

## Совершенствование конструкций на основе изучения структуры биологических объектов

*И.А. Маяцкая*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В статье рассмотрены основные аспекты изучения закономерностей строения растительных и биологических объектов с целью поиска оптимальных строительных конструкций. Исследование формообразования данных объектов дает возможность создания новых по форме и по структуре, прочных и надежных строительных конструкций. Это позволяет совершенствовать строительные конструкции на основе принципов, которые изложены в данном исследовании. Рассмотрены формы и структура некоторых растительных объектов, например, бамбука. Поиск оптимальных вариантов конструкции с природными структурами в строительстве особенно дает развитие такому направлению в науке как бионика. И внедрение при проектировании методов математического моделирования с использованием бионических принципов создают условия для строительства более прочных и надежных строительных сооружений. Поиск оптимальных решений создает условия для архитекторов для творческого подхода к созданию сооружений на основе современных компьютерных технологий.

**Ключевые слова:** растительный объект, модель, бионика, форма, структура, конструкция.

### Введение

Бионические исследования позволяют находить оптимальную форму, использовать принципы и методы организации биологических объектов, в том числе природных растительных структур.

Целью оптимального проектирования является достижение наибольшей эффективности проекта, и в первую очередь, достижение прочности и надежности конструкции. Структура формы биологических объектов и система организации жизнедеятельности весьма разнообразна и сама природа выбирает оптимальное решение.

Необходимо проводить исследования по изучению закономерностей строения растительных объектов с целью совершенствования строительных конструкций на основе полученных данных. Методы исследования включают следующие последовательности изучения проблемы: изучение растительного объекта, например, структуры стебля бамбука; выделение существенных

---

элементов в структуре растительного объекта; анализ тех особенностей строения, которые можно использовать в строительной конструкции и затем выбор оптимального решения с измененными элементами конструкции, которые получены при изучении первого этапа. В процессе нахождения оптимального решения нужно активнее применять программные комплексы. Это позволит оптимизировать процесс проектирования и получить наилучшее решение поставленной задачи.

В бионических исследованиях могут рассматриваться вопросы закономерностей строения растений, которые позволяют приспособливаться к механическим воздействиям внешней среды [1,2]. Именно эти вопросы рассматривал Раздорский В.Ф. в своей книге «Архитектоника растений» (1955). О возможности изучения строения растений говорил Тимирязев К.А.: «Именно на стеблях узнали мы целый ряд поразительных фактов, доказывающих, что они построены по всем правилам строительного искусства» [3]. С. Швенденер тоже занимался изучением закономерностей строения растений, изучал их структуры и способы приспособления растительных объектов к различным механическим воздействиям. Раздорский В.Ф. особое внимание уделял экспериментальным исследованиям по изучению физико-механических свойств растительных объектов.

**Материалы и методы.** В статье проведен анализ экспериментальных исследований по изучению прочности и архитектоники растений. Отмечены особенности бионических исследований природных объектов. В работе использованы следующие методы: поиск, анализ и сопоставление различных форм в формообразовании объектов растительных и биологических объектов.

**Основная часть.** Создание прочных и надежных строительных конструкций всегда оставалась важнейшей задачей при строительстве самых

---

разнообразных сооружений. Совершенствование этих объектов возможно и с изучением закономерностей строения природных объектов, например, растений [4,5]. Для совершенствования конструкций в реальном мире исследователи применяют методы моделирования. Модель может быть реализована в чертежах, в формулах в численных алгоритмах. Математическая модель исследуемого объекта подходит для оптимизации, для нахождения наилучшего решения.

В бионике принято выделять два основных направления: архитектурная бионика и строительная (или техническая) бионика. Для архитектурной бионики характерно проектирование и строительство зданий и сооружений на основе создания форм и структурных пространств с использованием закономерностей живой и неживой природы, например, растительных объектов [6]. Строительная бионика изучает структуры природных объектов: растений, животных, водной поверхности, горной местности и других материалов. При изучении рассматриваются рациональные формы строения, различные свойства и процессы существования данных объектов[4,7]. В архитектурной бионике есть несколько тенденций развития. Основными векторами ее развития являются сама архитектурная бионика и бионическая (или органическая) архитектура, а также зеленая архитектура. При проектировании сооружений бионической архитектуры уделяется внимание сочетанию природных форм в строительных конструкциях и окружающей этот объект природой. Благодаря развитию этих направлений появились уникальные сооружения, например, в Нью-Дели в Индии построен Бахайский храм в виде цветка лотоса. Дом у водопада архитектора Фрэнка Ллойда Райта в штате Пенсильвания (США) – образец органического сочетания природного ландшафта и архитектурного объекта. При строительстве своих зданий величайший архитектор старался использовать натуральные материалы. Удивительны по своей форме и гармонии с

---

природой и другие творения архитектора: дом в Си-Клиффе, дом Розенбаума в Алабаме.

Для прочности растительного объекта в виде стебля очень важны расположение механических тканей как в продольном направлении, так и в радиальном направлении. Волокна древесных сортов имеют более высокую прочность по сравнению с прочностью листостебельных растений. Объекты способны выдерживать большую ветровую нагрузку и быть гибкими. Так, пальмы и бамбук не только представляют прочную конструкцию, но и являются гибкими структурами, что позволяет им не ломаться под действием ветровой нагрузки.

В учении С. Швенденера о строительном-механических принципах в строении растительных объектов рассматривалась модели стеблей с сечением, которое представляет собой композитную трехслойную структуру с дискретным промежуточным слоем, элементы которого состоят из эллипса и двух почти прямоугольных элементов [3].

Для описания модели растения эта конструкция не является точной, но идея с применением этой схемы для строительных конструкций вполне приемлема. Можно предложить другие варианты промежуточного слоя. В качестве промежуточного слоя многослойной оболочки или пластины можно рассмотреть структуру с дискретными элементами с фрактальной формой. Оптимальным вариантом является пористая или блочная структура.

В процессе эволюции растения совершенствуют свою форму. Если инженер строит сооружения, то растение строит себя по тем же принципам, только совершеннее [8,9]. Раздорский В.Ф. рассматривал растения как часть конструкций, строя строительном-механическую модель растения. Мы же решаем обратную задачу.

Природные объекты имеют оптимальную конструкцию. Природа и ее растительный мир позаботились об этом. По теории В.Ф. Раздорского,

---

растения – это живой организм, согласно законам строительной механики реагирующий на действие сил, приложенных к нему в данный момент, и согласно биологическим законам, характерным растительному объекту, что ведет к изменению строения в целом и его частей [3]. В основу данного исследования положено представление о структуре самого растительного объекта без учета его биологического развития во времени.

Для стеблей характерны конические или цилиндрические составные оболочки с внутренней структурной архитектурой. Эта структура может быть в виде нитей вдоль стебля, в виде оболочки со сложной геометрией. Оптимальный вариант внутренней оболочки в составной конструкции будет сотовая или сетчатая структура с n-угольными элементами, которые могут быть как отдельные дискретные блоки, так и частью составной конструкции. Применение этих структурных элементов позволит создать прочные и удивительные по форме конструкции.

Зонтичные растения, деревья с самой разнообразной формой, например, сосна итальянская Пиния, имеют сложную форму, которая может быть использована при проектировании стрелевых строительных конструкций при создании каркасных структур. На рис. 1 представлены растительные структуры, геометрическая форма которых используется в строительстве (рис. 2). На рис. 3 представлено сооружение с фасадом с использованием бионической решетки.



Рис. 1. – Удивительная природная форма (фото Маяцкой)



Рис. 2. – Легкие конструкции в городской среде [10]



Рис. 3. – Фрактальный фасад здания (фото Маяцкой)

Бионика изучает структуру природных объектов с целью создания конструкций с оптимальными параметрами по прочности и устойчивости, по использованию удивительных форм и организации существования этих объектов [11,12]. В бионическом подходе при проектировании строительных конструкций рассматриваются возможности применения закономерностей строения живой и неживой природы в строительстве. В телебашнях часто применяют различные структуры растительных объектов. В телебашне в Останкино в Москве использовалась система тросов и бетона, в телебашне в Гуанчжоу в Китае применялась сетчатая оболочка вращения. При строительстве башни в порту Кобе в Японии впервые стали применять



трубчатую решетку, которая представляла собой сочетание круглых сетчатых пластин и гиперboloида из металлических стрижней.

Не только растения обладают прочностью, но и биологические элементы тоже выдерживают большую нагрузку и имеют оптимальную структуру. Для черепах характерен прочный костно-роговой или костно-кожистый панцирь, верхняя часть – карапакс служит отличной защитой от негативных воздействий. Карапакс – это выпуклая верхняя поверхность, которая имеет выпуклую форму, состоящую из блочных элементов в виде 4-х, 5-ти и 6-ти угольников. Блоки могут иметь пологую поверхность или объемный элемент на основе усеченной или криволинейной пирамиды. Такая форма имеет повышенную прочность и позволяет оставаться незамеченными для врагов.



Рис. 4. – Черепахи с разной формой карапакса  
(фото Маяцкой)

Костная ткань является очень прочным материалом не только за счет своих физико-механических свойств, но и за счет структуры строения. Ученые давно начали заниматься изучением физико-механических свойств костной ткани: П.Ф. Лесгафт, Иваницкий М.Ф. и другие отечественные и зарубежные исследователи. Сложность в изучении состоит в том, что костная ткань – это биологический объект и свойства могут отличаться от среды исследования. Проводить такие исследования крайне сложно. Но вполне возможно исследовать структуру объекта на моделях из современных полимерных материалов, что дает возможность использовать эти свойства в

проектировании конструкций. Известно, что плоские кости имеют высокую прочность. Это достигается за счет строения этих элементов (рис. 5,6).

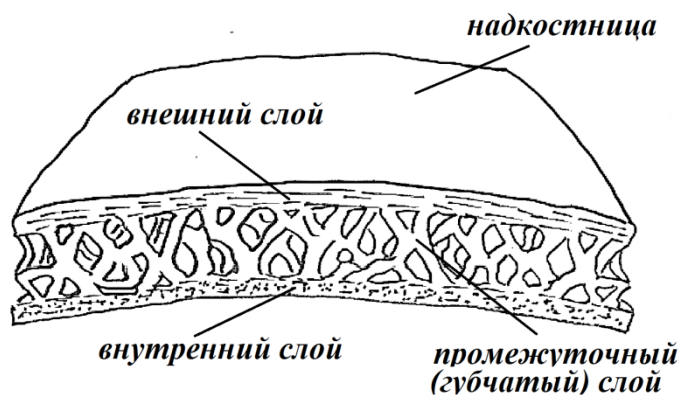


Рис. 5. – Структура элемента плоской кости  
(иллюстрация – Маяцкой И.А.)

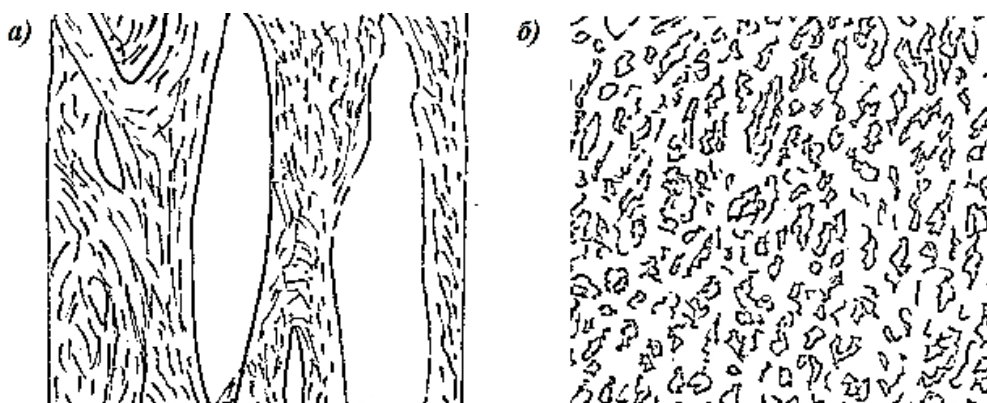


Рис. 6. – Строение промежуточного (губчатого) слоя костной ткани:  
а – плоской кости; б – трубчатой кости;  
(иллюстрация – Маяцкой И.А.)

Еще на прочность влияет структура надкостницы. Она имеет три слоя: наружный, промежуточный (фибропластичный) и внутренний, который включает элементы соединительной ткани с поверхностью внешнего слоя плоской кости. Именно фибропластичный слой, который имеет эластичные волокна, уменьшает травмы плоских костей (кости черепа, лопаток и таза). Плотно прилегая к поверхности кости, надкостница увеличивает ее упругость, прочность и устойчивость к механическим нагрузкам. Исследуя



структуру косных тканей, можно применить эти свойства в конструкциях композитных пластин и оболочек.

Для растительных объектов характерно напряженное состояние, даже, когда оно не подвергается внешним воздействиям. Раздорский В.Ф. проводил экспериментальные исследования по определению механических свойств растений, не лишая их естественной среды обитания.

Бамбук является самым высоким древовидным злаком. Структура бамбука и его ответвлений на большей части его длины имеют полотрубчатую конструкцию с диафрагмами в узловых соединениях и обладает значительной долговечностью и прочностью [13-15]. Его прочность превышает прочность дуба в 2,5 раза. Примером таких надежных конструкций является бамбуковый мост Anlan, переброшенный через реку Minjianyu (построен в III веке). В качестве несущих конструкций используются бамбуковые тросы в навесном мосту. Именно узлы бамбука являются демпферами, что играет важную роль в перераспределении внутренних силовых факторов при действии внешней нагрузки. Бамбуковые мосты есть в других городах Китая и в других странах Азии. Удивительные по форме, и в тоже время прочные и устойчивые конструкции есть в современном мире.

Природа как живая, так и неживая характеризуется свойством оптимальности. Задачу оптимизации живая природа решает путем эволюционных преобразований. В процесс этого развития заложено стремление к совершенству, к гармонии. Используя знания бионики в разработке формообразования растительных объектов и нахождения оптимальной структуры, можно совершенствовать строительные конструкции при проектировании.

Хотелось бы, чтобы проектировщики использовали закономерности растительных объектов при создании интересных по форме и структуре

---

сооружений [16,17]. Анализируя закономерности и свойства растительные объектов, можно создавать удивительные конструкции.

### **Выводы**

Одним из важнейших архитектурных элементов является колонна. Стебли растений и стволы деревьев тоже являются такой конструкцией. Архитекторы создают ее с типичной структурой для железобетонных колонн. Но в природе существуют конструкции, похожие на колонны, но они имеют оптимальную и рациональную форму и структуру. Нужно учиться у природы создавать такие конструкции.

В.Ф. Раздорский и его коллеги уделяли большое внимание определению механических свойств, как самих растений, так и их частей. Они в ходе испытаний определяли модули упругости, пределы прочности и упругости, относительную деформацию склеренхим. Нужно и дальше проводить исследования по определению механических характеристик природных материалов.

Методы бионических исследований при анализе архитектоники растений и современные программные комплексы позволяют находить интересные по форме и по структуре прочные и надежные конструкции. Именно развитие бионики позволяет создавать уникальные конструкции не только из традиционных материалов, но и из природных, например, из бамбука.

В данном исследовании акцент делается на изучении структуры природных объектов и на уникальности решений природы по прочности и устойчивости природных объектов. Эволюция растительных и биологических объектов в живой природе позволяет в ходе изменений их структуры находить оптимальные конструктивные решения для их дальнейшего существования.

Формообразование природных объектов проверено временем и всегда структура рациональна для конкретного биологического объекта. Нужно

---

внимательней рассматривать мир вокруг нас и делать наши строительные конструкции не только прочными, но и интересными по форме.

### Литература

1. Лебедев Ю.С., Рабинович В.И., Положай Е.Д. Архитектурная бионика. М.: Стройиздат, 1990. 269 с.
2. Питык Л. Бионика: прошлое, настоящее и будущее. М.: Эдитус, 2022. 308 с.
3. Раздорский В. Ф. Архитектоника растений. М.: Советская наука, 1955. 432 с.
4. Маяцкая И. А., Языева С. Б., Языев Б. М. Оптимальность конструкций с точки зрения архитектурной бионики // Строительство и техногенная безопасность. 2017. №. 9 (61). С. 7-11.
5. Маяцкая И. А. О возможности совершенствования строительных конструкций с учетом бионических принципов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. №. 45. С. 27-36.
6. 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. Vol. 913. No 2. 2020. P. 022070. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/2/022070](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/2/022070).
7. Mayatskaya I., Eremin V. Bionics and the choice of rational structural form // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. Vol. 110. 2019. P. 01042. URL: [e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/36/e3sconf\\_spbwosce2019\\_01042/e3sconf\\_spbwosce2019\\_01042](https://e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/36/e3sconf_spbwosce2019_01042/e3sconf_spbwosce2019_01042).
8. Витюк Е. Ю., Юморина Ю. Е. Природные технологии как новый принцип формообразования в архитектуре // Вестник Томского



государственного архитектурно-строительного университета. № 20 (4). 2018. С. 55-64.

9. Темнов В. Г. Конструктивные системы в природе и строительной технике. Ленинград: Стройиздат, 1987. 256 с.

10. Yazyeva S.B., Mayatskaya I.A. Eco-sustainable architecture and comfortable living environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1083. 2021. P. 012018. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012018](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012018)

11. Sugar V., Leczovics P., Horkai A. Bionics in architecture // Journal of Built Environment. No 5(1). 2017. p. 0003.

12. Темнов В. Г., Русанов Г. Е., Болотин С. А., Гельфонд А. Л. Экология и архитектура строительных объектов городской среды // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 4 (72). С. 95-102.

13. Solanilla Medina Y. M., Mamchenkov D. V. Organic technique: The formation of a new type of human–technique–nature relationship as exemplified in bamboo construction // Technoetic Arts: A Journal of Speculative Research. Vol. 17. No 3. 2019. Pp. 251-258.

14. Solanilla Medina Y. M. Architectural design of bamboo as an ecological alternative material of the XXI century // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. No 1. p. 42.

15. Solanilla Medina Y. M. Features of Traditional Architecture and Construction from Bamboo in Countries with a Hot Humid Climate // Architecture and Modern Information Technologies. No 6. 2019. Pp. 175-184.

16. Темнов В. Г. Конструктивные системы в природе и строительной технике. Санкт-Петербург: Компьютер-бург, 2001. 65 с.

17. Dymchenko M.E., Dakoro M.F., Dadiyan D.G. The problem of form in modern architecture // E3S Web of Conference. Vol. 281. 2021. P. 02026. URL: [e3s-](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/02/e3sconf_woc2021_02026.html)

conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf\_catpid2021\_02029/e3sconf\_catpid2021\_02026.

### References

1. Lebedev Yu.S., Rabinovich V.I., Polozhai E.D. Arkhitekturnaya bionika [Architectural bionics]. M.: Stroïizdat. 1990, 269 p.
  2. Pityk L. Bionika: proshloe, nastoyashchee i budushchee [Bionics: past, present and future.]. M.: Editus. 2022, 308 p.
  3. Razdorsky V. F. Arhitektonika rastenij [Architectonics of Plants]. M.: Sovetskaya nauka. 1955. 432 p.
  4. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Yazyeva S.B. Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2017. No. 9 (61). Pp. 7–11.
  5. Mayatskaya I.A. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2016. No.45. Pp. 27–36.
  6. 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. Vol. 913. No 2. 2020. P. 022070. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/2/022070](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/2/022070).
  7. Mayatskaya I., Eremin V. Bionics and the choice of rational structural form. E3S Web of Conferences. EDP Sciences. Vol. 110. 2019. P. 01042. URL: [e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/36/e3sconf\\_spbwosce2019\\_01042/e3sconf\\_spbwosce2019\\_01042](https://conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/36/e3sconf_spbwosce2019_01042/e3sconf_spbwosce2019_01042).
  8. Vityuk E. Yu., Humorina Yu. E. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. No. 20 (4). 2018. Pp. 55-64.
  9. Temnov V. G. Konstruktivnye sistemy v prirode i stroitelnoj tekhnike [Structural systems in nature and construction technology]. Leningrad: Stroïizdat. 1987. 256 p.
  10. Yazyeva S.B., Mayatskaya I.A. Eco-sustainable architecture and comfortable living environment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
-





- Vol. 1083. 2021. P. 012018. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012018](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012018)
11. Sugar V., Leczovics P., Horkai A. Journal of Built Environment. No 5(1). 2017. P. 0003.
12. Temnov V. G., Rusanov G. E., Bolotin S. A., Gelfond A. L. Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2017. No. 4 (72). Pp. 95-102.
13. Solanilla Medina Y. M. Architecture and Modern Information Technologies. 2018. No 1. P. 42.
14. Solanilla Medina Y. M. Architecture and Modern Information Technologies. No 6. 2019. Pp. 175-184.
15. Solanilla Medina Y. M., Mamchenkov D. V. Technoetic Arts: A Journal of Speculative Research. Vol. 17. No 3. 2019. Pp. 251-258.
16. Temnov V. G. Konstruktivnye sistemy v prirode i stroitelnoj tekhnike
17. Dymchenko M.E., Dakoro M.F., Dadiyan D.G. Sankt-Peterburg: Komp'yuterburg. 2001. 65 p. The problem of form in modern architecture. E3S Web of Conference. Vol. 281. 2021. P. 02026. URL: [e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf\\_catpid2021\\_02029/e3sconf\\_catpid2021\\_02026](https://e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf_catpid2021_02029/e3sconf_catpid2021_02026).

**Дата поступления: 22.02.2025**

**Дата публикации: 25.04 2025**