

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-2-43-58

*Фонсека Э.А.Г., Романов О.С

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*E-mail: eagaavithrif@gmail.com

ВОЗМОЖНЫЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ В РАМКАХ ФЛОРИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Аннотация. В то время как в разных частях мира появляются здания различного типа, в которых воплощаются структурные и функциональные особенности цветочной анатомии, «Флоризм» все еще находится в стадии эволюции как дополнительное свойство биомиметической архитектуры. В связи с распространением архитектурных проектов, ориентированных на биомиметику, в данной работе предложена схема модельного подхода, основанного на флоризме, и которая может быть использована при формировании архитектурных объектов. Представляются примеры, охватывающие основные биомиметические принципы, характерные для флоризма. При создании этой модели основное внимание уделяется интеграции устойчивых и экологически безопасных архитектурных концепций, которые имеют первостепенное значение. В процессе разработки модели рассматриваются возможности, позволяющие черпать особенности в цветочной морфологии в рекомендациях по их интеграции в архитектурные проекты. В связи с этим в работе предпринята попытка определить набор элементов здания, ориентированных на функцию, устойчивость и поддержание экологически безопасного режима, а также представить соответствующий набор флористических примеров, в помощь проектирования объектов в качестве основы для комплексного понимания флоризма в современной архитектурной практике. Объектом рассмотрения являются здания и сооружения с общественной функцией.

Ключевые слова: флоризм, биомиметическая архитектура, устойчивость, энергоэффективность, биомиметические принципы, архитектура и цветы.

Введение. Статья призвана представить взгляды на формирование архитектурных объектов, отвечающих термину «устойчивая архитектура» – экологически ориентированная архитектура высоких технологий с минимизацией негативного влияния на окружающую среду [1]. Вся тема биомиметики представляет собой широкий спектр рассмотрения природных примеров и особенностей [1, 2]. С целью определения границ исследования в статье рассматриваются только флористические аспекты биомиметики. В связи с этим вводится термин «Флоризм», отражающий намерение рассматривать только особенности представителей Флоры. Под этим понимается философия и система проектирования, включающая в себя принципы, основанные на структурных природных особенностях Флоры в их определённых функциональных значениях для обеспечения энергоэффективности, устойчивости, эстетики формы и целостности. Во введении в биомиметику Отто Шмидта [3] и основополагающих работах Ю. Лебедева - «Архитектурная Бионика» [4], Джанин Бениус («Биомимикрия: инновации, вдохновленные природой» [5]) и ряда других авторов исследуется широкий спектр природных особенностей «Флоры» и «Фауны». Конкретная тема, касающаяся «Флоры» в отношении «Архитектуры» недостаточно изучена и в большей мере представляется эпизодами, а не целостным подходом к формированию архитектурного объекта.

В предлагаемой статье делается попытка представить схематичную модель комплексного подхода в проектном процессе с учетом реализации основных принципов «устойчивой архитектуры»: комфортная среда, уменьшение негативного влияния на среду, использование экологически чистых материалов, энергоэффективности, использование дождевой воды и т. д.

На пути достижения конечной цели исследования, касающейся Флоризма по использованию природных «достижений» в функциональном отношении, объединении возможностей флористической морфологии в рамках архитектурного проектирования, естественно требуется решение ряда задач. В качестве основных следует отметить нижеследующее.

1. Создание структуры, разъясняющей принципы "Флоризма", с уделением особого внимания стратегической интеграции элементов проектирования, основанных на природных примерах.

2. Оценка и иллюстрирование практического применения флористической биомимикрии в архитектурном проектировании, охватывающее такие аспекты, как системы вентиляции, автоматизированные строительные системы, адаптируемые фасады, управление водными ресурсами, флористическая симметрия, интеграция энергии ветра.

Вентиляционные системы, создаваемые на основе устьиц. В процессе освоения особенностей цветочного дизайна в соответствии с принципами *флоризма* наше внимание в первую очередь обращается на устьица (рис. 2) [7, 16]. Крошечные поры на поверхности листьев, известные под ботаническим термином «устьица»,

играют важнейшую роль в дыхании и транспирации растений [7]. Уникальная функция устьиц в листьях лотоса может послужить источником идей для биомиметических вентиляционных стратегий при проектировании зданий, соответствующих принципам архитектуры, ориентированной на *флоризм*.

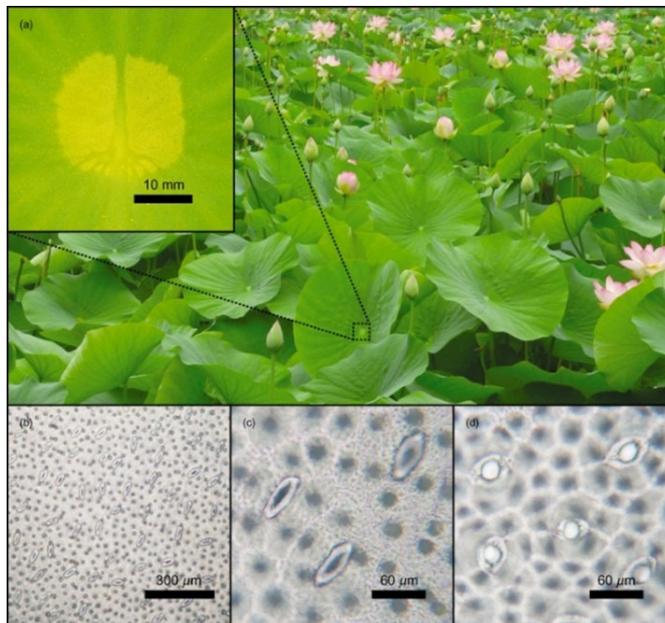


Рис. 2. Фотография пруда Нелумбо в ботаническом саду Аделаиды, Аделаида, Южная Австралия, на которой крупным планом изображена центральная пластинка (а) и нитроцеллюлозные слепки устьиц центральной пластинки (CPS), показывающие плотность устьиц (б), закрытые устьица (в) и открытые устьица (г).

© 2013 John Wiley & Sons Ltd [7]

Имитируя принципы газообмена в листьях лотоса, архитекторы могут создавать фасады и проемы зданий, использующие естественное движение воздуха для оптимизации циркуляции воздуха в помещениях и снижения зависимости от механических систем вентиляции. Реакция устьиц на уровень влажности в листьях лотоса может послужить примером для разработки влажочувствительных вентиляционных механизмов в зданиях [17]. В этом смысле биомиметические конструкции могут включать в себя чувствительные строительные материалы или механические системы, которые модулируют воздушный поток в зависимости от желаемого уровня влажности, способствуя оптимальным методам циркуляции воздуха в помещении [18].

Биомиметические системы могут воспроизводить принципы транспирационного охлаждения, что позволяет разрабатывать устойчивые, водоэффективные системы охлаждения зданий на основе естественных процессов, наблюдаемых в листьях лотоса. В целом, биомиметические системы вентиляции, вдохновленные «Устьицем», могут внести вклад в стратегии регенеративной очистки воздуха в зданиях. Имитируя газообменные функции устьиц, проектировщики могут раз-

рабатывать системы «живых стен», биофильтрационные установки и другие биологически активные вентиляционные компоненты, очищающие воздух в помещениях и улучшающие самочувствие жильцов.

Здание Gherkin (рис. 10), хорошо известное в Лондоне, признанное за свой устойчивый дизайн. Оно демонстрирует сбалансированную интеграцию принципов естественной вентиляции, что может служить отличным примером для архитекторов, которым следует следовать и разрабатывать системы вентиляции, вдохновленные *флоризмом*. Хотя он напрямую не имитирует процесс образования устьиц в листьях лотоса, он все же может дать ценную информацию для разработки устойчивой архитектуры [19] (табл. 1).

Биомиметические строительные материалы, с использованием эффекта лотоса. Подразумевается, что, отраженные эффектом лотоса (рис. 3), биомиметические строительные материалы разрабатываются для воспроизведения супергидрофобных свойств листьев лотоса [8, 20]. Эти материалы предназначены для создания поверхностей, эффективно отталкивающих воду, противостоящих загрязнениям и способных к самоочистке, что дает целый ряд практических преимуществ для эксплуатации.

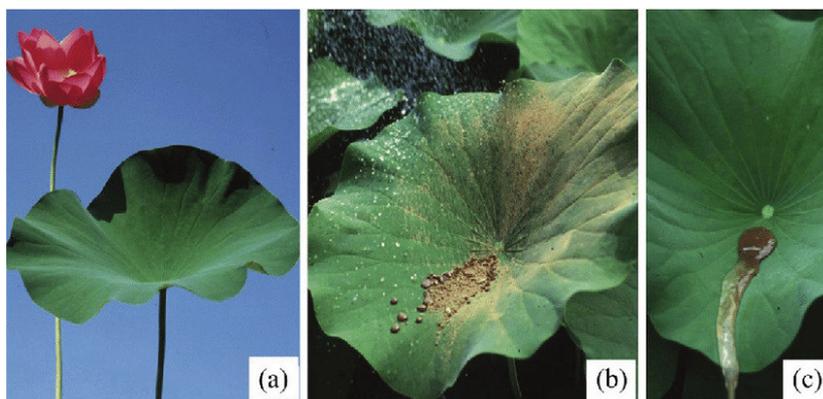


Рис. 3. Супергидрофобная поверхность листьев лотоса. (а) Макроскопический внешний вид поверхности; (б) и (в) свойство самоочищаться (Copyright 2009 Elsevier) [20]

Такие супергидрофобные строительные материалы могут применяться в архитектурных фасадах и облицовочных системах, обеспечивая поверхности, отталкивающие воду и загрязнения. Это не только облегчает уборку, но и способствует поддержанию эстетики здания, снижает необходимость в частой уборке и тем самым экономит водные ресурсы. Биомиметические покрытия и материалы, созданные на основе эффекта лотоса, могут быть использованы в кровельных и оконных системах [20, 21]. Отталкивая воду и препятствуя накоплению грязи, такие поверхности способствуют снижению потребности в обслуживании и продлевают срок службы элементов здания. Использование супергидрофобных строительных материалов для внутренних поверхностей и полов повышает их устойчивость к образованию пятен и загрязнений. Это облегчает

уборку и способствует созданию более гигиеничных и не требующих особого ухода интерьеров зданий.

Например, Монреальский Дворец Конгрессов (рис. 11) использует гидрофобные материалы для использования эффекта лотоса, демонстрируя твердую приверженность экологичным строительным практикам, основанным на принципах *флоризма* [22] (табл. 1).

Биологические аналоги для автоматизированных строительных систем. Многие растения, такие как кувшинки и ипомеи, демонстрируют циркадные ритмы, которые управляют их биологической активностью, включая цветение, движение листьев и обмен веществ. Эти ритмы синхронизированы с 24-часовым циклом "свет-темнота", а в некоторых случаях и с сезонными колебаниями, что влияет на поведение растений в зависимости от времени суток или времени года (рис. 4) [23].

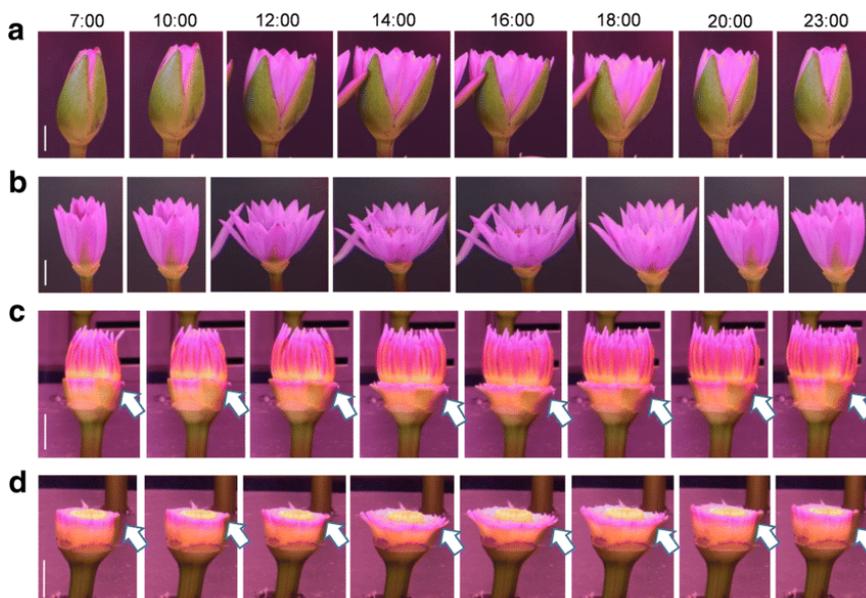


Рис. 4. Промежуточный лепесток определяет ритм движения раскрытия и закрытия цветка.

а – ритм раскрытия и закрытия цветка у срезанных цветков *Nymphaea pouchali* отслеживался с 7:00 до 23:00; б – ритм раскрытия и закрытия цветка без чашелистика; с – без чашелистика ритм раскрытия и закрытия цветка отслеживался, когда оставался только 1 см лепестка; д – без чашелистика и тычинки ритм раскрытия и закрытия цветка отслеживался, когда оставался только 1 см лепестка [23]

Биомиметические автоматические системы, созданные на основе циркадных ритмов, могут оптимизировать условия внутреннего освещения в зданиях. Регулируя уровень искусственного освещения и цветовую температуру, автоматизированные системы могут имитировать естественный ход дневного света в течение дня, способствуя улучшению самочувствия и повышению энергоэффективности. Автоматизированные системы управления микроклиматом, основанные на циркадном ритме, могут регулировать температуру, вентиляцию и влажность в зависимости от времени суток и сезонных изменений [18].

Системы автоматизации, основанные на циркадных ритмах, обеспечивают адаптивную устойчивость к изменениям окружающей среды, подобно тому, как водяные лилии и ипомеи реагируют на естественные колебания света и температуры. Эти системы могут способствовать созданию зданий, чутко реагирующих на изменения окружающей среды, ресурсосберегающих и устойчивых к ним.

Например, Центр Устойчивого Развития Городов «Crystal» (рис. 12) демонстрирует инновационный подход к экологичному дизайну, вдох-

новленному *флоризмом*, умело организуя циркадный ритм для оптимального использования дневного света [24] (табл. 1).

Адаптируемые фасады зданий, навеянные свойствам Гелиотропизма. При проектировании фасадов зданий, адаптированных к суточному ходу, можно взять пример с гелиотропного поведения подсолнухов (рис. 5), следящих за движением солнца в течение дня. Утром бутоны и цветки подсолнечника направлены на восток, следуя по пути восходящего солнца. С течением дня головки подсолнечника постепенно перестраиваются, отслеживая положение солнца, и к вечеру оказываются обращенными на запад. В случае подсолнухов гормон, известный как ауксин, позволяет стеблю переориентироваться и следовать по пути солнца в течение дня [10].

Поэтому предполагается, что биомиметические фасадные системы, созданные на основе гелиотропизма, могут имитировать направленную адаптацию подсолнечника, оптимизируя затенение и контроль солнечного света [9]. Кроме того, предполагается, что адаптируемые затеняющие элементы, такие как регулируемые жалюзи или динамические элементы фасада, могут переориентироваться в течение дня для оптимизации проникновения естественного света [9].

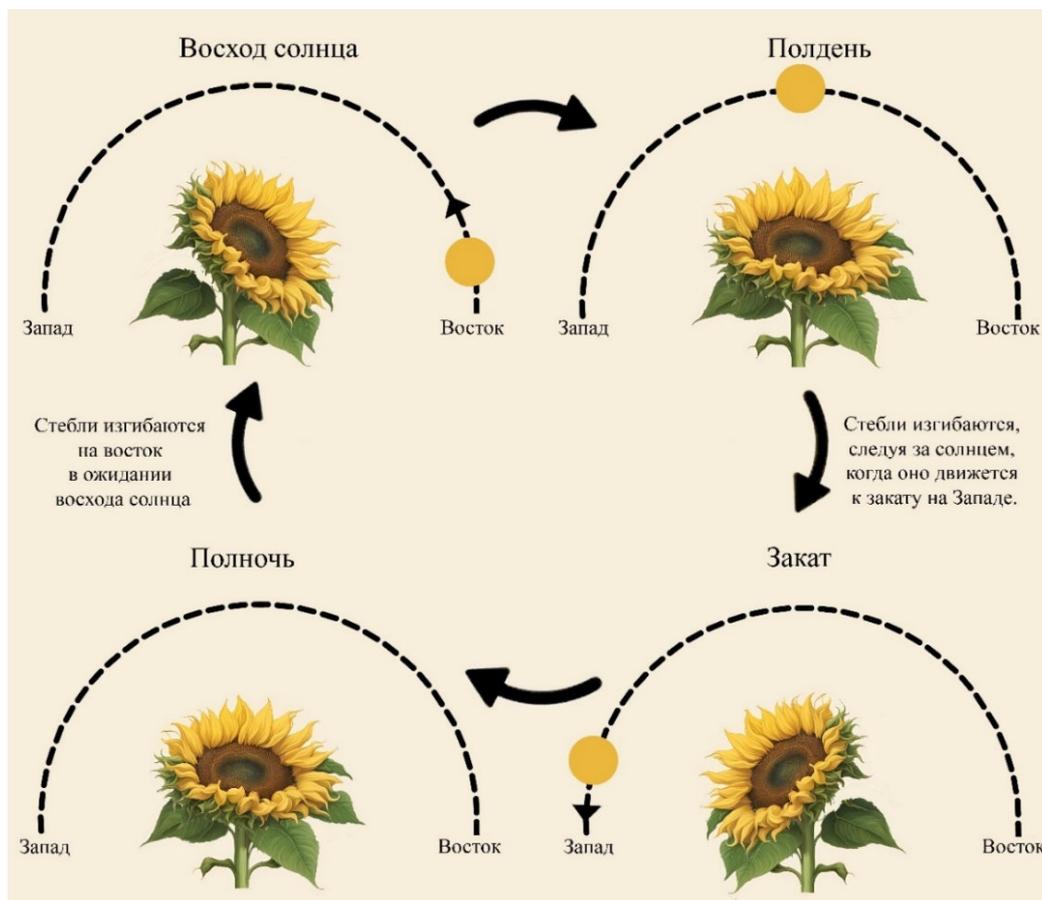


Рис. 5. Гелиотропизм растения подсолнечник

Как обсуждалось выше, понятно, что биомиметические фасады, имитирующие гелиотропные движения, могут способствовать адаптивному энергоэффективному проектированию зданий. Динамически регулируя проем и прозрачность элементов фасада, эти системы могут оптимизировать сбор дневного света и пассивное солнечное отопление, снижая потребление энергии и улучшая качество окружающей среды внутри помещений. Башни Аль-Бахар в Абу-Даби (рис. 13) являются прямым примером адаптивного фасада, который отражает гелиотропизм, наблюдаемый у подсолнухов [9] (табл. 1).

Системы управления водоснабжением на основе гидравлических «стратегий» кактусов.



Рис. 6. Шаровой кактус (*Parodia magnifica*) в окружении клоновых детенышей.

© Stephan von Mikusch/Fotolia (источник изображения <https://www.britannica.com/plant/ball-cactus>)

Кактусы демонстрируют адаптивность в поглощении воды, регулируя уровень гидратации в зависимости от условий окружающей среды [11]. Такая способность к адаптации может стать стимулом для разработки систем зданий, динамически реагирующих на доступность воды, что позволяет снизить потери воды и обеспечить рациональное использование ресурсов. Способность кактусов к длительному хранению воды позволяет интегрировать в здания эффективные решения по хранению воды, способствующие повышению самодостаточности и устойчивости водоснабжения, особенно в регионах, испытывающих дефицит воды.

Музей «ArtScience» (рис. 14) внедрил стратегии экономии воды, продемонстрировав приверженность к интеграции экологических соображений в архитектурный дизайн [25]. Хотя на дизайн музея не оказали непосредственного влияния кактусы, он соответствует принципам *флоризма*. Это соответствие может послужить полезным примером для систем управления водными ресурсами, которые черпают вдохновение в кактусах (табл. 1).

Системы управления водоснабжением в зданиях, ориентированных на *флоризм* и спроектированных на основе кактусов, представляют собой интересную возможность для интеграции устойчивых решений, учитывающих особенности природы [11]. Кактусы (рис. 6), адаптированные к засушливым условиям, научились эффективно собирать и удерживать воду. Их способность накапливать воду и минимальная транспирация служат ценными моделями для стратегий устойчивого управления водными ресурсами в архитектурных контекстах, особенно в засушливых регионах, страдающих от нехватки воды [11].

Последовательность Фибоначчи в цветах.

Для инноваций в области устойчивого развития архитектурных проектов последовательность Фибоначчи (рис. 7), проявляющаяся в различных аспектах цветочной морфологии, служит прекрасной музой [12]. Наблюдаемая в расположении лепестков цветов, головок семян и в общей динамике роста растений, последовательность Фибоначчи подчеркивает математическую гармонию, которая звучит во всей природе. Включение этих закономерностей в архитектурные элементы может способствовать формированию биофильной атмосферы, связывая обитателей соответствующих зданий с органическим миром [12]. Эффективность, присущая узорам, вдохновленным Фибоначчи, может стать основой для использования материалов и методов строительства, минимизируя отходы и потребление ресурсов в процессе строительства [12]. Поэтому представляется, что, применяя пространственные схемы, вдохновленные Фибоначчи, можно оптимизировать планы этажей таким образом, чтобы пропорции и пространственное деление перекликались с природными гармониями, способствуя

ощущению равновесия и согласованности в создаваемой среде.

Здание «Core» (рис. 15), являющееся важным элементом проекта Eden Project, демонстрирует дизайн, вдохновленный *флоризмом*.

Вдохновением для его дизайна послужили модели развития растений, в которых используются противоположные спирали, рассчитанные с помощью последовательности Фибоначчи [26] (табл. 1).



Рис. 7. Последовательность Фибоначчи (золотое сечение), видимая на дисковых соцветиях подсолнечника (источник изображения - <https://ladailypost.com/amateur-naturalist-the-mathematics-of-sunflowers/>)

Цветочная симметрия. Симметрия цветов предлагает элегантный и устойчивый план архитектурного дизайна на основе *флоризма*, в котором принципы симметрии и гармонии пересекаются с принципами устойчивости и биофильческого восприятия [13, 27]. Симметричные формы цветов, такие как радиальная симметрия у маргариток или двусторонняя симметрия у орхидей, являются богатым источником вдохновения для создания архитектурных макетов, фасадов и внутренней организации пространства, отвечающих природной элегантности и балансу. Таким образом, цветочная симметрия может вдохновить на создание планировок зданий и пространств, оптимизирующих использование ресурсов и пространственную эффективность [13].

Храм Лотоса (рис. 16), также известный как Дом поклонения Бахаи, является культовым архитектурным шедевром в Дели, Индия. Его характерная форма напоминает распутившийся цветок лотоса, вдохновленный самим лотосом. Симметричный дизайн храма Лотоса, как и многих других культовых сооружений Бахаи, включает в себя цифру девять [28] (табл. 1).

Эффект ветряных турбин. В условиях высокого энергопотребления установка ветряных турбин рассматривается как своевременная стратегия, позволяющая противостоять вызовам, возникающим в связи с конкуренцией за энергоснабжение [14]. В этой связи предлагается стратегически грамотно интегрировать вертикально-осевые ветряные турбины в фасад здания, что позво-

лит улавливать энергию ветра визуально незаметным способом, способствуя развитию архитектурной изобретательности и устойчивому производству энергии [14]. Для реализации этого предложения можно взять за образец пестик лилии каллы (рис. 8), чья утонченная и обтекаемая форма призвана обеспечить эффективный поток воздуха и распределение пыльцы. Изящная коническая форма пестика, по своей сути являющаяся аэродинамической, минимизирует сопротивление и способствует плавному движению воздушного потока. Этот принцип может быть положен в основу конструкции ветрогенераторов, интегрированных в здания. Обтекаемая форма пестика может вдохновить архитекторов на проектирование зданий с аэродинамическими характеристиками, которые направляют и контролируют поток ветра, создавая естественные ветровые каналы для оптимизации сбора энергии встроенными турбинами. Биомиметические ветряные турбины могут быть гармонично вписаны в структуру здания, обеспечивая баланс функциональности и визуальной целостности, что способствует устойчивому производству энергии без ущерба для архитектурной эстетики [14].

Вдохновленный формой и структурой лилии каллы, Энергетическая башня в китайском городе Ухане (рис. 17) является одним из самых значительных примеров архитектуры *флоризма*. Здание включает в себя несколько *флористических* принципов, в том числе выработку ветровой и солнечной энергии, естественную вентиляцию и сбор дождевой воды [14] (табл. 1).



Рис. 8. *Zantedeschia Aethiopica* "Гигантская белая" (Калла)
(источник изображения - <https://pondplantssofamerica.com/products/calla-lily>)

Сочетание адаптивных архитектурных элементов, основанное на свойствах «Mimosa Pudica». *Mimosa pudica* (рис. 9), известная своей чуткой и отзывчивой листвой, является привлекательным материалом для разработки инновационных архитектурных элементов [15, 29]. Ее быстрая и заметная реакция на прикосновение и воздействие окружающей среды дает возможность наполнить архитектурные проекты динамичными, адаптивными элементами, реагирующими на действия жильцов и раздражителей окружающей среды, что соответствует принципам архитектуры, основанной на *флоризме* и подчеркивающей гармоничную интеграцию с природной средой.

Имитация реакции растения на изменение освещенности и прикосновения может вдохновить на разработку элементов здания, динамично адаптирующихся к изменениям окружающей среды. Чувствительность и изящная реакция растения на внешние раздражители служат образцом для интеграции адаптивных и отзывчивых элементов в архитектурные проекты, способствуя формированию чувства биофильного единства и природного резонанса в построенной среде [29]. Башни Аль-Бахар в Абу-Даби также могут служить примером отзывчивости *Mimosa Pudica* [9] (табл. 1).

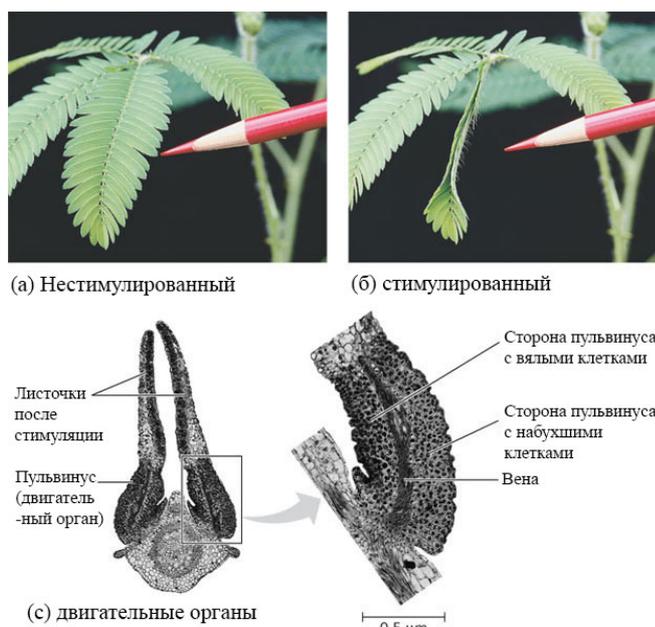
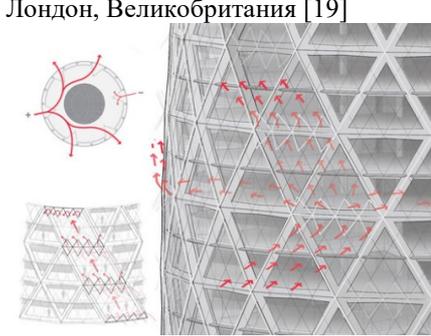


Рис. 9. Листья *M. pudica* (а) нестимулированные, (б) стимулированные и (в) с изображением клеточной архитектуры вокруг пувлинуса. Обратите внимание, что сторона пувлинуса с вялыми клетками направлена в сторону сгибания листочков. Масштабная линейка = 0,5 мкм.

Фото: © Pearson Education, Inc. (Benjamin Cummings), 2005 [15]

Примеры применения архитектурных решений флоризма

Цветок	Пример	Описание
Кувшинка, Нимфея	<p>The Gherkin (30 St Mary Axe), Лондон, Великобритания [19]</p>  <p>Рис. 10. 30 St Mary Axe Tower / Foster + Partners- © Nigel Young - Foster + Partners</p>	<p>Здание Gherkin было спроектировано с учетом требований экологической безопасности. В нем предусмотрена система естественной вентиляции, которая позволяет воздуху циркулировать между уровнями через зазоры в полу. Кроме того, в атриумах на фасаде установлены открывающиеся панели, через которые поступает свежий воздух. Затем этот воздух распределяется между этажами через перепады давления. В результате эта система вентиляции смешанного типа обеспечивает пассивное охлаждение и обогрев в зависимости от сезона. В зимнее время года в здании поддерживается теплая температура благодаря изолирующему эффекту пассивной солнечной энергии. И наоборот, в летний сезон более теплый воздух выводится из конструкции за счет разницы внешнего давления. Этот процесс позволяет конструкции вдыхать и выдыхать воздух, проходящий через нее [19].</p>
Часть цветка		
Устьица		
Функциональность		
Вентиляция		
методы интеграции		
Специализированные вентиляционные каналы "отверстия, похожие на поры", для естественной вентиляции		
Цветок	Пример	Описание
Лотос	<p>Монреальский Дворец Конгрессов [22]</p>  <p>Рис. 11. (источник изображения - https://glasspaint.com/iconic-glass-structures-palais-de-congres-de-montreal/)</p>	<p>Конгресс-центр в Монреале оснащен самоочищающимся гидрофобным фасадом здания, что стало возможным благодаря фотокаталитическому покрытию, содержащему наночастицы диоксида титана (TiO₂). Основным эффектом такого покрытия является значительное снижение адгезии грязи к поверхности. Стоит отметить, что термин "самоочистка" в данном контексте может ввести в заблуждение. Он вовсе не означает, как принято считать, что поверхность не нужно чистить. Скорее, он предполагает, что интервал между циклами очистки должен быть значительно увеличен. Это особенно важно для зданий, требующих технического обслуживания [22].</p>
Часть цветка		
Листья		
Функциональность		
Супергидрофобная поверхность "эффект лотоса"		
методы интеграции		
Супергидрофобные фасадные материалы		
Цветок	Пример	Описание
Ипомея/ Нимфея	<p>Центр устойчивого развития городов Crystal [24]</p> 	<p>Crystal - замечательное здание, получившее максимальные сертификаты LEED и BREEAM за свою концепцию устойчивого развития. В нем используются циркадные методы, такие как естественное освещение и интеллектуальные системы управления освещением, позволяющие адаптироваться к изменяющимся условиям дневного света. Очень важно определить места, где энергия расходуется неэффективно, и принять соответствующие меры. Модели энергопотребления, выполненные на этапе проектирования, показали, что основной проблемой является охлаждение, а не обогрев, и что дополнительная изоляция фасада не привела к значительной экономии энергии, несмотря на существенное увеличение стоимости. С технологической точки зрения важно было минимизировать солнечное излучение.</p>
Часть цветка		
Гены, чувствительные к темноте/ Ауксиновые гормоны		
Функциональность		
Циркадный ритм		
методы интеграции		
Системы энергосбережения на солнечной энергии и автоматизированного освещения		

	 <p>Рис. 12. (источник изображения - https://wilkinsoneyre.com/projects/the-crystal)</p>	<p>Этого удалось добиться за счет уменьшения количества прозрачных стекол, расположения их под углом от прямого солнечного света и использования высокоэффективных солнечных стекол [24].</p>
<p>Цветок</p> <p>Подсолнечник</p> <p>Часть цветка</p> <p>Стебель</p> <p>Функциональность</p> <p>Отслеживание солнечной активности</p> <p>методы интеграции</p> <p>Фасады с солнечным отслеживанием</p>	<p>Пример</p> <p>Башни Аль Бахар в Абу-Даби [9]</p>  <p>Рис. 13. (источник изображения - https://inhabitat.com/exclusive-photos-worlds-largest-computerized-facade-cools-aedas-al-bahr-towers/al-bahar-towers-lead2/)</p>	<p>Описание</p> <p>Высокая температура и солнечные блики в Абу-Даби могут сделать комфортную обстановку в помещении практически невозможной, если не позаботиться о ней надлежащим образом. Экран расположен в двух метрах от фасада здания на собственной раме, выступая в качестве навесной стены с решетчатым затеняющим устройством. Каждый треугольник этого устройства покрыт стекловолокном и предназначен для адаптации к движению солнца. Вечером экраны будут выключены. На ночь они складываются и закрываются, что позволяет лучше видеть фасад. Фасад здания спроектирован таким образом, чтобы реагировать на движение солнца, при этом вертикальная полоса вдоль восточной стороны закрывается с восходом солнца утром и движется вместе с солнцем в течение дня, следуя принципам гелиотропизма [9].</p>
<p>Цветок</p> <p>Кактус</p> <p>Часть цветка</p> <p>Стебель</p> <p>Функциональн-ость</p> <p>Водопоглощение</p> <p>методы интеграции</p> <p>Стратегии управления водными ресурсами, сбор дождевой воды</p>	<p>Пример</p> <p>Музей ArtScience, Сингапур [25]</p>  <p>Рис. 14. (источник изображения - https://www.safdiearchitects.com/projects/marina-bay-sands-artscience-museum)</p>	<p>Описание</p> <p>Музей ArtScience расположен в сингапурском комплексе Marina Bay Sands и представляет собой архитектурный шедевр, в котором идеально сочетаются инновации, устойчивость и творческое самовыражение. Крыша музея выполнена в форме тарелки, что не только придает ей эстетическую привлекательность, но и выполняет функциональную функцию, размещая в себе умную систему сбора и циркуляции воды. Музей оснащен уникальным водным объектом, который собирает дождевую воду и направляет ее через окулус, создавая водопад, питающий внутренний пруд. Кроме того, собранная дождевая вода повторно используется в здании [25].</p>
<p>Цветок</p> <p>Подсолнечник</p> <p>Часть цветка</p> <p>головка семян</p> <p>Функциональность</p> <p>природные формы</p> <p>методы интеграции</p>	<p>Пример</p> <p>Рис. 15. Здание «Core в Eden Project» [26]</p>	<p>Описание</p> <p>Здание «Core в Eden Project» известно своим инновационным и экологичным архитектурным дизайном. В дизайне использована последовательность Фибоначчи, вдохновленная подсолнухом. Главной особенностью конструкции является крыша с чешуйками, похожими на</p>

<p>Крыша для естественной вентиляции и освещения</p>		<p>сосновые орехи, сделанными из сетки деревянных панелей, изолированных переработанной газетой. Крыша включает в себя множество пирамид и окон, которые обеспечивают естественную вентиляцию и освещение выставочного пространства и кафе [26].</p>
<p>Цветок</p>	<p>Пример</p>	<p>Описание</p>
<p>Лотос</p>	<p>Храм Лотоса, Нью-Дели, Индия [28]</p>	<p>Храм Лотоса, расположенный в Нью-Дели, Индия, является известной архитектурной достопримечательностью, знаменитой своим поразительным дизайном, вдохновленным цветком лотоса. Его симметричная и эстетически захватывающая форма вдохновлена цветком лотоса, что создает естественную элегантность и баланс, которые поистине уникальны. Использование цветочной архитектуры является примечательной особенностью этого сооружения. Дизайн храма отражает духовное значение цветка лотоса и включает в себя природные элементы для создания гармоничного архитектурного слияния. Планировка и дизайн храма сосредоточены вокруг символической и органической симметрии, присущей цветку лотоса [28].</p>
<p>Часть цветка</p>		
<p>цветок</p>		
<p>Функциональность</p>		
<p>Симметричная форма и структура</p>		
<p>методы интеграции</p>		
<p>Супергидрофобные фасадные материалы</p>	<p>Рис. 16. (источник изображения - https://exploreyourway.in/lotus-temple-delhi-nearest-metro-timing-photos/)</p>	
<p>Цветок</p>	<p>Пример</p>	<p>Описание</p>
<p>Калла-лилия</p>	<p>Энергетический цветок -Институт новой энергетики, Ухань [14]</p>	<p>Энергетическая башня в китайском городе Ухань должна стать энергетическим центром города. Его дизайн вдохновлен цветком лилии каллы: высота главного офисного здания составляет около 140 метров, а по бокам от него расположены лаборатории в форме листьев. Экологичное сооружение спроектировано таким образом, чтобы создавать собственную тень жарким китайским летом, а также отличается нулевым выбросом углекислого газа и стремлением к нулевому потреблению энергии. Крыша цветка состоит из солнечных батарей, которые вырабатывают электричество, а дождевая вода собирается в чаше и используется для снабжения всего здания. Пестик представляет собой удивительную конструкцию, состоящую из вертикальных ветряных турбин, которые генерируют энергию ветра. Край чаши служит солнечным люком, который регулирует температуру в здании. В здании предусмотрена естественная вентиляция, а центральная солнечная труба высотой более 120 метров способствует естественной циркуляции воздуха в рабочих помещениях [14].</p>
<p>Часть цветка</p>		
<p>Пестик</p>		
<p>Функциональность</p>		
<p>Центральный элемент, экологичность и регенерация, естественное освещение и вентиляция</p>		
<p>методы интеграции</p>		
<p>Центральный элемент с ветряными турбинами и системами сбора воды</p>	<p>Рис. 17. (источник изображения - https://slidesdocs.com/background/science-future-technology-building-city-sunny-overhead-shot-landmark-look-down-day-powerpoint-background_8ac61cb18f)</p>	

В практическом и научном плане была сделана авторская попытка реализации *флористических* принципов в проекте "Национальный общественный центр" (рис. 18) в Шри-Ланке. Архитектура здания задается структурой лотоса и воплощает симметричную форму с интеграцией

ряда инновационных функциональных решений. В результате исследований проект был обновлен включением нескольких элементов (рис. 19), которые ставят во главу угла экологичность объекта. К таким элементам относятся ветряные турбины, расположенные на лепестках лотоса, сбор

дождевой воды для внутреннего и внешнего использования, двойные фасады (double skin) для организации системы вентиляции, солнечные батареи и оптимизированное использование дневного света. Кроме того, на стеклянные поверхности конструкции предполагается нанесение гидрофобных покрытий. Потенциально проект может быть адаптирован к условиям местности и

климатическим особенностям региона путем добавления аналогов природных эффектов. Кроме этого, в проекте использован комплексный подход к включению растительности в окружающую среду. Проект, вдохновленный лотосом, не только имитирует структуру цветка, но и воплощает его культурное и духовное значение.



Рис. 18. Национальный общественный центр в Шри-Ланке

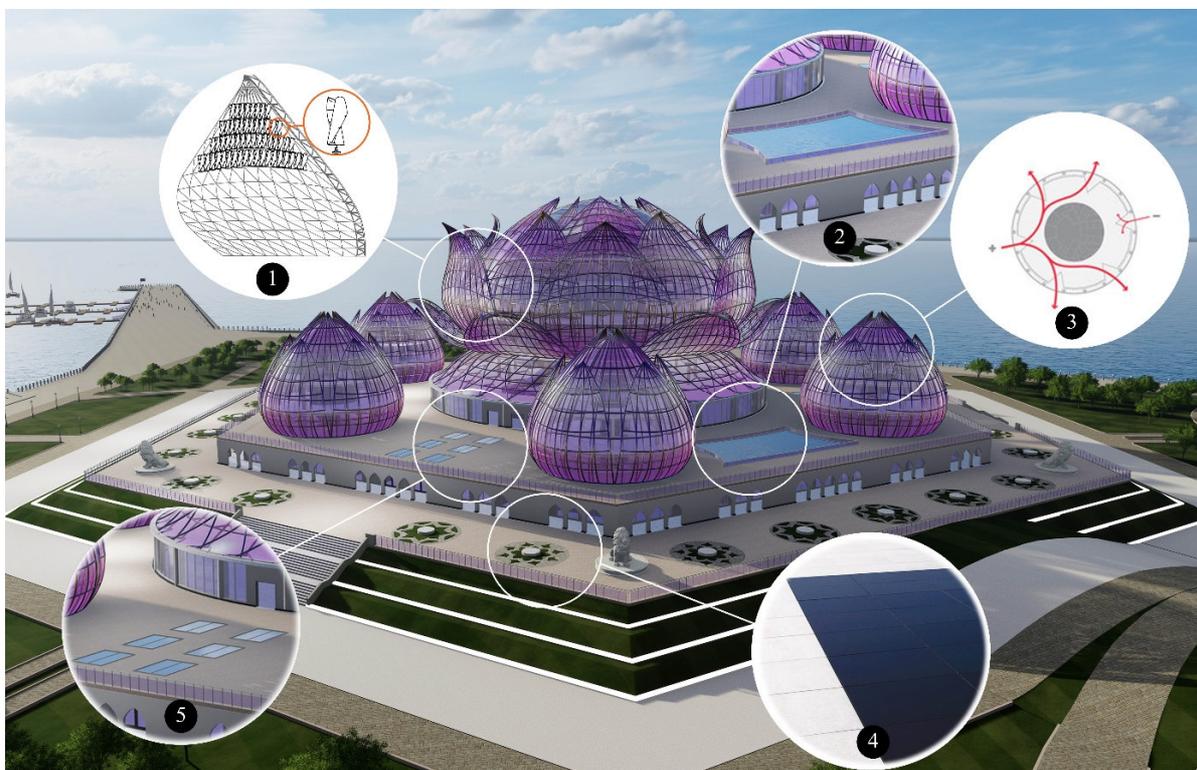


Рис. 19. Национальный общественный центр в Шри-Ланке: 1 – применение ветряных турбин в лепестках цветов, 2 – использование дождевой воды в пруда, 3 – естественная вентиляция с двойным фасадом, 4 – использование прогулочных солнечных панелей, 5 – оптимизация системы дневного освещения

Выводы. Данное исследование было проведено с целью создания схематичной модели на основе *флористических* особенностей, которые могут быть использованы в качестве руководства для создания визуально привлекательных и ориентированных на человека проектов, вдохновленных структурными и функциональными особенностями цветов. В представленной работе предпринята попытка выявить *флористическую* морфологию и внешние органические структуры цветов, таких как лотос, подсолнечник, ипомея, и творчески использовать их при проектировании различных элементов здания, таких как системы вентиляции, автоматизированные устройства слежения за солнцем, реализованные в фасадах. Были определены восемь биомиметических принципов, ориентированных на *флоризм*, которые могут способствовать проектированию зданий в различных климатических и географических зонах по всему миру. Методология, основанная на *флоризме* и на идее гармоничной интеграции с миром природы, представляет собой преобразующую парадигму, которая по-новому может определять архитектурную среду, эффективное образное формообразование и сопутствующее инженерное сопровождение. Кроме этого, продемонстрировано практическое применение результатов этих исследований в рамках проекта "Национальный общественный центр" в Шри-Ланке с иллюстрацией осязаемой интеграции биомиметических принципов в реальный архитектурный контекст. Это приложение подчеркивает осуществимость и актуальность выявленных *флористических* принципов и демонстрирует их потенциал для информирования и улучшения процесса архитектурных разработок, особенно в контексте «устойчивой архитектуры», ориентированной на человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гридюшко А.Д. Биомиметические принципы в архитектурном проектировании: диссертация. Канд. наук. 2013.
2. Verbrugge N., Rubinacci E., Khan, A.Z. Biomimicry in Architecture: A Review of Definitions, Case Studies, and Design Methods // *Biomimetics*. 2023. Vol.8. Pp. 107. DOI: 10.3390/biomimetics8010107.
3. Harkness J. A Lifetime of Connections: Otto Herbert Schmitt, 1913-1998 // *Physics in Perspective (PIP)*. 2002. Vol. 4. Pp. 456–490. DOI: 10.1007/s000160200005.
4. Лебедев Ю.С. Архитектурная бионика. Стройиздат. Москва. 1990.
5. Janine B. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. 2002.

6. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "flower". *Encyclopedia Britannica*. 17 Apr. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.britannica.com/science/flower>. (дата обращения: 01.10.2023).

7. Matthews P.G., Seymour R.S. Stomata actively regulate internal aeration of the sacred lotus *Nelumbo nucifera* // *Plant, cell & environment*. 2014. Vol. 37. Pp. 402–413. DOI:10.1111/pce.12163.

8. Latthe S., Terashima C., Nakata K., Fujishima A. Superhydrophobic Surfaces Developed by Mimicking Hierarchical Surface Morphology of Lotus Leaf // *Molecules* (Basel, Switzerland). 2014. Vol. 19. Pp. 4256–4283. DOI: 10.3390/molecules19044256.

9. Attia S. Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE // *QScience Proceedings*. 2016. Vol. 8. DOI: 10.5339/qproc.2016.qgbc.8.

10. Briggs W. How do sunflowers follow the Sun - And to what end? // *Science*. 2016. Vol. 353. Pp. 541–542. DOI: 10.1126/science.aah4439.

11. Kim K., Kim H., Ho Park S., Joon Lee S. Hydraulic Strategy of Cactus Trichome for Absorption and Storage of Water under Arid Environment. // *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. DOI: 10.3389/fpls.2017.01777.

12. Salingaros N.A., and University of Texas at San Antonio Department of Mathematics. "Applications of the Golden Mean to Architecture" // *Symmetry: Culture and Science*. 2018. Vol. 29. No. 3. Pp. 329–351. DOI:10.26830/SYMMETRY_2018_3_329

13. Jiang Y., Moubayidin L. Floral symmetry: the geometry of plant reproduction // *Emerging Topics in Life Sciences*. 2022. Vol. 6. Pp. 259–269. DOI: 10.1042/ETLS20210270.

14. Alex Smith. Case Study Wuhan Energy Flower. China in Bloom // *CIBSE Journal*. 2015. Pp. 32–34.

15. Kumar N., Kaur P., Das K., Chakraborty S. *Mimosa pudica* L. a sensitive plant. // *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2009.

16. Wuthirak T., Ritchie R.J. Photosynthesis of Submerged and Surface Leaves of the Dwarf Water Lily (*Nymphaoides aquatica*) Using PAM Fluorometry // *Journal of Botanical Research*. 2022. Vol. 4. DOI: 10.30564/jbr.v4i3.4820.

17. Sowa J., Mijakowski M. Humidity-Sensitive, Demand-Controlled Ventilation Applied to Multiunit Residential Building-Performance and Energy Consumption in Dfb Continental Climate // *Energies*. 2020. DOI: 10.20944/preprints202011.0406.v1.

18. Faragalla A.M.A., Asadi S. Biomimetic Design for Adaptive Building Façades: A Paradigm

Shift towards Environmentally Conscious Architecture // *Energies*. 2022. No. 15. 5390. DOI: 10.3390/en15155390.

19. Massey J. "The Gherkin: How London's Famous Tower Leveraged Risk and Became an Icon (Part 2)". 12 Nov 2013. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/447205/the-gherkin-how-london-s-famous-tower-leveraged-risk-and-became-an-icon-part-2> (дата обращения: 04.12.2023).

20. Lian Z. Xu J., Wang Z., Yu H. Biomimetic Superlyophobic Metallic Surfaces: Focusing on Their Fabrication and Applications // *Journal of Bionic Engineering*. 2020. Vol. 17. Pp. 1–33. DOI: 10.1007/s42235-020-0002-y.

21. Jun L., Weicheng J., Yinchun W., Yuxin Y., Xiaodong H. Spraying pressure-tuning for the fabrication of the tunable adhesion superhydrophobic coatings between Lotus effect and Petal effect and their anti-icing performance // *Chemical Engineering Journal*. 2022. Vol. 434. DOI:10.1016/j.cej.2022.134710.

22. Scalisi F. (2017). Nano-materials for Architecture // *Journal of Civil Engineering and Architecture*. Vol. 11. DOI: 10.17265/1934-7359/2017.12.001.

23. Ke M., Gao Z., Chen J., Qiu Y., Zhang L., Chen X.. Auxin controls circadian flower opening and closure in the waterlily // *BMC plant biology*. 2018. Vol.18(1) 143. DOI: 10.1186/s12870-018-1357-7.

24. "The Crystal / Wilkinson Eyre Architects". 25 Sep 2012. ArchDaily. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/275111/the-crystal-wilkinson-eyre-architects> (дата обращения: 04.12.2023).

25. Massey J. "The Gherkin: How London's Famous Tower Leveraged Risk and Became an Icon (Part 2)". 12 Nov 2013. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/447205/the-gherkin-how-london-s-famous-tower-leveraged-risk-and-became-an-icon-part-2> (дата обращения: 04.12.2023).

26. The Eden Project: The Core Cornwall, UK// [Электронный ресурс]. URL: <https://grimshaw.global/projects/culture-and-exhibition-halls/the-eden-project-the-core/> (дата обращения: 18.01.2024).

27. Mehaffy M.W. The Impacts of Symmetry in Architecture and Urbanism: Toward a New Research Agenda // *Buildings*. 2020. Vol. 10. Pp. 249. DOI: 10.3390/buildings10120249.

28. Sahil M., Kothari P. Case Study on Architecture of Lotus Temple // *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2020. Vol. 9. DOI: 10.17577/IJERTV9IS050907.

29. López M., Rubio R., Martín S., Croxford B. How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 67. Pp. 692–703. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.018.

Информация об авторах

Фонсека Эдирисингха Араччиге Гаавитхри, аспирант кафедры «Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности». E-mail: eagaavithrif@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Романов Олег Сергеевич, кандидат архитектуры, профессор кафедры архитектурного проектирования. E-mail: romanovos@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Поступила 04.12.2023 г.

© Фонсека Э.А.Г., Романов О.С., 2024

***Fonseka E.A.G., Romanov O.S.**

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**E-mail: eagaavithrif@gmail.com*

A FRAMEWORK TO FOLLOW IN DESIGNING STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ARCHITECTURAL OBJECTS WITHIN A FLORISM-BASED MODEL

Abstract. *Although several buildings of cultural and commercial significance, have emerged in different parts of the world, imbibing the structural and functional features of floral anatomy, Florism is still at an evolutionary stage as a new dimension of biomimetic architecture. In response to the worldwide adoption of flower-oriented architectural designs, this paper proposes a framework to follow in developing a florism-based model that could be used while forming structural and functional architectural objects to suit buildings constructed under multi-dimensional urban development projects. A detailed presentation of the exercise is*

created, encompassing all the essential biomimetic principles based on florism. When constructing this framework, the primary focus is on integrating sustainable and environmentally conscious architectural concepts, which are paramount to the proposal. During the development of the model, techniques for drawing inspiration from floral morphology and behavioural patterns are examined, along with guidance on how to integrate them into architectural designs. In that respect, the paper strives to identify a set of fundamental elements in a building focused on its usage, sustainability, and maintenance in an environment-friendly mode as well as presents an appropriate set of floristic sources to assist the design of objects of the boundary field of "biology", laying the foundation for a comprehensive understanding of florism in contemporary architectural activity. The focus of this paper is on public multifunctional buildings.

Keywords: Florism, Biomimetic Architecture, Sustainability, energy effectiveness, Biomimetic principles, architecture and flowers.

REFERENCES

1. Gridyushko A. D. Biomimetic principles in architectural design [Biomimeticheskie printsipy v arkhitekturnom proektirovanii]: dissertation. PhD. 2013. (rus)
2. Verbrugghe N., Rubinacci E., Khan, A.Z. Biomimicry in Architecture: A Review of Definitions, Case Studies, and Design Methods. *Biomimetics*. 2023. Vol.8. Pp. 107. DOI: 10.3390/biomimetics8010107
3. Harkness J. A Lifetime of Connections: Otto Herbert Schmitt, 1913-1998. *Physics in Perspective (PIP)*. 2002. Vol. 4. Pp. 456–490. DOI: 10.1007/s000160200005
4. Lebedev Y.S. *Architectural Bionics [Arkhitekturnaya bionika]*. Moscow. 1990
5. Janine B. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. 2002
6. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "flower". *Encyclopedia Britannica*. 17 Apr. 2023. [Electronic resource]. URL: <https://www.britannica.com/science/flower>. (date of access: 01.10.2023) (rus)
7. Matthews P.G., Seymour R.S. Stomata actively regulate internal aeration of the sacred lotus *Nelumbo nucifera*. *Plant, cell & environment*. vol. 37. 2014. Pp. 402–413. DOI:10.1111/pce.12163
8. Latthe S., Terashima C., Nakata K., Fujishima A. Superhydrophobic Surfaces Developed by Mimicking Hierarchical Surface Morphology of Lotus Leaf. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2014. Vol. 19. Pp. 4256–4283. DOI: 10.3390/molecules19044256.
9. Attia S. Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE. *QScience Proceedings*. 2016. Vol. 8. DOI: 10.5339/qproc.2016.qgbc.8.
10. Briggs W. How do sunflowers follow the Sun - And to what end? *Science*. 2016. Vol. 353. Pp. 541–542. DOI: 10.1126/science.aah4439.
11. Kim K., Kim H., Ho Park S., Joon Lee S. Hydraulic Strategy of Cactus Trichome for Absorption and Storage of Water under Arid Environment. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. DOI: 10.3389/fpls.2017.01777
12. Salingaros N.A., and University of Texas at San Antonio Department of Mathematics. "Applications of the Golden Mean to Architecture." *Symmetry: Culture and Science*. 2018. Vol. 29. No. 3. Pp. 329–351. DOI:10.26830/SYMMETRY_2018_3_329..
13. Jiang Y., Moubayidin L. Floral symmetry: the geometry of plant reproduction. *Emerging Topics in Life Sciences*. 2022. Vol. 6. Pp. 259–269. DOI: 10.1042/ETLS20210270.
14. Alex Smith. Case Study Wuhan Energy Flower. *China in Bloom. CIBSE Journal*. 2015. Pp. 32–34
15. Kumar N., Kaur P., Das K., Chakraborty S. *Mimosa pudica L. a sensitive plant*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2009.
16. Wuthirak T., Ritchie R.J. Photosynthesis of Submerged and Surface Leaves of the Dwarf Water Lily (*Nymphoides aquatica*) Using PAM Fluorometry. *Journal of Botanical Research*. 2022. Vol. 4. DOI: 10.30564/jbr.v4i3.4820.
17. Sowa J., Mijakowski M. Humidity-Sensitive, Demand-Controlled Ventilation Applied to Multiunit Residential Building-Performance and Energy Consumption in Dfb Continental Climate. *Energies*. 2020. DOI: 10.20944/preprints202011.0406.v1
18. Faragalla A.M.A., Asadi, S. Biomimetic Design for Adaptive Building Façades: A Paradigm Shift towards Environmentally Conscious Architecture. *Energies*. 2022. No. 15. 5390. DOI: 10.3390/en15155390
19. Massey J. "The Gherkin: How London's Famous Tower Leveraged Risk and Became an Icon (Part 2)". 12 Nov 2013. URL: <https://www.archdaily.com/447205/the-gherkin-how-london-s-famous-tower-leveraged-risk-and-became-an-icon-part-2> (date of access:: 04.12.2023)
20. Lian Z. Xu J., Wang Z., Yu H. Biomimetic Superlyophobic Metallic Surfaces: Focusing on Their Fabrication and Applications. *Journal of Bionic Engineering*. 2020. Vol. 17. Pp. 1–33. DOI: 10.1007/s42235-020-0002-y.

21. Jun L., Weicheng J., Yinchun W., Yuxin Y., Xiaodong H. Spraying pressure-tuning for the fabrication of the tunable adhesion superhydrophobic coatings between Lotus effect and Petal effect and their anti-icing performance. *Chemical Engineering Journal*. 2022. Vol. 434. DOI:10.1016/j.cej.2022.134710

22. Scalisi F. (2017). Nano-materials for Architecture. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. Vol. 11. DOI: 10.17265/1934-7359/2017.12.001.

23. Ke M., Gao Z., Chen J., Qiu Y., Zhang L., Chen X. Auxin controls circadian flower opening and closure in the waterlily. *BMC plant biology*. 2018. Vol.18(1) 143. DOI: 10.1186/s12870-018-1357-7.

24. "The Crystal / Wilkinson Eyre Architects". 25 Sep 2012. *ArchDaily*. [Electronic resource]. URL: <https://www.archdaily.com/275111/the-crystal-wilkinson-eyre-architects> (date of access: 04.12.2023)

25. Massey J. "The Gherkin: How London's Famous Tower Leveraged Risk and Became an Icon

(Part 2)". 12 Nov 2013. [Electronic resource]. URL: <https://www.archdaily.com/447205/the-gherkin-how-london-s-famous-tower-leveraged-risk-and-became-an-icon-part-2> (date of access: 04.12.2023)

26. The Eden Project: The Core Cornwall, UK. URL: <https://grimshaw.global/projects/culture-and-exhibition-halls/the-eden-project-the-core/> (date of access: 18.01.2024)

27. Mehaffy M.W. The Impacts of Symmetry in Architecture and Urbanism: Toward a New Research Agenda. *Buildings*. 2020. Vol. 10. Pp. 249. DOI: 10.3390/buildings10120249

28. Sahil M., Kothari P. Case Study on Architecture of Lotus Temple. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2020. Vol. 9. DOI: 10.17577/IJERTV9IS050907

29. López M., Rubio R., Martín S., Croxford B. How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 67. Pp. 692–703. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.018.

Information about the authors

Fonseka, E.A. Gaavithri. Postgraduate student. E-mail: eagaavithrif@gmail.com. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., 4.

Romanov, Oleg S. PhD, Professor in the Department of Architectural Design, SPBGASU. E-mail: romanovos@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., 4.

Received 04.12.2023

Для цитирования:

Фонсека Э.А.Г., Романов О.С. Возможные основы для проектирования структурных и функциональных архитектурных объектов в рамках флористической модели // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №2. С. 43–58. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-2-43-58

For citation:

Fonseka E.A.G., Romanov O.S. A framework to follow in designing structural and functional architectural objects within a florism-based model. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2024. No. 2. Pp. 43–58. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-2-43-58