат примером принципов биотехнологии, где повторение и модульность облегчают не только создание динамических органических структур, но также масштабируемость и эффективность, необходимые для индустриализации изготовления целостного архитектурного объёма.

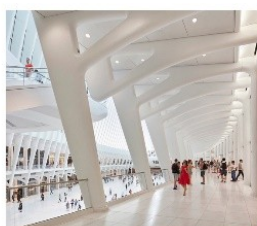
Центральным элементом методологии С. Калатравы является признание того, что сегментация архитектурных форм отражает эффективность промышленных производственных процессов [10]. Каждый сегмент, тщательно спроектированный и изготовленный заранее, способствует общей согласованности и структурной целостности здания, одновременно оптимизируя производственный процесс. Этот акцент на сегментацию и промышленное массовое производство не только позволяет реализовать сложные органические формы, но и способствует ритмической пространственной организации в проектах С. Калатравы. Повторение сегментированных элементов создает ощущение плавности и движения, напоминающее природные формы, элементы живых организмов (рис. 7).



а)



б)



в)



г)

Рис. 7. Сегментированная биоморфология архитектуры Сантьяго Калатравы
а.- Музей науки принца Филиппа; б.- атриум Окулуса ; в.- галерея Окулуса ; г.- экстерьер
Окулуса. (Источник: <https://calatrava.com/>)

Fig. 7. Segmented biomorphology of Santiago Calatrava's architecture
а.- Prince Philip Science Museum; б.- Oculus atrium; в.- Oculus gallery; г.- Oculus exterior.
(Source:<https://calatrava.com/>)

С развитием компьютерных программ в области проектирования стал развиваться биоморфный экодход. MAD Architects, используя биофильные фасады и биоморфные формы, создают среду, гармонирующую с природой и отвечающую современным архитектурным требованиям. Vincent Callebaut Architectures, имитируя природные экосистемы и отдавая приоритет экологической устойчивости, демонстрируют целостный подход к устойчивой архитектуре [14,15]. Heatherwick Studio с помощью комбинаторных методов, таких как вертикальные сады и зеленые крыши, переосмысливают городские ландшафты, способствуя биоразнообразию и устойчивому образу жизни (рис. 8).

К актуальным вопросам современной бионики можно отнести применение параметрики, кодирования в проектном процессе, а также использование современных инструментов в создании и конструировании и производстве 3д печати, роботов и т.д. [20, 21].

Как примеры развития концепции бионики на основе актуального теоретического и технологического контекста можно рассмотреть несколько актуальных аспектов: эмерджентность, тектонизм.



а)

б)

в)

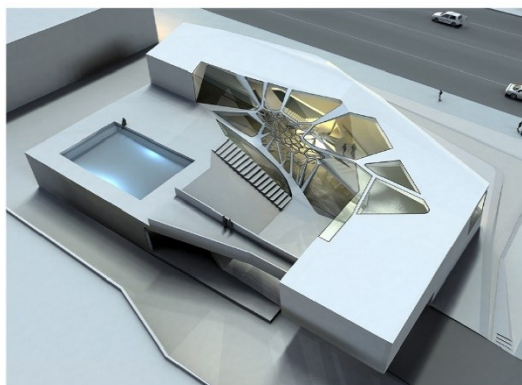
Рис. 8. Биоморфный экоподход

а.- концепция “Париж 2050” арх. В. Каллебо; б.- Олимпийский парк в Цюйчжоу, арх. М. Янсон; в.- комплекс “1000 деревьев”, арх. Т.Хедервик. (Источник: <https://vincent.callebaut.org/>, <http://www.i-mad.com>, <https://www.heatherwick.com/>)

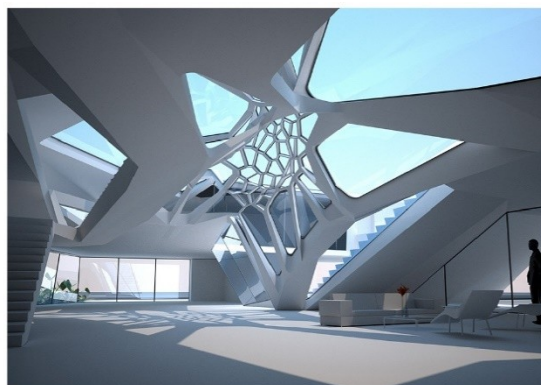
Fig. 8. Biomorphic eco-approach

a.- concept “Paris 2050”, architect V. Callebaut; b.- Olympic Park in Quzhou, architect M. Yansong; c. - complex “1000 trees”, architect T. Heatherwick. (Sources: <https://vincent.callebaut.org/>, <http://www.i-mad.com>, <https://www.heatherwick.com/>)

Эмерджентность (emergence - появление) - (в контексте биоконструктивизма) концепция синтезирования на стыке биологии и теории систем. Она выражена в работах архитекторов Тома Вискомба, Рональда Снукса и может быть сформулирована на примере практики Тома Вискомба как последовательные соотношения между системами здания в направлении возникающей целостности более высокого порядка, сохраняющей при этом перформативную раздельность этих систем (рис. 9) [22].



а)



б)

Рис. 9. Биоморфная эмерджентность на примере структурного витража Cell House, арх. Том Вискомб; а. - экстерьер; б.-интерьер (Источник: <https://tomwiscombe.com/CELL-HOUSE>)

Fig. 9. Biomorphic emergence using the example of structural window in Cell House, architect Tom Wiscombe; a. - exterior; б.-interior (Source: <https://tomwiscombe.com/CELL-HOUSE>)

Тектонизм (в контексте параметрики) – направление, разрабатываемое компанией Zaha Hadid Architects, под руководством со-основателя компании, архитектора Патрика Шумахера. Он представляет собой интегрированный объёмно - конструктивный подход, артикулирующий структурными аспектами в создании органической экспрессии и инновационных решений (рис. 10) [23, 24].



Рис. 10. Параметрический тектонизм Zaha Hadid Architects на примере экзоскелета One Thousand Museum а. - общий вид; б.- деталь экстерьера. (Источник: <https://www.zaha-hadid.com/>)
 Fig. 10. Parametric tectonism by Zaha Hadid Architects on the example of the One Thousand Museum exoskeleton а. - general view; б. - exterior detail. (Source: <https://www.zaha-hadid.com/>)

Биомиметика и роботизированное производство организовано в работах института вычислительного проектирования и строительства Штутгартского университета под руководством проф. Ахима Менгеза [25]. Он использует конструкции из углеродного волокна и производство шелковых нитей арахнидами, воспроизводя процесс через вычислительные методы - кодирование (рис. 11) [26].



Рис. 11. Биомиметика и роботизированное производство на примере работ А. Менгеза
 а.- деревянный павильон BUGA ; б.- исследовательский павильон ICD/ITKE.
 (Источник: <http://www.achimmenges.net/>)
 Fig. 11. Biomimetics and robotic production on the examples of works by A. Menges
 А - BUGA wooden pavilion; б.- ICD/ITKE research pavilion.
 (Source: <http://www.achimmenges.net/>)

Междисциплинарный подход архитектора Нери Оксман сосредоточен на интеграции биоорганизмов, поведенческом программировании, органической печати [27]. Благодаря особому видению ее работы расширяют общее понимание архитектурной проблематики бионики (рис. 12).

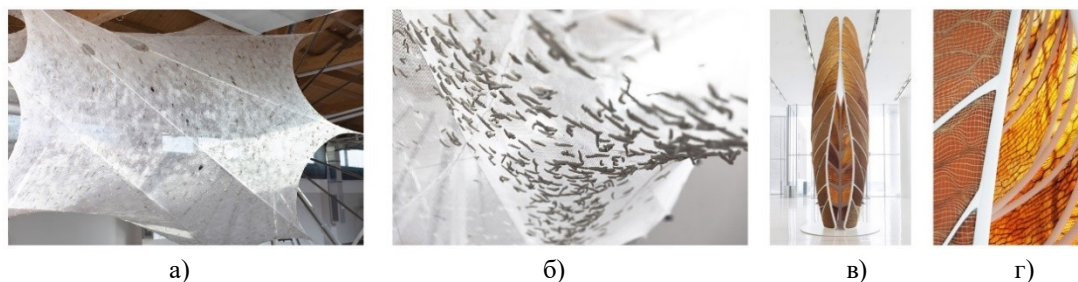


Рис. 12. Поведенческое программирование и биопечать на примере работ Н.Оксман
а.- шелковый павильон; б.- шелкопряды; в.- “Агуахоа” г. - деталь “водяного листа”
(Источник: <https://oxman.com/>)

Fig. 12. Behavioral programming and bioprinting on the examples of works by N. Oxman
a.- silk pavilion; b.- silkworms; c.- “Aguahoja” d.- detail of the “water leaf” (Source:
<https://oxman.com/>)

Одной из основных особенностей современной бионики является возможность применять более развитый чем ранее аппарат моделирования, симуляции и вычисления бионических процессов [28]. При этом, основываясь на рационалистическом фундаменте подхода, можно увидеть взаимосвязь между идеей развития продуктивности инструментария и фактической необходимостью углубления понимания бионической теории [29]. Таким образом, создается запрос на развитие теоретического и практического знания бионики и знание о его применимости в архитектурной практике как катализатора развития гармонизационного процесса и эффективных архитектурных решений. [30, 31].

Проведенный анализ основан и подтверждает следующие основные бионические принципы: биофилия, биомиметика, биоморфизм (рис. 13).



Рис. 13. Бионические принципы (Источник: иллюстрация авторов)
Fig. 13. Bionic principles (Source: illustration by the authors)

Общая канва развития бионики является гармонизацией архитектуры и природы, развитие концептуального знания открывают новые горизонты, уровни для данной гармонизации, становящейся все более «всеобъемлющей». Данная многоуровневость бионической гармонизации позволяет расширить аппарат для решения общих архитектурно-эстетических задач, что проводит параллель между рационализмом и культурной практики архитектуры [32]. Бионический подход в архитектуре эволюционировал из эстетическо-морфологического аспекта в рационалистический подход, который с развитием научного знания стал междисциплинарным подходом. Из вопросов творческой экспрессии с развитием современного аппарата анализа архитектуры методология бионики стала стратегией принятия эффективных решений [33].

С развитием индустрии архитектуры и запросов общества бионический подход стал использоваться как комплексный эко-язык, позволяющий воспроизводить природные

формы и становится новым культурным слоем в архитектурной среде. Экспериментальные и инновационные проекты актуальных вопросов позволяют понять актуальную повестку бионической концепции. Графическая схема является иллюстрацией развития бионической концепции в архитектуре, с выделением взаимосвязей при развитии теории и приход к актуальным вопросам бионики – рис 14.

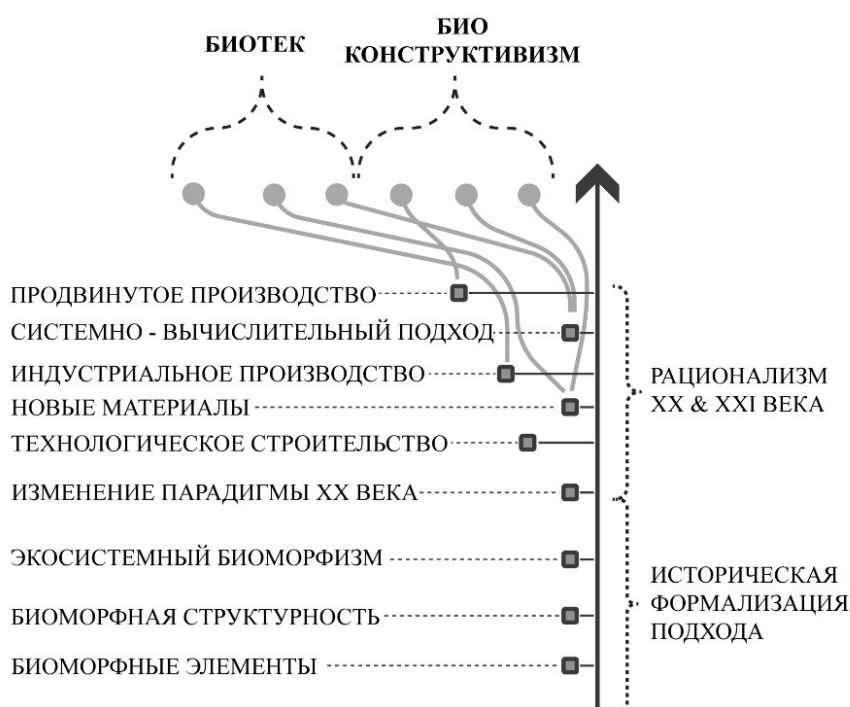


Рис. 14. Схема развития бионики (Источник: иллюстрация авторов)
Fig. 14. Bionic principles (Source: Illustration by the authors)

4. Заключение

1. В результате выполнения исследования были изучены основные особенности бионики, проявление их в работах архитекторов древности и современных мастеров.

2. Выявлены основные бионические принципы: биофилия, биомиметика, биоморфизм. Биофилия предполагает использование природных элементов в архитектуре. Биомиметика направлена на применение природных стратегий в архитектуре, для проектирования более качественных зданий. Биоморфизм предполагает внедрение природных форм, паттернов и текстур в архитектуру зданий, сооружений.

3. Предложена общая графическая канва развития бионики в виде взаимосвязанной схемы с привязкой к историческим периодам развития искусства.

Список литературы / References

1. Айдарова Г. Н., Краснобаев И. В. Дерево в архитектуре прибрежных территорий исторического центра Казани // Жилищное строительство. – 2019. – № 1-2. – С. 30-34. – [Aidarova G. N., Krasnobaev I. V. A tree in the architecture of the coastal territories of the historical center of Kazan // Housing construction. – 2019. – No. 1-2. – P. 30-34.] DOI 10.31659/0044-4472-2019-1-2-30-34. – EDN YYTEQX.
2. Zakirova J., Khusnutdinova S. The problems of formation and conservation of the green frame (green carcass) of the satellite city (on the example of Zelenodolsk) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Kazan, September 27–29, 2017. Vol. 107. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012139. – DOI 10.1088/1755-1315/107/1/012139. – EDN XXGENV.
3. Воробьев А. Е., Воробьев К. А. Бионическое обоснование современных технологий // Вестник Астраханского государственного технического

- университета. – 2020. – № 1(69). – С. 44-57. [Vorobyov A. E., Vorobyov K. A. Bionic substantiation of modern technologies// Bulletin of the Astrakhan State Technical University. – 2020. – № 1(69). – P. 44-57.] – DOI 10.24143/1812-9498-2020-1-44-57. – EDN CYXNUQ.
4. Томченко Е. М., Мухнурова И. Г. Архитектурно-строительная бионика// Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 года / Редколлегия: Э.А. Дмитриев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – С. 171-173. [Tomchenko E. M., Mukhnurova I. G. Architectural and construction bionics// Youth and Science: actual problems of fundamental and applied research: Materials of the III All-Russian National Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. In 3 parts, Komsomolsk-on-Amur, April 06-10, 2020 / Editorial Board: E.A. Dmitriev (ed.) [et al.]. Part 2. – Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-on-Amur State University, 2020. – P. 171-173.] – EDN UOXXCO.
 5. Уморина Ж. Э. Цифровой морфогенез бионической архитектуры // Инновации в социокультурном пространстве: Материалы XVI Международной научно-практической конференции, Благовещенск, 20 апреля 2023 года. Том Часть II. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2023. – С. 50-52. [Umorina J. E. Digital morphogenesis of bionic architecture // Innovations in the socio-cultural space: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference, Blagoveshchensk, April 20, 2023. Volume Part II. – Blagoveshchensk: Amur State University, 2023. – P. 50-52.] – DOI 10.22250/9785934934096_50. – EDN ZZDMDQ.
 6. Козлов Д. Ю., Лебедев Ю.С. и становление архитектурной бионики как нового научного направления // Бионика - 60 лет. Итоги и перспективы : Сборник статей Первой Международной научно-практической конференции, Москва, 17–19 декабря 2021 года / Под редакцией А.П. Карпенко. – Москва: Ассоциация технических университетов, 2022. – С. 66-77. [Kozlov D. Yu., Lebedev Yu.S. and the formation of architectural bionics as a new scientific direction // Bionics - 60 years. Results and prospects: Collection of articles of the First International Scientific and Practical Conference, Moscow, December 17-19, 2021 / Edited by A.P. Karpenko. – Moscow: Association of Technical Universities, 2022. – P. 66-77] – DOI 10.53677/9785919160496_66_77. – EDN ZJYDPM.
 7. Лебедев Ю.С. Архитектура и бионика Стройиздат. Москва. 1990. – С. 267 [Lebedev Yu.S. Architecture and Bionics Stroyizdat. Moscow. 1990. – 267 p.]
 8. Чмир Ю. Э. Современное состояние и перспективы развития архитектурной бионики// Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2018. – Т. 21, № 4(70). – С. 61-68. [Chmir Yu. E. The current state and prospects of development of architectural bionics// Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin). - 2018. – vol. 21, No. 4(70). – P. 61-68.] – EDN YZTDDV.
 9. Лангольф А. А. Архитектурная бионика в работах Сантьяго Калатравы // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ: Материалы международной научно-практической конференции. Сборник статей, Москва, 02–06 апреля 2018 года. – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2018. – С. 119-121. [Langolf A. A. Architectural bionics in the works of Santiago Calatrava // Science, education and experimental design. Proceedings of the MARCHI: Proceedings of the international scientific and practical conference. Collection of articles, Moscow, 02-06 April, 2018. – Moscow: Moscow Architectural Institute (State Academy), 2018. – P. 119-121.] – EDN FHDVRW.
 10. Shuaizhong Wang, Toni Kotnik, Joseph Schwartz, Ting Cao, Equilibrium as the common ground: Introducing embodied perception into structural design with graphic

- statics, *Frontiers of Architectural Research*, Volume 11, Issue 3, 2022, P. 574-589, ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.01.001>
11. Окунская О. В. Серяков В. А. Анализ формообразования в стиле биоморфизм// *Gaudeamus Igitur*. – 2015. – № 1. – С. 116-117 [Okunskaya O. V. Seryakov V. A. Analysis of morphogenesis in the style of biomorphism // *Gaudeamus Igitur*. – 2015. – No. 1. – P. 116-117]. – EDN UIVJTH.
 12. Yannis Zavoleas, Patterns of nature: Bio-systemic design thinking in meeting sustainability challenges of an increasingly complex world, *Developments in the Built Environment*, Volume 7, 2021, 100048, ISSN 2666-1659, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100048>
 13. Рагужина О. И., Абдулина А. М. Бионика в архитектуре как реализация экологических концепций современности// *Образование и наука в современном мире. Инновации*. – 2022. – № 5(42). – С. 50-56. [Raguzhina O.I., Abdulina A.M. Bionics in architecture as the implementation of environmental concepts of modernity // *Education and science in the modern world. Innovation*. – 2022. – No. 5(42). – P. 50-56.] – EDN JNAHJM.
 14. Кишко Е. Д., Предохина О. А. Архитектурная бионика: целесообразность использования природных аналогов в архитектурных сооружениях// *Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ*. – 2018. – Т. 2. – С. 117-121 [Kishko E. D., Predokhina O. A. Architectural bionics: the feasibility of using natural analogues in architectural structures // *New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU*. – 2018. – Vol. 2. – P. 117-121]. – EDN XPCUNN.
 15. Быкова Г. И., Иванова Е. И., Косточкина О. В. Использование принципов бионики в архитектуре // *Вестник Московского информационно-технологического университета - Московского архитектурно-строительного института*. – 2021. – № 3. – С. 15-18. [Bykova G. I., Ivanova E. I., Kostochkina O. V. Using the principles of bionics in architecture // *Bulletin of Moscow Information Technology University - Moscow Architectural and Construction Institute*. – 2021. – No. 3. – P. 15-18.] DOI 10.52470/2224669X_2021_3_15. – EDN CTLUYH.
 16. Weijie Zhong, Torsten Schroeder, Juliette Bekkering, Designing with nature: Advancing three-dimensional green spaces in architecture through frameworks for biophilic design and sustainability, *Frontiers of Architectural Research*, Volume 12, Issue 4, 2023, P. 732-753, ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.03.001>.
 17. Стрижак А. В., Казакова Н. Ю. К вопросу о происхождении и использовании термина "биоморфизм"/ *Дизайн и технологии*. – 2020. – № 78(120). – С. 14-21. [Strizhak A.V., Kazakova N. Y. On the question of the origin and use of the term "biomorphism"/ *Design and technology*. – 2020. – № 78(120). – P. 14-21] – EDN KFQJHC.
 18. Diana A. Chen, Leidy E. Klotz, Brandon E. Ross, Mathematically Characterizing Natural Systems for Adaptable, *Biomimetic Design*, *Procedia Engineering*, Volume 145, 2016, P. 497-503, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.031>.
 19. Louis Vitalis, Natasha Chayaamor-Heil, Forcing biological sciences into architectural design: On conceptual confusions in the field of biomimetic architecture, *Frontiers of Architectural Research*, Volume 11, Issue 2, 2022, P. 179-190, ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.10.001>.
 20. Saurav Dixit, Anna Stefańska, Bio-logic, a review on the biomimetic application in architectural and structural design, *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 14, Issue 1, 2023, 101822, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101822>
 21. Корниенко С. В. Биомиметика: идеи, вдохновленные природой // *Социология города*. – 2021. – № 4. – С. 27-38. [Kornienko S. V. Biomimetics: ideas inspired by nature // *Sociology of the city*. - 2021. – No. 4. – P. 27-38.] – EDN NEYSLW.
 22. Wiscombe T., Zellner P., *Emergent: Structural Ecologies*. Los Angeles: Aacdu Publishing 2009.

23. Schumacher P. Tectonism: Architecture for the 21st Century London: Images Publishing 2023.
24. Добрицына И. А. Концепции биоморфизма и параметризма в современной архитектуре: проблемы и перспективы // Academia. Архитектура и строительство. – 2019. – № 3. – С. 51-57. [Dobritsyna I. A. Concepts of biomorphism and parametrisation in modern architecture: problems and prospects // Academia. Architecture and construction. – 2019. – No. 3. – P. 51-57.] – DOI 10.22337/2077-9038-2019-3-51-57. – EDN JKQMUD.
25. Menges, “Biomimetic design processes in architecture: Morphogenetic and evolutionary computational design,” *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 7, no. 1, 2012. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/7/1/015003>
26. Wang, J. Application of bionics in urban and architectural design / J. Wang, X. Sun, M. V. Syschik // *New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU*. – 2020. – Vol. 2. – P. 49-55. – EDN NMYGRM.
27. Витюк Е. Ю., Уморина Ж. Э. Природные технологии как новый принцип формообразования в архитектуре// Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Т. 20, № 4. – С. 55-64. [Vityuk E. Yu., Umorina J. E. Natural technologies as a new principle of shaping in architecture// *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. – 2018. – Vol. 20, No. 4. – P. 55-64.] – DOI 10.31675/1607-1859-2018-20-4-55-64. – EDN XWCDAL.
28. Воронова А. А., Сагалаев А. В. Бионика в современной архитектуре // *Строительство и архитектура - 2015 : материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 26–27 ноября 2015 года / ФГБОУ ВПО "Ростовский государственный строительный университет", Союз строителей южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. Том 4. – Ростов-на-Дону: Редакционно-издательский центр РГСУ, 2015. – С. 116. [Voronova A. A., Sagalaev A.V. Bionics in modern architecture // *Construction and Architecture 2015 : materials of the International scientific and practical conference, Rostov-on-Don, November 26-27, 2015 / Rostov State University of Civil Engineering, Union of Builders of the Southern Federal District, Association of Builders of the Don. Volume 4. – Rostov-on-Don: Editorial and Publishing Center of the Russian State University of Economics, 2015. – P. 116.] – EDN VARJPR.**
29. Уморина, Ж. Э. Природоподобные конструкции бионической архитектуры // *Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ*. – 2017. – Т. 3. – С. 378-382. [Umorina, J. E. Nature-like constructions of bionic architecture // *New ideas of the new century: proceedings of the international scientific conference of the Federal State University of Economics*. – 2017. – Vol. 3. - P. 378-382.] – EDN YKQXWV.
30. Vincent JFV, Bogatyreva OA, Bogatyrev NR, Bowyer A, Pahl AK. Biomimetics: Its practice and theory. *J R Soc Interface* 2006;3(9):471–82. doi: <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>.
31. Комарова А. А., Клименко П. Я. Биомиметические принципы в архитектурном проектировании // *Архитектон: известия вузов*. – 2021. – № 2(74). [Komarova A. A., Klimenko P. Ya. Biomimetic principles in architectural design // *Architecton: news from universities*. – 2021. – No. 2(74).] – DOI 10.47055/1990-4126-2021-2(74)-3. – EDN DPRCVM.
32. Shaimaa El-Ghobashy, Gihan Mosaad, *Nature Influences on Architecture Interior Designs, Procedia Environmental Sciences, Volume 34, 2016, P. 573-581, ISSN 1878-0296, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.050>*.
33. Vinicius Mizobuti, Luiz C.M. Vieira Junior, *Bioinspired architectural design based on structural topology optimization, Frontiers of Architectural Research, Volume 9, Issue 2, 2020, P. 264-276, ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.002>*.

Информация об авторах

Прокофьев Евгений Иванович, кандидат архитектуры, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Российская Федерация

E-mail: zhenya.prokofiev@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0609-7176

Серегин Дмитрий Владимирович, архитектурная компания CROX, Шанхай, Китай, директор по архитектурному проектированию и дизайну.

E-mail: seregindmitryarchitect@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7448-8891

Information about the authors

Evgenii I. Prokofiev, candidate of architecture, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering

E-mail: zhenya.prokofiev@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0609-7176

Dmitry V. Seregin, architectural company “CROX”, Shanghai, China, director of architecture & design

E-mail: seregindmitryarchitect@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7448-8891