

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АРХИТЕКТУРА

Научная статья



УДК/UDC 721.012:004.9

DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-375-386

EDN: UZLDJY

Архитектурное формообразование с использованием средств параметрического проектирования**Карина Евгеньевна Бритвина¹✉, Виктор Михайлович Молчанов²**^{1,2}Южный федеральный университет (ЮФУ), Ростов-на-Дону, Россия¹georgin_0803@mail.ru ²vimolchanov@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение средств параметрического проектирования на разных этапах архитектурного проектирования, в том числе в процессе формообразования. Выделено несколько направлений, в которых используются различные параметрические средства для создания архитектурной формы. Приведены примеры архитектурных объектов, при создании которых использовались распространенные параметрические средства. Особое внимание уделяется роли компьютерных технологий и современных инструментов проектирования в формировании новых тенденций художественного формообразования в архитектуре.

Ключевые слова: параметрическое проектирование, формообразование, плагин, аттрактор, паттерн, алгоритм

Для цитирования: Бритвина К.Е. Архитектурное формообразование с использованием средств параметрического проектирования / К.Е. Бритвина, В.М. Молчанов // Architecture and Modern Information Technologies. 2025. №2(71). С. 375-386. URL:

https://marhi.ru/AMIT/2025/2kvart25/PDF/23_britvina.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-375-386 EDN: UZLDJY

INFORMATION TECHNOLOGIES AND ARCHITECTURE

Original article

Architectural form-making using parametric design tools**Karina E. Britvina¹✉, Victor M. Molchanov²**^{1,2}Southern Federal University (SFedU), Rostov-on-Don, Russia¹georgin_0803@mail.ru ²vimolchanov@yandex.ru

Abstract. The article explores the application of parametric design tools at various stages of architectural design, including the form-making process. It identifies several areas where different parametric tools are employed to generate architectural forms. Examples of architectural projects created with commonly used parametric tools are presented. Special attention is given to the role of computer technologies and modern design instruments in shaping new trends in artistic form-making within architecture.

Keywords: parametric design, form-making, plugin, attractor, pattern, algorithm

For citation: Britvina K.E., Molchanov V.M. Architectural form-making using parametric design tools. Architecture and Modern Information Technologies, 2025, no. 2(71), pp. 375-386.

Available at: https://marhi.ru/AMIT/2025/2kvart25/PDF/23_britvina.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-375-386 EDN: UZLDJY

Течение времени и развитие компьютерных технологий оказывают сильное влияние на процесс архитектурного проектирования и формообразования. На современном этапе компьютерные программы позволяют архитекторам создавать трёхмерные модели любой сложности, с формами и поверхностями, из которых можно получить все возможные проекционные отображения – планы, разрезы, фасады, аксонометрии, – при этом приемы образования этих форм теряют жесткие взаимосвязи с конструктивным и функциональным назначением [2, 5]. Благодаря современным технологиям становится возможным проектирование и строительство объектов, чей облик не отражает конструктив и функциональное назначение [1].

Применение средств параметрического проектирования стало одним из последних переломов в ходе эволюции проектной деятельности архитекторов и нашло яркое отражение в процессе формообразования, расширив его возможности через управляемую сложность закладываемых автором закономерностей. До появления параметрического проектирования формообразование в архитектуре было ограничено строительными модулями, свойствами конструкций, тектоникой и функцией; сейчас – лишь физическими свойствами материалов.

Параметрическое проектирование – это процесс моделирования архитектурного объекта посредством построения алгоритма, в котором формообразование основано на управлении переменными параметрами.

Ключевыми в понимании «параметрического проектирования» являются алгоритмы и параметры модели. По сути, алгоритм – это и есть архитектурный объект, только математически закодированный. Параметрами же в этой системе выступают не только привычные для архитектора характеристики стен, перекрытий, проемов и прочих архитектурных элементов, их размеры и положение в пространстве, но еще и рельеф местности, климатические данные, освещенность, ветер, окружающая застройка, высотность, транспортная инфраструктура и т.д. Эти параметры непосредственно интегрированы в алгоритм, влияют на формообразование и могут быть изменены при необходимости. Возможность добавления в алгоритм различных математически представленных параметров позволяет архитектору внимательнее подходить к взаимосвязи объекта с его географическим, экологическим и социальным контекстом. Это также приводит к высокой вариативности алгоритма, дает возможность быстрой оптимизации проекта и широчайшую свободу творчества архитектора.

На данный момент параметрическое проектирование распространено в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper. Grasshopper основан на визуальном программировании, его функционал может быть расширен дополнительными плагинами, что делает его удобным для использования архитекторами.

Средства параметрического проектирования имеют различный функционал и могут применяться по отдельности или в сочетании друг с другом на всех этапах архитектурного проектирования.

После получения технического задания от заказчика архитектор проводит предпроектный анализ, который состоит из сбора и обработки информации. На этом этапе в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper с применением параметрических средств можно проанализировать участок будущего проектирования, в том числе исходные данные, окружающую застройку и инфраструктуру и т.д.

После предпроектного анализа следующий этап архитектурного проектирования заключается в творческом поиске оригинальной идеи, собственно, в самом процессе формообразования будущего объекта. На этом этапе можно выделить несколько направлений, в которых используются различные параметрические средства для создания формы:

1. создание фасадных поверхностей с использованием аттрактора (точки/линии притяжения);
2. формообразование на основе использования паттернов;
3. формообразование, основанное на генеративном моделировании (агентные системы, эволюционные алгоритмы, оптимизация);
4. формообразование с использованием физических симуляций;
5. формообразование, основанное на анализе влияния различных факторов на модель;
6. создание новых форм на основе исходной геометрии, но с использованием дополнительных плагинов;
7. создание формы с использованием стандартного набора параметрических инструментов.

Рассмотрим подробнее каждое из направлений, в которых используются различные параметрические средства для создания формы.

1. Создание фасадных поверхностей с использованием аттрактора. Под аттрактором в данном случае понимается точка или линия притяжения, относительно которой меняется геометрический узор фасада. В зависимости от расстояния между геометрическим центром каждой ячейки фасада и аттрактором происходит пропорционирование геометрии узора в сторону уменьшения или увеличения (рис. 1). Фасад всегда в таком случае представляет собой геометрический узор, строящийся на повторе какой-либо фигуры: круга, треугольника, квадрата, прямоугольника, многоугольника и т.д. В процессе проектирования архитектор может без труда изменять положение в пространстве и геометрию аттрактора и выбирать наилучший, по его мнению, вариант фасада, обладающий художественной выразительностью. Благодаря алгоритмической зависимости между поверхностью фасада и аттрактором, в любой момент проектирования есть возможность использования другой фигуры в качестве основы узора фасада, при этом нет необходимости в полном переделывании модели. На практике зачастую такой подход к формообразованию реализуется в виде перфорированного фасада из алюминиевой, оцинкованной или углеродной стали.

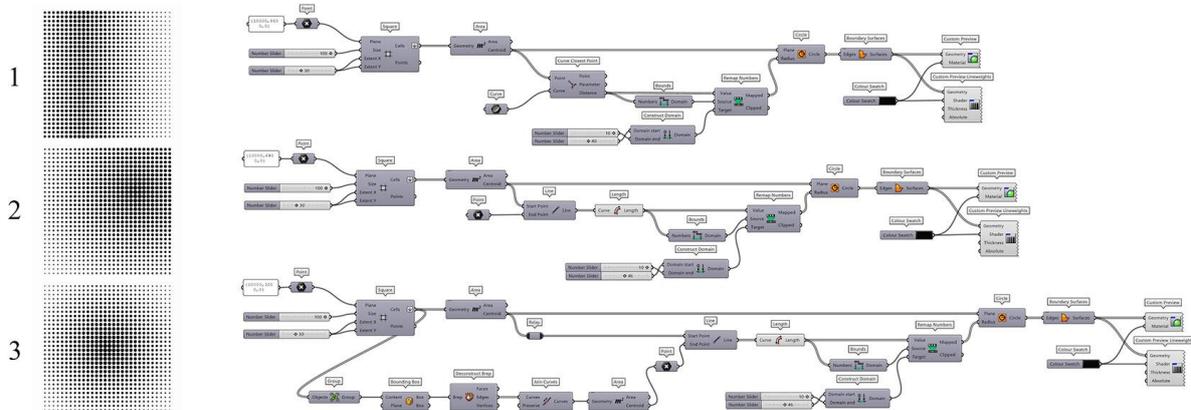


Рис. 1. Использование линии-аттрактора (1) и точки-аттрактора (2-3) при параметрическом проектировании поверхностей в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper

2. Формообразование на основе использования паттернов. Под паттерном понимается шаблон, которым могут быть чередующиеся булевы значения True/False, список чисел (например, 0,1,2,0,1,2,0,1,2), геометрия или определенный узор. Можно сказать, что создание фасадных поверхностей с использованием аттрактора является частным случаем использования паттерна, так как в обоих случаях фасадная поверхность представляет собой геометрический узор, строящийся на повторе какой-то фигуры. Однако в данном случае главную роль в формообразовании играет не аттрактор (хотя рисунок на фасаде может строиться и на сочетании аттрактора и паттерна (рис. 2)), а то, какие зависимости от шаблона заложил архитектор в алгоритм и что является самим шаблоном.

Если обратиться к рисунку 3, то можно увидеть, как для построения узора из пустых и заполненных ячеек использовались паттерны в виде списка чисел (011; 010 и другие), где 0 означал пустую ячейку, а 1 – заполненную.

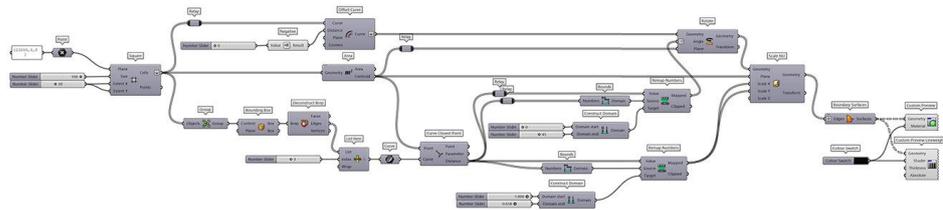
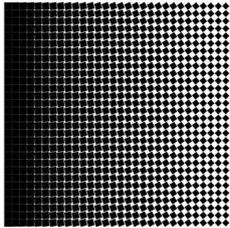


Рис. 2. Использование паттерна в сочетании с аттрактором при параметрическом проектировании поверхности в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper

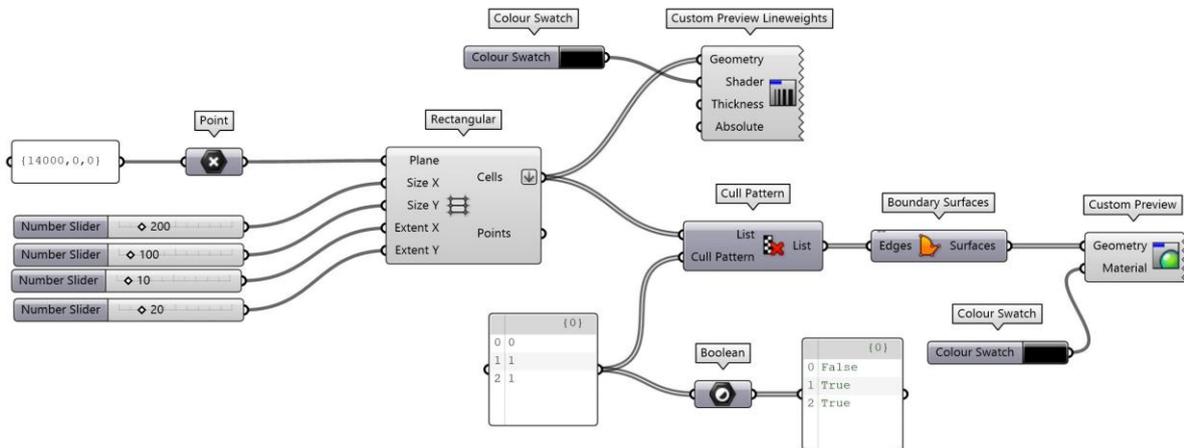
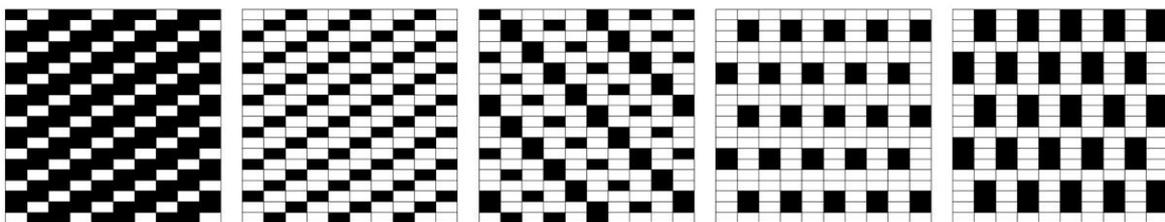


Рис. 3. Использование паттерна на основе списка чисел при параметрическом проектировании поверхностей в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper

Полезным инструментом для формообразования на основе паттернов является плагин «Lunchbox», который содержит множество шаблонов для фасадного деления (квадратные сетки, ромбы, треугольники и т.д.).

Паттерном могут служить и более сложные математические закономерности, например диаграмма Вороного (рис. 4) или системы Линденмайера (L-системы). Системы Линденмайера (L-системы) позволяют создать жесткую пространственную зонтичную конструкцию, напоминающую структуру дерева и способную воспринимать нагрузку.

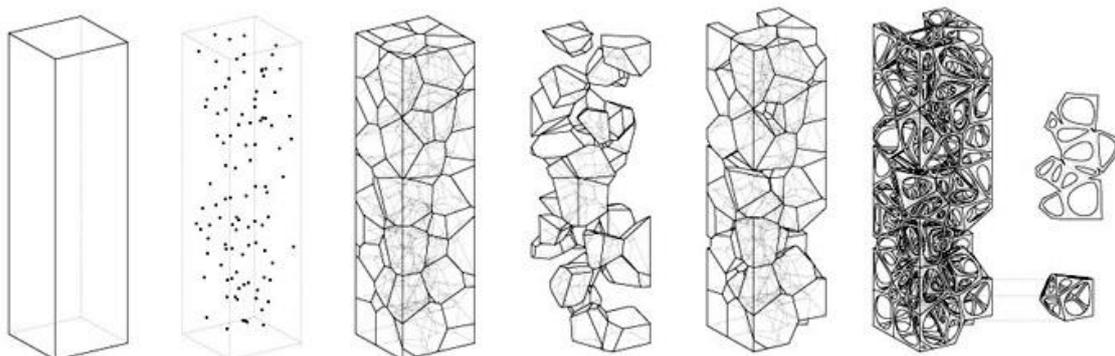


Рис. 4. Использование диаграммы Вороного при параметрическом проектировании в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper

Диаграмма Вороного (также диаграмма Дирихле или полигоны Тиссена) – это тип тесселяции, то есть разбиения поверхности на ячейки. Диаграмма строится на основе точек, между которыми находится минимальное расстояние [4]. Диаграмма Вороного может использоваться как на плоскости для формирования узора фасада, так и в пространстве. Применять диаграмму Вороного на любую поверхность можно с помощью плагина «voronoi».

3. Формообразование, основанное на генеративном моделировании. «Генеративное моделирование – это процесс, при котором архитектор прописывает алгоритм того, что он хочет получить, задавая входные данные в качестве норм и правил, а в результате получает определенные решения, которые и являются генерацией (созданием) объекта. Генеративное моделирование является начальной фазой искусственного интеллекта, основным инструментом которого является машинное обучение» [7, с.17].

Существует три основных направления генеративного моделирования:

1. *Агентные системы.* Применяются как инструмент поиска формы на основе природных самоорганизаций (стигмергии, роевого интеллекта и т.д.). Плагины на основе агентных систем: «Pedsim», «Physarealm», «Quelea» и другие. Отличительная черта работы с ними – отсутствие необходимости изначально определять параметры формы.

2. *Эволюционные (генетические) алгоритмы.* Применяются для оценки «приспособленности» каждого решения модели и работают на принципах мутации, отбора или наследования. Плагины на основе эволюционных алгоритмов: «Galapagos», «Octopus» и «Wallacei».

3. *Оптимизации.* Применяется для рационализации готовой модели с точки зрения приложенных нагрузок, опор и применяемого материала. Плагины, осуществляющие оптимизацию топологии (рис. 5): «Ameba», «Millipede», «tOpos», «Peregrine».

Генеративное моделирование отличается от остальных направлений формообразования тем, что архитектор задает параметры формы, которая в конечном счете получается для него неожиданной.

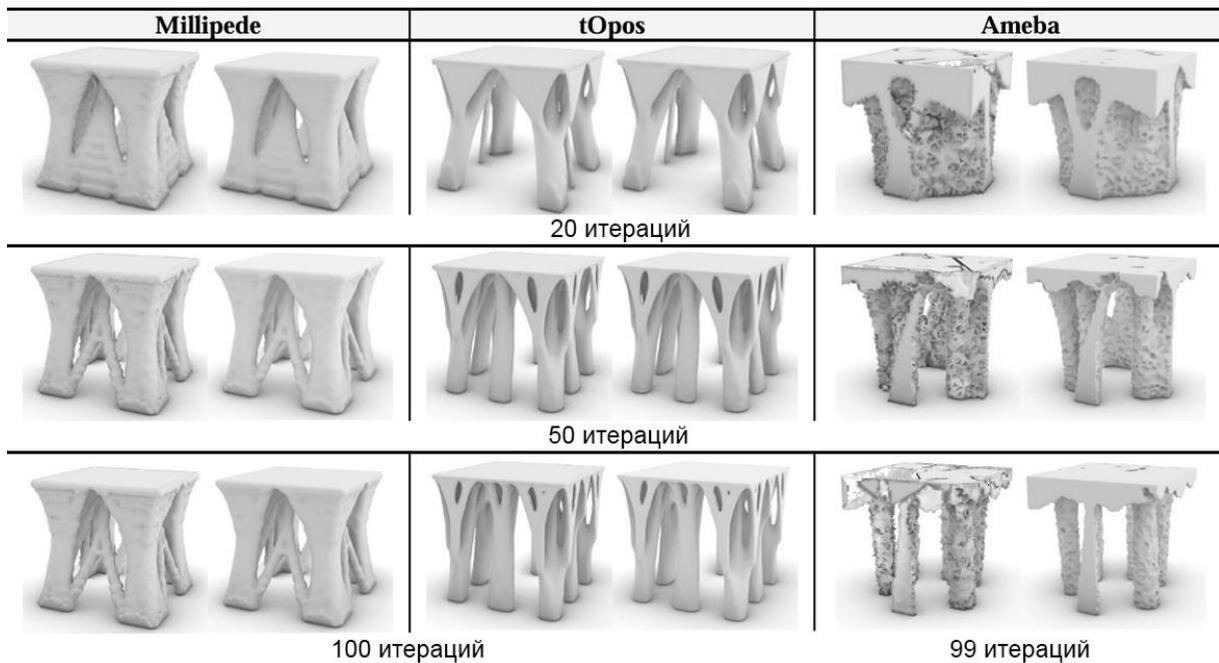


Рис. 5. Сравнение применения плагинов «Millipede», «tOpos», «Ameba» для топологической оптимизации

4. Формообразование с использованием физических симуляций. Физические симуляции применяются для экспериментального моделирования и оценки потенциала структуры. Симуляции могут иметь естественный (ветер, осадки, землетрясение, солнечная радиация, гравитация) или искусственный (скручивание, моделирование сценариев нагрузочных симуляций) характер [6]. Плагины, работающие на основе физических симуляций (рис. 6): «Kangaroo Physics», «Karamba3D», «Emu», «Kiwi!3D».

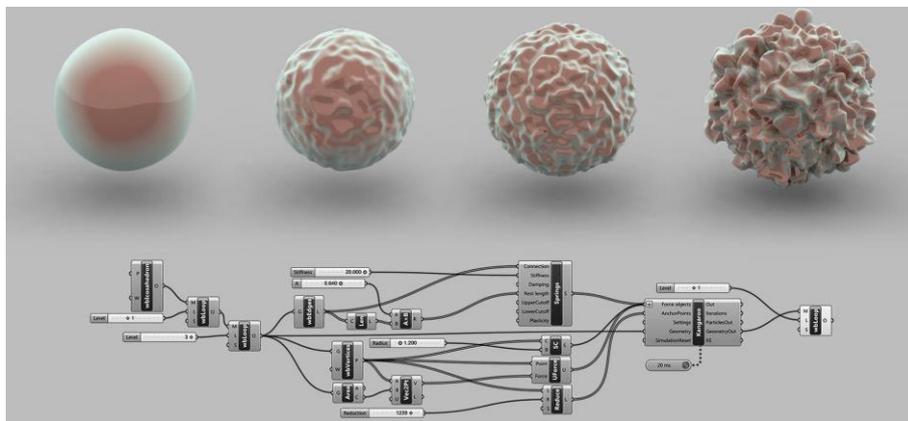


Рис. 6. Применение плагина «Kangaroo Physics» для физических симуляций при параметрическом проектировании в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper

5. Формообразование, основанное на анализе влияния различных факторов на модель: освещенности, ветра, просматриваемости и т.д. В данном случае результаты анализа напрямую влияют на конечную модель, так как выбирается итоговый вариант с наилучшим результатом; зачастую для его нахождения используются эволюционные алгоритмы.

Плагин «Ladybug Tools» в связке с «Galapagos» быстро подбирает форму здания, соответствующую нормам инсоляции и солнечной радиации. Альтернативный плагин

«Wallacei» используется для решения более сложных задач перебора концептуальных решений [3].

6. Создание новых форм на основе исходной геометрии, но с использованием дополнительных плагинов. Данное направление отличается применением различных вспомогательных параметрических средств при создании формы, нацеленных на сознательное манипулирование геометрией. Могут использоваться плагины от разных производителей с отличным функционалом, которых сейчас существует уже больше 800. Например, плагин «Pufferfish» применяется для создания формы путем перемещения, масштабирования, вращения и отзеркаливания элементов, а также путем интерполяции – уточнения или добавления промежуточных значений (рис. 7).

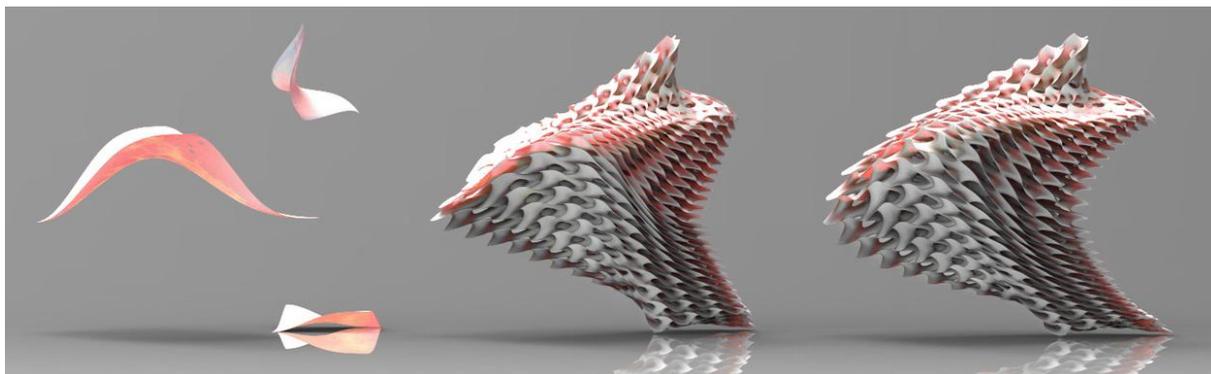


Рис. 7. Применение плагина «Pufferfish» для создания формы при параметрическом проектировании в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper

Плагин «Weaverbird» используется для оптимизации структуры mesh-геометрии, деления сетки на более мелкие сегменты, сглаживания и дополнительной триангуляции поверхностей (рис. 8).



Рис. 8. Применение плагина «Weaverbird» для создания формы при параметрическом проектировании в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper

Плагин «Anemone» применяется для создания формы на основе циклов, сформированных с помощью повтора простого алгоритма (рис. 9).

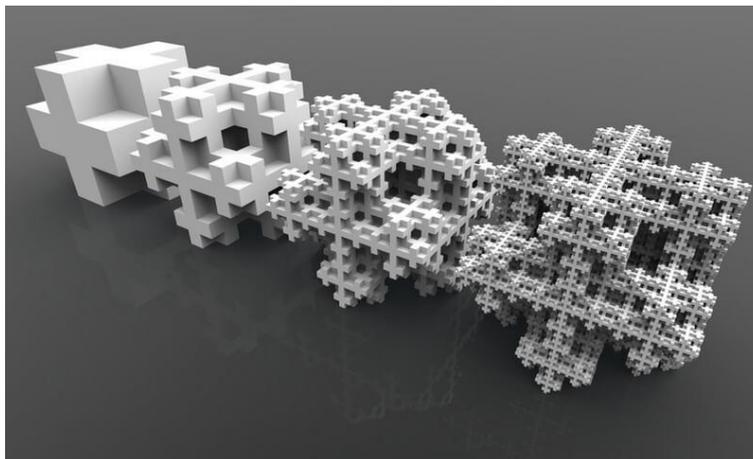


Рис. 9. Применение плагина «Anemone» для создания формы при параметрическом проектировании в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper

7. Создание формы с использованием стандартного набора параметрических инструментов. Данное направление отличается применением лишь тех параметрических средств, которые были заложены создателями программ для параметрического проектирования, без использования плагинов сторонних разработчиков.

Следующий этап архитектурного проектирования после творческого поиска может заключаться в анализе созданной формы и различных факторов, воздействующих на неё: климатических, освещенности, ветра и т.д. Для таких задач используются «Ladybug Tools», «Gecko», «Honeybee», «Heliotrope-Solar» и другие плагины, моделирующие воздействие различных факторов на архитектурный объект.

Параметрические средства могут помочь архитектору произвести дальнейший анализ каких-то отдельных конструктивных элементов будущего объекта с помощью плагинов оптимизации или физических симуляций: «Karamba3D», «Kangaroo Physics», «Bullant», «Hummingbird» и других.

Этапы разработки итогового решения, подготовки чертежей и создания фотореалистичных рендеров модели также могут осуществляться с применением средств параметрического проектирования, как и, например, подбор и анализ строительных материалов с точки зрения оставляемого ими углеродного следа и потенциала для повторного использования.

Заключительным этапом процесса проектной деятельности является реализация объекта. С помощью средств параметрического проектирования можно получить чертежи всех уникальных деталей модели и впоследствии изготовить их с помощью ЧПУ-станка, роботизированного производства, 3D-печати и т.д. [7].

Примеры использования средств параметрического проектирования в процессе формообразования архитектурного объекта

Отель Shaza Doha был спроектирован архитектурным бюро SOMA и построен к 2016 году в Дохе, Катар (рис. 10). Здание расположено в центре города, неподалеку от знаменитого Музея исламского искусства³. Стекланный фасад отеля украшен узором, отсылающим к арабской и исламской геометрии. Архитектурное бюро SOMA применяло средства параметрического проектирования на этапе концептуального проектирования для формирования узора фасада под действием кривой-аттрактора.

³ SHAZA HOTEL // SOMA: официальный сайт архитектурного бюро. URL: <https://www.soma.us/shaza/1> (дата обращения: 02.02.2025).



Рис. 10. Отель «Shaza Doha», арх. SOMA, 2016 г.

Магазин XYZ Formula был спроектирован архитектурным бюро WGNB и построен к 2017 году в Сеуле, Южная Корея (рис. 11). Фасад магазина из перфорированных пластин представляет собой геометрический узор, формирующийся на основе повтора квадрата и под действием линии-аттрактора, которой является нижняя граница фасада. По концепции архитекторов, фасад иллюстрирует процессы «проницаемости» и поглощения естественного света⁴.



Рис. 11. Магазин «XYZ Formula», арх. WGNB, 2017 г.

Владивостокский кёрлинг-центр был спроектирован архитектурными бюро Concrete Jungle и еще находится на стадии реализации во Владивостоке, Россия (рис. 12). Спортивное

⁴ XYZ Formula / WGNB // ArchDaily. July 19, 2017. URL: <https://www.archdaily.com/875995/xyz-formula-wgnb> (дата обращения: 02.02.2025).

сооружение будет расположено на вершине сопки Тюменской, с которой открываются панорамные виды на город и бухту Золотой Рог. Функциональная программа кёрлинг-центра включает ледовое поле, два тренажёрных зала, медкабинет, четыре раздевалки, тренерские и судейские, административные и технические помещения, зону общественного питания. Основная трибуна ледового поля будет рассчитана на 100 зрительских мест⁵. Перфорированный фасад был разработан с применением аттрактора: в местах расположения окон и витражей круглые отверстия имеют наибольший диаметр, чтобы позволить свету попадать в помещения, а при отдалении от проемов диаметр отверстий пропорционально уменьшается. Таким образом, архитектурное бюро Concrete Jungle применяло средства параметрического проектирования на этапах концептуального проектирования (для создания узора на фасаде) и на стадии цифрового производства (для подготовки чертежей).



Рис. 12. Владивостокский кёрлинг-центр, арх. Concrete Jungle (на стадии реализации)

Выводы

Большинство современных архитектурных концепций немислимы без применения компьютерных средств, в том числе средств параметрического проектирования. Благодаря новейшим технологиям, конструкциям и материалам они воплощаются в жизнь, расширяя границы художественного формообразования и диктуя новые тенденции в архитектуре.

Средства параметрического проектирования имеют разнообразный функционал и могут применяться по отдельности или в сочетании друг с другом на всех этапах архитектурного проектирования. При этом перед архитектором ставится задача правильного подбора плагинов, способных реализовать его творческую идею и помочь в её оптимальной реализации. Использование параметрических средств позволяет оптимизировать архитектурный объект и его конструкцию, автоматизировать некоторые процессы проектирования.

С точки зрения формообразования самым популярным на данный момент направлением применения параметрических средств является создание фасадных поверхностей с использованием аттракторов, паттернов и стандартного набора параметрических инструментов.

Источники иллюстраций

Рис. 1-3. Рисунок составлен Азатом Аюповым.

Рис. 4. URL: <http://archisupertorture.blogspot.com/2016> (дата обращения: 02.02.2025).

⁵ В мае владивостокский кёрлинг-центр должен принять первые тестовые соревнования // NewsVL.ru: официальный сайт Владивостока. URL: <https://www.newsvl.ru/vlad/2024/03/18/222643/> (дата обращения: 02.02.2025).

Рис. 5. Selmi, M., İlerisoy, Z. Y. A Comparative Study of Different Grasshopper Plugins for Topology Optimization in Architectural Design // GU J Sci, 2022. Part B, no. 10(3), pp. 323-334. URL:

https://www.researchgate.net/publication/364352814_A_Comparative_Study_of_Different_Grasshopper_Plugins_for_Topology_Optimization_in_Architectural_Design (в авторской обработке) (дата обращения: 02.02.2025).

Рис. 6. URL: <https://www.behance.net/gallery/34375891/surface-growths> (дата обращения: 02.02.2025).

Рис. 7. URL: <https://www.food4rhino.com/en/app/pufferfish> (в авторской обработке) (дата обращения: 02.02.2025).

Рис. 8, 12. URL: <https://ru.pinterest.com/> (в авторской обработке) (дата обращения: 02.02.2025).

Рис. 9. URL: <https://parametrichouse.com/anemone/> (дата обращения: 02.02.2025).

Рис. 10. SHAZA HOTEL // SOMA: официальный сайт архитектурного бюро. URL: <https://www.soma.us/shaza/1> (в авторской обработке) (дата обращения: 02.02.2025).

Рис. 11. XYZ Formula / WGNB // ArchDaily. July 19, 2017. URL:

<https://www.archdaily.com/875995/xyz-formula-wgnb> (дата обращения: 02.02.2025).

Список источников

1. Баталина Т.С. Формирование визуальных образов и инновационных приемов формообразования в современной жилой архитектуре / Т.С. Баталина, В.В. Самсонова // Экономика и бизнес в условиях цифровой трансформации: материалы междунар. научно-практ. конф. Москва: Изд-во АНО ВО «Институт бизнеса и дизайна», 2024. Т. 1. С. 130-139.
2. Братошевская В.В. Методы формообразования параметрического моделирования при создании объекта нелинейной архитектуры / В.В. Братошевская, Е.Э. Ткач // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 56-13. С. 45-48. URL: <https://doicodex.ru/doifile/lj/56/lj-11-2019-284.pdf> DOI: 10.18411/lj-11-2019-284
3. Бритвина К.Е. Параметрическое проектирование в среде GRASSHOPPER+RHINOCEROS 3D / К.Е. Бритвина, О.М. Суслина // Международный научный журнал «Символ науки». Уфа: Изд-во ООО «Омега Сайнс», 2024. С. 148-154.
4. Бурлаков К.В. Параметрический подход в архитектурном 3D моделировании // Innovative Project. 2016. Т. 1. № 1. С. 123-125.
5. Волынский В.Э. Информационно-технологические методы проектирования в архитектурном формообразовании: дис. ... канд. архитектуры: 05.23.20 / Волынский Владимир Эдуардович. Москва, 2012. 202 с.
6. Москалёва А.А. Применение средств визуального программирования в современном проектировании // Наукосфера. 2023. № 5(1). С. 267-272.
7. Салех М.С. Методы архитектурного формообразования на основе генеративного моделирования: дис. ... канд. архитектуры: 2.1.11 / Салех Мария Сальвановна. Москва, 2023. 237 с.

References

1. Batalina T.S., Samsonova V.V. Formation of visual images and innovative shaping techniques in modern residential architecture. Economics and business in the context of digital transformation: proceedings of the International scientific and practical conference. Moscow, 2024, vol. 1, pp. 130-139.

2. Bratoshevskaja V.V., Tkach E.Je. Methods of shaping parametric modeling when creating an object of nonlinear architecture. *Tendencii razvitija nauki i obrazovanija*, 2019, no. 56-13, pp. 45-48. Available at: <https://doicode.ru/doi/10.18411/lj-11-2019-284> DOI: 10.18411/lj-11-2019-284
3. Britvina K.E., Suslina O.M. *Parametricheskoe proektirovanie v srede GRASSHOPPER + RHINOCEROS 3D* [Parametric design in the GRASSHOPPER + RHINOCEROS 3D environment]. *Simvol nauki*. Ufa, 2024, pp. 148-154.
4. Burlakov K.V. *Parametricheskij podhod v arhitekturnom 3D modelirovanii* [Parametric approach in architectural 3D modeling]. *Innovative Project*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 123-125.
5. Volynskov V. Je. *Informacionno-tehnologicheskie metody proektirovanija v arhitekturnom formoobrazovanii (kand. dis.)* [Information technology design methods in architectural shaping. (Cand. Dis)]. Moscow, 2012, 202 p.
6. Moskaljova A.A. *Primenenie sredstv vizual'nogo programmirovaniya v sovremennom proektirovanii* [The use of visual programming tools in modern design]. *Naukosfera*, 2023, no. 5(1), pp. 267-272.
7. Saleh M. S. *Metody arhitekturnogo formoobrazovanija na osnove generativnogo modelirovanija (kand. dis.)* [Methods of architectural shaping based on generative modeling. (Cand. Dis)]. Moscow, 2023, 237 p.

ОБ АВТОРАХ

Бритвина Карина Евгеньевна

Магистрант кафедры архитектуры жилых и общественных зданий (АЖОЗ), Академия архитектуры и искусств, Южный федеральный университет (ЮФУ), Ростов-на-Дону, Россия
georgin_0803@mail.ru

Молчанов Виктор Михайлович

Кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой архитектуры жилых и общественных зданий (АЖОЗ), Академия архитектуры и искусств, Южный федеральный университет (ЮФУ), Ростов-на-Дону, Россия
vimolchanov@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

Britvina Karina E.

Master's Student of the Department of Architecture of Residential and Public Buildings at the Academy of Architecture and Fine Arts, Southern Federal University (SFedU), Rostov-on-Don, Russia
georgin_0803@mail.ru

Molchanov Victor M.

PhD of Architecture, Professor, Head of the Department of Architecture of Residential and Public Buildings at the Academy of Architecture and Fine Arts, Southern Federal University (SFedU), Rostov-on-Don, Russia
vimolchanov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 26.02.2025; одобрена после рецензирования 05.06.2025; принята к публикации 09.06.2025.