

УДК 69.036

ГЕОМЕТРИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННО-КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ БИОНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Снежкина Ольга Викторовна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

Заведующий кафедрой «Начертательная геометрия и графика».

Максяшева Арина Михайловна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

студент.

Лопатина Виктория Дмитриева,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

студент.

Аннотация

Рассматриваются пространственно-конструктивные системы бионических сооружений, представляющих собой совокупность инженерных решений, основанных на принципах организации живых систем, ключевая особенность которых заключается в синтезе геометрической формы, структуры и функции, что обеспечивает высокую эффективность, адаптивность и экономичность. Приведены основные характеристики, конструктивные особенности, биологические аналоги бионических сооружений, разделенных по группам на: каркасные системы, оболочечные конструкции, сетчатые и решетчатые структуры, тенсегрити-системы, фрактальные и иерархические структуры, кинетические и адаптивные структуры, а также комбинированные (гибридные) системы.

Ключевые слова: бионические сооружения, пространственно-конструктивные системы, геометрия бионической архитектуры

GEOMETRY AND SPATIAL-STRUCTURAL SYSTEMS OF BIONIC STRUCTURES

Maksyasheva Arina Mikhailovna,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
student.*

Lpatina Victoria Dmitrievna,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
student.*

Snezhkina Olga Viktorovna,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
Head of the Department of Descriptive Geometry and Graphics.*

Abstract

This article examines the spatial-structural systems of bionic structures, which represent a set of engineering solutions based on the principles of organizing living systems. Their key feature is the synthesis of geometric form, structure, and function, ensuring high efficiency, adaptability, and cost-effectiveness. The article presents the main characteristics, design features, and biological analogs of bionic structures, divided into groups: frame systems, shell structures, mesh and lattice structures, tensegrity systems, fractal and hierarchical structures, kinetic and adaptive structures, and combined (hybrid) systems.

Keywords: bionic structures, spatial-structural systems, bionic architecture geometry

Современная архитектура все чаще обращается к междисциплинарным подходам, одним из которых является бионика — область знаний, изучающая принципы организации живых систем и их применение в технике и строительстве, основанное на заимствовании структурных, функциональных и формообразующих принципов живой природы. Бионические сооружения формируют новое направление архитектурного проектирования,

ориентированное на создание устойчивых, экономичных и эстетически выразительных конструкций. Основным методом является функциональная аналогия, позволяющая переносить природные закономерности в архитектурные решения. Природа выступает как оптимизирующая система, в которой конструкции формируются с минимальными затратами материала при максимальной прочности.

Геометрия бионической архитектуры отличается отказом от традиционных ортогональных схем в пользу: криволинейных поверхностей; оболочечных структур; фрактальных и самоподобных форм; геодезических и сетчатых систем.

В отличие от классической евклидовой геометрии, бионическая архитектура опирается на сложные нелинейные формы, часто описываемые методами дифференциальной геометрии и параметрического моделирования. В качестве примера можно привести гиперболические и параболические поверхности, активно использованные в работах Антонио Гауди, где пространственная форма обеспечивает одновременно эстетическую выразительность и конструктивную устойчивость.

В отличие от традиционных строительных систем, бионические конструкции формируются не по принципу геометрической простоты, а по законам природной оптимизации — минимизации энергии, равномерного распределения напряжений и адаптации к внешним воздействиям.

Пространственно-конструктивные системы бионических сооружений формируются на основе принципов морфогенеза и структурной организации живых организмов. В их основе лежит не только подражание внешней форме, но и воспроизведение внутренних закономерностей распределения усилий, адаптации и самоорганизации.

Ключевой особенностью является интеграция геометрии и механики: форма конструкции определяется условиями работы материала, подобно тому как в природе структура формируется под действием нагрузок и внешней среды.

К основным типам пространственно-конструктивных систем относятся: каркасные системы; оболочечные конструкции; сетчатые и решетчатые

структуры; тенсегрити-системы; фрактальные и иерархические структуры; кинетические и адаптивные структуры; а также комбинированные (гибридные) системы.

Каркасные системы бионического типа основаны на аналогии с опорными структурами живых организмов: скелеты животных и древовидные структуры (стволы, ветви и корневые системы). Такие системы формируются из стержневых элементов, работающих преимущественно на сжатие и изгиб, обеспечивая высокую прочность при минимальном расходе материала. Особенностью бионических каркасов является: иерархичность структуры (наличие элементов разных масштабов); переменная плотность материала (усиление в зонах максимальных нагрузок); разветвлённая геометрия (алгоритмы L-систем). Принцип ветвления используется при проектировании опор покрытий больших пролётов, где нагрузка распределяется по системе разветвлённых стоек, аналогичных корневой системе или кроне дерева, что обеспечивают высокую прочность при минимальном расходе материала.

В качестве примера можно привести:

- Католический храм Sagrada Família — колонны внутри храма, спроектированные Антонио Гауди, имеют форму ветвящихся деревьев. Нагрузка от сводов распределяется по наклонным «ветвям», что снижает изгибающие моменты и повышает устойчивость (Рис. 1).



Рисунок 1 – Католический храм Sagrada Família в Барселоне

- Аэропорт Шереметьево (терминал D) — интерьеры используют колонны с разветвлённой верхней частью, напоминающей крону дерева (Рис. 2).



Рисунок 2 – Аэропорт Шереметьево (терминал D)

Оболочечные конструкции являются одной из наиболее характерных форм бионической архитектуры, представляют собой тонкие изогнутые поверхности. Их прототипами служат природные объекты: скорлупа яйца, раковины моллюсков, панцири насекомых. Основные характеристики: малая толщина при высокой несущей способности; работа конструкции преимущественно на сжатие и растяжение; криволинейная геометрия (сферические, гиперболические, параболические поверхности); высокая пространственная жёсткость; минимизация изгибающих усилий. Повышенной устойчивостью за счёт пространственной жёсткости имеют двоякокриволинейные поверхности (такие формы позволяют перекрывать значительные пролёты без внутренних опор). Мембранные конструкции (например, тентовые покрытия) функционируют аналогично биологическим тканям, перераспределяя нагрузки за счёт натяжения.

В качестве примеров можно привести:

- Сиднейский оперный театр — оболочечные покрытия в виде сегментов сфер, обеспечивающие жёсткость и выразительную форму (Рис.3.).
- Олимпийский стадион Мюнхена — мембранная крыша, напоминающая структуру паутины или натянутой ткани (Рис.4).



Рисунок 3 – Сиднейский оперный театр



Рисунок 4 – Олимпийский стадион Мюнхена

- Центр Гейдара Алиева — плавная оболочка без чётких границ между стенами и крышей, демонстрирует непрерывность формы (Рис.5).



Рисунок 5 – Центр Гейдара Алиева

Сетчатые и решетчатые структуры широко применяются в бионических сооружениях благодаря их сходству с природными ячеистыми образованиями (например, сотами, костной тканью, губчатыми структурами). К ключевым конструктивным особенностям относятся: высокая жесткость при

малом весе; равномерное распределение усилий; возможность перекрытия больших пространств, модульность. К таким системам относятся: пространственные фермы; геодезические купола; перекрёстно-стержневые конструкции. Принцип триангуляции, лежащий в основе этих систем, обеспечивает неизменяемость формы и устойчивость конструкции. В природе аналогичные структуры наблюдаются в скелетах радиолярий и крыльях насекомых.

В качестве примеров можно привести:

- Биосферу (Biosphere Montreal) — геодезический купол, разработанный Бакминстер Фуллер, демонстрирует эффективность треугольной сетки (Рис. 6).
- Проект «Эдем» (Eden Project, ботанический сад в Корнуолл, Великобритания) — купольные структуры, напоминающие пузырьки или клетки (Рис.7).



Рисунок 6 – Биосфера (Монреаль)

Рисунок 7 – Проект «Эдем»

Тенсегрити (от англ. *tensional integrity*) — системы, в которых устойчивость достигается за счёт баланса растянутых и сжатых элементов. Тенсегрити-конструкции обладают способностью к перераспределению нагрузок и демонстрируют высокую устойчивость при малом весе. Основные характеристики: отсутствие прямого контакта между сжатыми элементами; предварительное напряжение конструкции; высокая лёгкость и прочность,

визуальная «невесомость». Биологическими аналогами являются: клеточные структуры; мышечно-связочные системы; цитоскелет клетки.

В качестве примеров можно привести:

- Мост Курилпа (Kurilpa Bridge) — мост с элементами тенсегрити, демонстрирующий баланс сил (Рис.8).
- Экспериментальные конструкции Кеннет Снелсон, впервые реализовавшего принципы тенсегрити (Рис.9).



Рисунок 8 – Мост Курилпа (Австралия)



Рисунок 9 – Игольчатая башня

Фрактальные и иерархические структуры. Конструктивные особенности: многоуровневая организация; оптимизация потоков (нагрузок, воздуха, света); высокая адаптивность.

Фрактальная организация характерна для многих природных систем (деревья, сосудистые системы, лёгкие). В архитектуре этот принцип реализуется через самоподобные структуры, повторяющиеся на разных масштабных уровнях, как в деревьях, сосудах или бронхиальной системе. Преимущества: эффективное распределение нагрузок; масштабируемость; высокая адаптивность.

Иерархические системы позволяют сочетать крупные несущие элементы с более мелкими, выполняющими вспомогательные функции, что повышает общую эффективность конструкции.

В качестве примеров можно привести:

- Башни Аль Бахар, Абу-Даби (Al Bahar Towers) — фасад с фрактальной кинетической системой, реагирующей на солнце (Рис.10).
- Современные параметрические фасады (отель Morpheus, Китай, Рис.11)



Рисунок 10 – Башни Аль Бахар



Рисунок 11 – Отель Morpheus, Китай

Кинетические и адаптивные структуры. Современные бионические сооружения всё чаще включают элементы, способные изменять свою форму или свойства в ответ на внешние воздействия. К таким системам относятся: трансформируемые фасады; подвижные покрытия; климатически адаптивные оболочки. Принципы заимствуются из биологии: фототропизм растений; раскрытие и закрытие цветков; изменение формы живых тканей. Такие конструкции позволяют: регулировать освещённость и тепловой режим; снижать энергопотребление; повышать комфорт эксплуатации зданий. Конструктивные особенности: подвижные элементы; автоматическое управление; изменение геометрии в реальном времени.

В качестве примеров можно привести:

- Институт Арабского мира (Institut du Monde Arabe) — фасад с механическими диафрагмами, регулирующими освещение (Рис. 12).

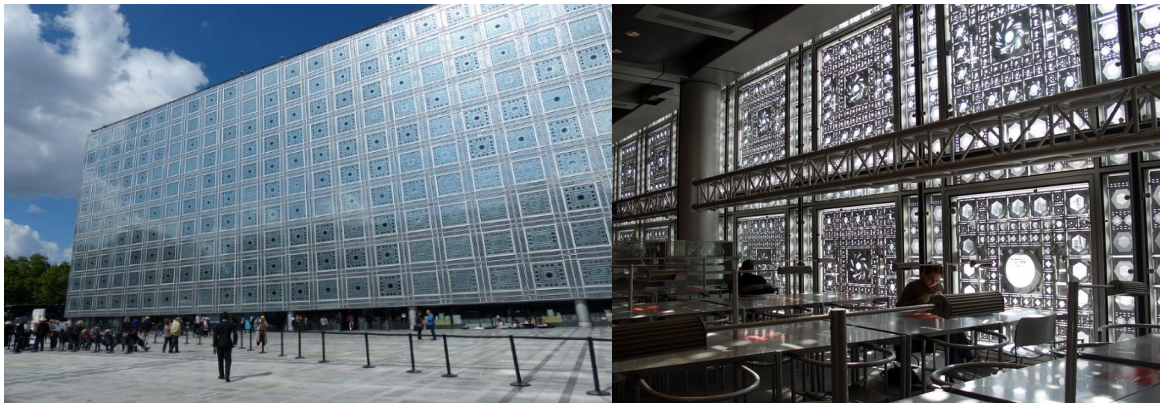


Рисунок 12 – Институт Арабского мира (Париж)

- Центр искусств в Нью-Йорке (The Shed) — трансформируемая оболочка здания (Рис. 13).



Рисунок 13 – Центр искусств (здание-трансформер)

Комбинированные (гибридные) системы. На практике бионические сооружения редко используют один тип конструкции. Чаще всего применяются гибридные системы, объединяю несколько типов конструкций, обеспечивая: интеграцию каркаса и оболочки; сетчатой структуры и мембраны; сочетание жёстких и гибких элементов; тенсегрити и кинетических элементов. Такой подход позволяет максимально эффективно использовать преимущества различных конструктивных принципов и адаптировать здание к сложным эксплуатационным условиям.

В качестве примеров можно привести:

- Пекинский национальный стадион «Птичье гнездо» (Beijing National Stadium) — сочетание сетчатой структуры и биоморфной формы (Рис. 14).
- Природный парк в Сингапуре (Gardens by the Bay) — «супердеревья», объединяющие каркас, оболочку и инженерные системы (Рис. 15).

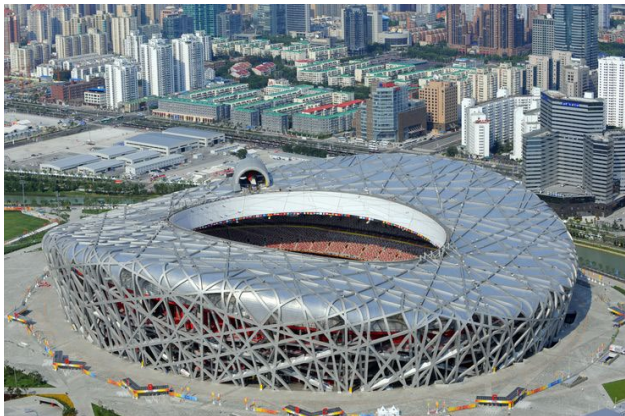


Рисунок 14 – Пекинский национальный стадион

Рисунок 15 – Природный парк в Сингапуре

Выводы

Бионическая архитектура представляет собой перспективное направление, объединяющее достижения науки, техники и природы. Геометрия и пространственно-конструктивные системы бионических сооружений обеспечивают создание эффективных и устойчивых архитектурных объектов. Бионический подход позволяет создавать конструкции, которые не только соответствуют инженерным требованиям, но и воспроизводят принципы устойчивости и эффективности, сформированные в процессе эволюции живой природы.

Пространственно-конструктивные системы бионических сооружений базируются на закономерностях живой природы и характеризуются высокой степенью интеграции формы, структуры и функции. Их применение позволяет: значительно снизить материалоемкость; повысить устойчивость и надёжность конструкций; создавать архитектурные формы, органично интегрированные в окружающую среду.

Развитие пространственно-конструктивных систем бионических сооружений тесно связано с применением цифрового моделирования, параметрической архитектурой и внедрением новых материалов. Развитие цифровых технологий (параметрическое моделирование, BIM, алгоритмический дизайн) делает возможной реализацию всё более сложных бионических систем, что определяет перспективы их широкого внедрения в архитектурную практику.

Библиографический список:

1. Максименко А.Е., Малаховская Н.Н. Бионическая архитектура// Строительство и техногенная безопасность. 2016. №2 (54).
2. Бабакова А.В, Денисенко Е.В. Критерии формирования бионической архитектуры в XXI в.// Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35)
3. Е.И. Панченко, В.Н. Тарасенко Технологичные фасадные системы в проектировании бионических объемов// Инновационная наука.2017. №02-2
4. Михайлова А.С., Надыршин Н.М. Бионические паттерны в архитектуре и дизайне// Известия КГАС. 2016. № 4 (38)
5. Уморина Ж.Э. Технологические особенности бионической архитектуры// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 69–77.
6. Заславская А. Ю., Заславский Е. М. Природные аналогии в конструкциях архитектурных объектов// Градостроительство и архитектура. 2015. № 2. С. 19–23.