

УДК 721.012:004.9

К. Е. Бритвина, В. М. Молчанов

Южный федеральный университет

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ГЕНЕРАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭТАПЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассматривается специфика применения средств генеративного моделирования в архитектурной среде. Отмечается, что в генеративном моделировании существуют три основных подхода: агентные системы, топологические оптимизации и эволюционные (генетические) алгоритмы. Исследуется практическая значимость применения генеративного моделирования на этапе концептуального архитектурного проектирования. Разбирается принцип построения и функционирования алгоритма с применением средств генеративного моделирования на примере создания концептуальной модели туристического центра с использованием плагина Biomorpher в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper.

Ключевые слова: архитектурное проектирование, генеративное моделирование, параметрическое проектирование, алгоритм, плагин, агентные системы, топологические оптимизации, эволюционные (генетические) алгоритмы.

Введение

Концептуальное проектирование — это этап архитектурного проектирования, заключающийся в творческом поиске оригинальной идеи и непосредственно в процессе формообразования будущего объекта. Один из возможных вариантов действий архитектора на данном этапе представляет собой использование средств генеративного моделирования, являющихся, в свою очередь, инструментами параметрического проектирования.

«Параметрическое проектирование — это процесс моделирования архитектурного объекта с помощью построения алгоритма, в котором формообразование основано на управлении переменными параметрами» [1, с. 376]. В данном случае архитектурный объект будет выражен в форме алгоритма, а его параметрами могут послужить как традиционные характеристики конструкций, так и набор внешних факторов: от рельефа и климата до окружающей застройки.

Применительно к архитектуре наблюдается тенденция к параметрическому проектированию, реализуемому посредством программного комплекса Rhinoceros 3D в связке с Grasshopper [2]. Данный подход, опирающийся на визуальное программирование, выделяется среди аналогов удобным для пользователя интерфейсом, широким выбором инструментов для моделирования, совместимостью с другим программным обеспечением и способностью расширять функционал за счет сторонних плагинов [3]. Благодаря тому, что Grasshopper работает по принципу построения алгоритмов с использованием нодов, которые являются визуальными выражениями функций или готовыми блоками программного кода, освоение данной программы потребует от архитектора значительно меньших усилий, чем изучение традиционного программирования [4].

Генеративное моделирование как часть параметрического проектирования является мощным инструментом, предоставляющим архитекторам прак-

тически безграничные возможности для поиска идей и вдохновения на этапе концептуального проектирования [5].

Целью исследования является систематизация теоретических знаний о генеративном моделировании, изучение практической значимости его применения на этапе концептуального архитектурного проектирования.

Задачи исследования:

1. Анализ опыта применения средств генеративного моделирования.
2. Выявление специфики применения средств генеративного моделирования в архитектурной среде.
3. Разработка концептуальной модели туристического центра в г. Благовещенске с применением средств генеративного моделирования.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые в процессе концептуального проектирования такого объекта, как туристический центр, применялись средства генеративного моделирования, в частности плагин Biomorpher, основанный на эволюционных (генетических) алгоритмах.

Основная часть

Генеративное моделирование

«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. Генеративная архитектура относится к начальной фазе применения искусственного интеллекта, то есть к разделу машинного обучения»¹. Она опирается на его возможности, но при этом именно архитектор является тем, кто задает параметры на начальном этапе и осуществляет основной контроль над процессом.

Генеративное моделирование стоит особняком среди других направлений, в которых используются различные параметрические средства, потому что итогом работы алгоритма может стать объект с достаточно непредсказуемой геометрией для архитектора, хоть он и задает параметры будущей формы на входе.

В генеративном моделировании можно выделить три принципиально разных направления, напрямую влияющих на то, каким будет создаваемый алгоритмом объект: агентные системы, топологические оптимизации, эволюционные (генетические) алгоритмы².

Агентные системы, работающие на основе природных самоорганизаций, используются в основном для оптимизации геометрии. Алгоритм моделирует поведение агентов с заданными им базовыми параметрами, определяющими, как они будут действовать в конкретных условиях [6]. Моделями поведения для агентных систем могут служить роевой интеллект и стигмергия [7], поведение стай птиц, рыб, потоков людей и т. д.

Примером работы агентной системы является моделирование поведения пешеходов плагином Pedsim в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper (рис. 1). Следуя алгоритму, агенты перемещаются от начальной точки к конечной, выбирая оптимальный маршрут и избегая препятствий и других людей.

¹ Салех М. С. Методы архитектурного формообразования на основе генеративного моделирования : дис. ... канд. архитектуры : 2.1.11. М., 2023. 237 с. С. 17.

² Там же.

В поведение пешеходов также заложен интерес к другим целям на пути, так что агенты могут на время отправиться к ним, а затем вернуться к следованию по маршруту к пункту назначения. Применение плагина Pedsim наиболее эффективно при проектировании общественных пространств, где предполагается интенсивное движение пешеходов.

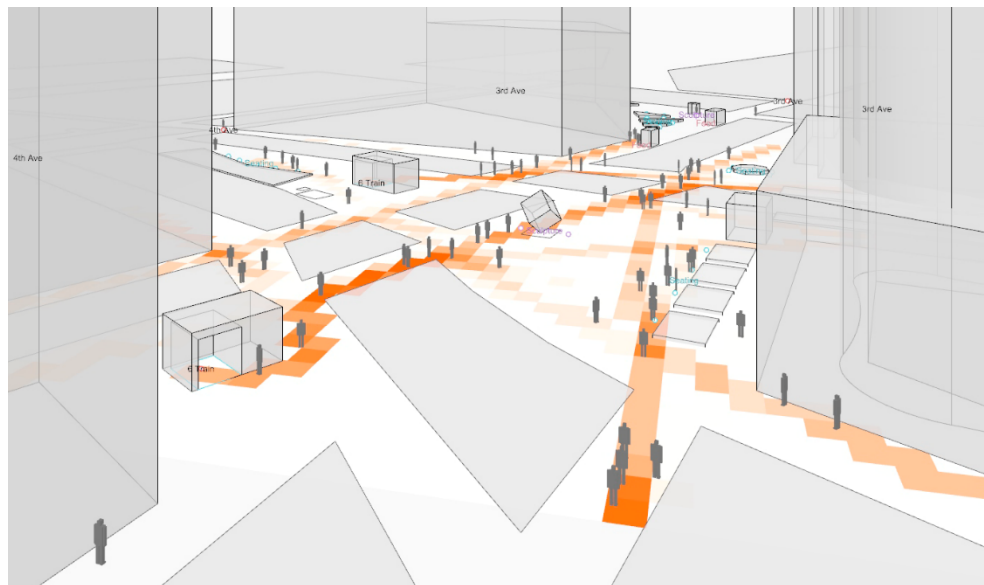


Рис. 1. Моделирование поведения пешеходов плагином Pedsim в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper. Автор Peng Wang

Топологические оптимизации используются для получения наиболее эффективного распределения материала в области проектирования с точки зрения приложенной нагрузки и граничных условий [8, 9]. Они широко применяются в машиностроении и автомобилестроении и обладают значительным потенциалом для архитектуры, где важны одновременно экономическая целесообразность и надежность. Здесь топологические оптимизации позволяют минимизировать строительные ресурсы при сохранении высоких эксплуатационных характеристик объекта [10].

Примером использования топологических оптимизаций в архитектуре является The Unikabeton Project, разработанный Орхусской архитектурной школой в 2007 г. В рамках проекта была возведена бетонная конструкция размером $12 \times 6 \times 3,3$ м, представляющая собой асимметричную, двояко изогнутую плиту на трех опорах (рис. 2). Благодаря топологическим оптимизациям расход материалов на ее изготовление был снижен на 70 % по сравнению с аналогичными неоптимизированными конструкциями [11, 12]. Этот проект также интересен с точки зрения влияния генеративного моделирования на формообразование объекта: результатом оптимизации материала стала сложная конструкция, демонстрирующая естественную траекторию нагрузок.

Эволюционные (генетические) алгоритмы используются для поиска наилучшего возможного решения, удовлетворяющего всем заданным требованиям. Происхождение названия данного направления генеративного моде-

лирования связано с его опорой на теорию естественного отбора, согласно которой преимущество получает наиболее жизнеспособная особь [13, 14].



Рис. 2. Бетонная конструкция, возведенная в рамках The Unikabeton Project

Эволюционные (генетические) алгоритмы часто применяются в связке с другими средствами параметрического проектирования. Например, совместная работа плагинов Galapagos и Ladybug Tools обеспечивает оптимизацию формы здания с целью соответствия нормативным требованиям по инсоляции и уровню солнечной радиации.

Еще одним вариантом использования эволюционных (генетических) алгоритмов может служить поиск оптимального решения фасада (рис. 3), направленного на снижение степени визуального дискомфорта, возникающего из-за узлов и опор конструкций внешних стен, при одновременном повышении эстетических и эксплуатационных характеристик фасада [15].

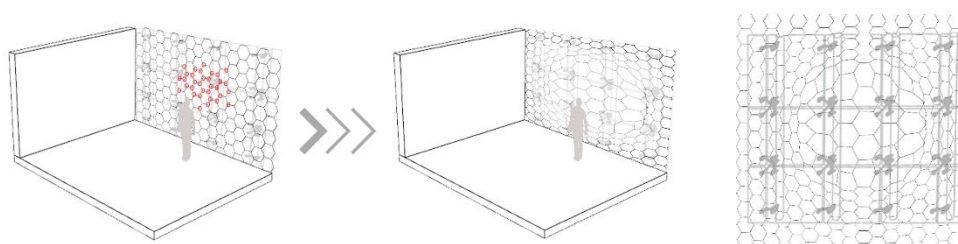


Рис. 3. Пример использования эволюционных (генетических) алгоритмов для поиска оптимального решения фасада [15]

Применение средств генеративного моделирования в архитектурном проектировании на примере разработки концептуальной модели туристического центра в г. Благовещенске

Разберем более подробно принцип построения и функционирования алгоритма с применением средств генеративного моделирования. В данном

случае это разработанный авторами настоящей статьи алгоритм для создания концептуальной модели туристического центра с использованием плагина Biomorpher в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper.

Плагин Biomorpher использует эволюционные (генетические) алгоритмы, которые опираются на «эвристический алгоритм поиска наиболее подходящего решения с использованием инструментов, аналогичных естественному отбору в природной среде»³. Плагин работает с большими популяциями, однако использует при этом кластеризацию, чтобы сгруппировать похожие с точки зрения генотипа варианты вместе, сократив количество отображаемых для пользователя кластеров до 12, и позволяет ручное вмешательство в процесс эволюции: пользователь может установить максимальное значение пригодности для всех моделей в одном или нескольких кластерах путем установки галочки в правом верхнем углу понравившихся вариантов [16]. Тем самым пользователь увеличивает вероятность того, что они будут выбраны для генерации следующего поколения. Кроме того, пользователь может указать плагину, стоит ли минимизировать или максимизировать значения некоторых учитываемых в процессе эволюции параметров. Все это помогает генерации оптимального варианта в контексте заданных параметров и ограничений.

Сперва в алгоритме задаются границы участка проектирования, затем в их пределах создается область произвольно расположенных точек, на основе которых нод QuadTree строит ячейки — будущие объемы или же функциональные зоны проектируемого объекта. Так как ячеек формируется множество и некоторые из них оказываются находящимися вплотную друг к другу, далее нодом Region Union объединяются ячейки, соприкасающиеся гранями. После этого при желании можно добавить в алгоритм область градусов поворота объединенных ячеек вокруг их центра. Затем ограничивается значение общей площади застройки участка проектирования, в случае туристического центра в Благовещенске это область от 5500 до 9000 м², которая была определена ранее на этапе назначения важнейших характеристики будущего объекта. Вслед за этим выставляется диапазон площадей уже объединенных ячеек от значения площади самой маленькой функциональной зоны (400 м²) до суммы площадей всех функциональных зон туристического центра (5500 м²). На этом этапе алгоритм отсеивает слишком большие или слишком маленькие по площади ячейки, допуская дальше для работы только те, что входят в диапазон (рис. 4).

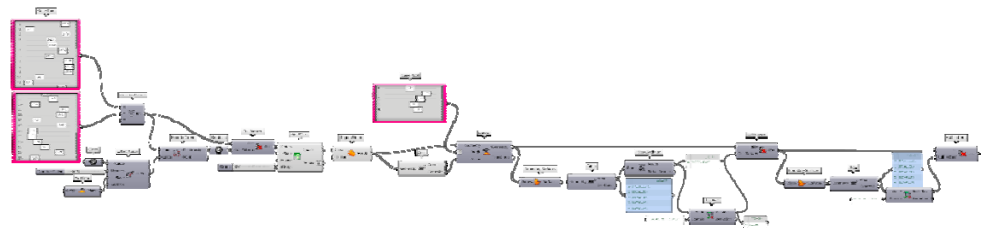


Рис. 4. Алгоритм для создания концептуальной модели туристического центра с использованием плагина Biomorpher (часть 1)

³ Там же. С. 119.

Затем ограничивается общее количество ячеек; так как каждая из них в данном случае подразумевает определенную функциональную зону, то пределом для туристического центра в Благовещенске становятся пять ячеек, соответствующих туристско-информационной зоне, совмещенной с административной, выставочной зоне, торговой зоне, зоне с офисными и конференц-пространствами и зоне общественного питания. Далее в алгоритм добавляется область высот объемов. Предпоследний этап заключается в выставлении параметров, значения которых могут быть минимизированы или максимизированы в процессе моделирования, чтобы добиться наиболее подходящего результата. В случае туристического центра в Благовещенске в качестве параметров выставляются максимальная высота, максимальная площадь самой большой ячейки (функциональной зоны) и общая площадь всех ячеек (застройки).

Затем подключается главный нод плагина Biomorpher. В его входной разъем Genome подключаются ноды Gene Pool, с помощью которых создавались область произвольно расположенных точек для построения ячеек, область градусов поворота объединенных ячеек и область высот. Значения из нодов Gene Pool перебираются и изменяются эволюционным (генетическим) алгоритмом в процессе работы плагина Biomorpher. Во входной разъем Performs подключаются выставленные ранее параметры для минимизации и максимизации (рис. 5).

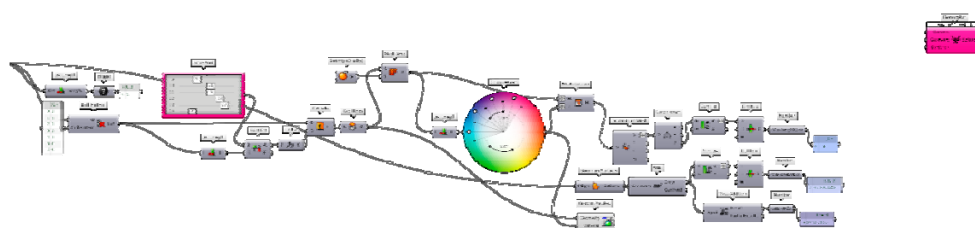


Рис. 5. Алгоритм для создания концептуальной модели туристического центра с использованием плагина Biomorpher (часть 2)

Нажатием два раза по ноду Biomorpher открывается окно плагина, где в первой вкладке Population задаются исходные настройки для популяции, такие как размер, коэффициент пересечения и частота мутаций, по умолчанию установлены общие значения. Нажатием на одну из кнопок GO плагин Biomorpher начинает свою работу, по ее завершении во вкладке Designs формируются 12 кластеров с моделями будущего туристического центра. Если представленные варианты с субъективной точки зрения оказываются недостаточно приемлемыми для итогового, то далее можно вручную выбрать наиболее подходящие варианты, задав им максимальное значение пригодности и поставив галочку в их кластере, а также можно дополнительно настроить параметры для минимизации и максимизации (рис. 6). После этого нажатием на кнопку Evolve начинается генерация следующего поколения на основе указанных предпочтений. Количество генераций не ограничено, однако нужно учитывать, что из-за подключения ко входному разъему Genome большого количества данных для перебора на поиск наиболее подходящего результата может уйти много попыток, все они сохраняются во вкладке History (рис. 7).

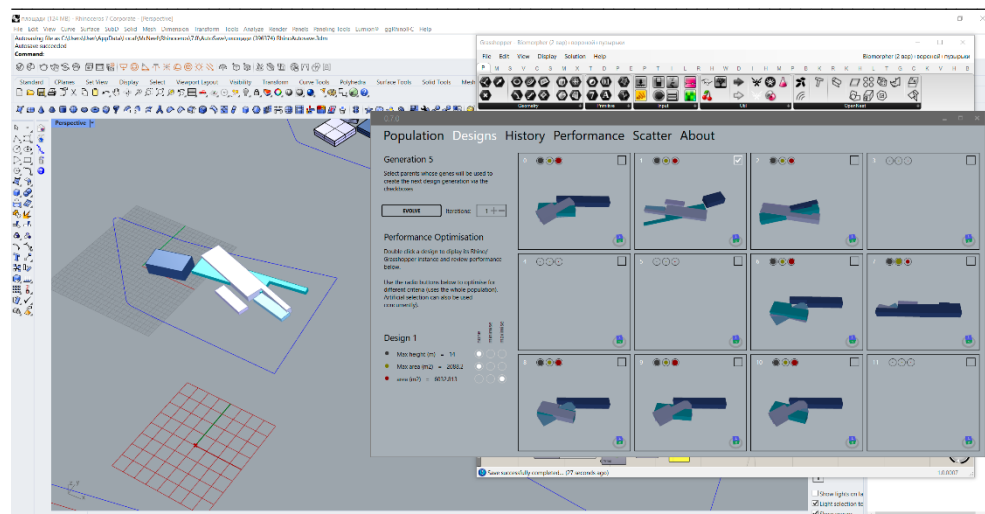


Рис. 6. Генеративное моделирование туристического центра с использованием плагина Biomorpher в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper



Рис. 7. История генераций модели туристического центра

Результатом работы алгоритма с использованием в нем плагина Biomorpher в среде Rhinoceros 3D + Grasshopper становится бесконечное количество вариантов объемно-планировочного решения туристического центра в Благовещенске. Благодаря эволюционным (генетическим) алгоритмам, заложенным в плагин Biomorpher, эти концептуальные модели оптимально удовлетворяют всем требованиям по необходимым высотам и площадям. Архитектору остается лишь принять решение в пользу наиболее предпочтительного варианта, опираясь на собственное видение проектируемого объекта.

Заключение

Использование средств генеративного моделирования, являющихся, в свою очередь, инструментами параметрического проектирования, на концептуальном этапе позволяет оптимизировать процесс архитектурного проектирования, ускоряя разработку модели и автоматизируя внесение корректировок.

Каждое из основных направлений генеративного моделирования: агентных систем, топологических оптимизаций, эволюционных (генетических) алгоритмов — может использоваться в архитектурной среде для решения множества задач, начиная с поиска оптимального варианта фасада и заканчивая эффективным распределением материалов в конструкции для минимизации затрат при строительстве.

Разбор принципа построения и функционирования алгоритма с применением средств генеративного моделирования позволяет сделать вывод о том, что их использование, в частности плагина Biomorpher, во время концептуального проектирования действительно делает этот процесс быстрее и позволяет добиться большого разнообразия упрощенных объемных решений объекта с минимумом вводных данных. Однако при этом оно требует от архитектора умения установить необходимые ограничения, чтобы направлять эволюционные (генетические) алгоритмы на поиск оптимальной модели в контексте заданных параметров. Финальное решение также остается за архитектором: именно он выбирает наиболее понравившийся ему вариант из бесконечного количества генераций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бритвина К. Е., Молчанов В. М. Архитектурное формообразование с использованием средств параметрического проектирования // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2025. № 2(71). С. 375—386. DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-375-386. EDN: UZLDJY.
2. Бритвина К. Е., Суслина О. М. Параметрическое проектирование в среде Grasshopper + Rhinoceros 3D // *Международ. науч. журн. «Символ науки»*. 2024. № 6-2. С. 148—154.
3. Mohol N., Bambawale A. Understanding the role of Rhino as a parametric tool in designing architectural built-forms // *Proceedings of the International Conference on Applications of Machine Intelligence and Data Analytics (ICAMIDA 2022)*. 2023. Pp. 167—187. DOI: 10.2991/978-94-6463-136-4_18.
4. Клековкин Е. А., Сунцов А. С. Применение визуального программирования для задач автоматизации в строительстве // *Construction and Geotechnics*. 2023. Т. 14. № 2. С. 128—143. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.10.
5. Österlund T. Methods for morphogenesis and ecology in architecture — designing the Bothnian Bay cultural center. Kopio Niini Oy, Tampere, Finland. 2010. 64 p.
6. Кривенко А. А., Моор В. К., Гаврилов А. Г. Генеративное проектирование как средство формирования архитектурных объектов // *Архитектура и дизайн: история, теория, инновации : материалы второй Междунар. науч. конф. Владивосток : ДФУ, 2017*. С. 203—206.
7. Ueda T. Discovering building blocks for human based genetic algorithms // *Illinois Genetic Algorithms Laboratory*. 2008. Report no. 2007020.
8. Bendsoe M. P., Sigmund O. Topology optimization: theory, methods and applications. 2nd ed. Springer, 2003. 370 p.
9. Sigmund O., Maute K. Topology optimization approaches // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2013. Vol. 48. Iss. 6. Pp. 1031—1055. URL: <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0978-6>.
10. Selmi M., İlerisoy Z. Y. A comparative study of different grasshopper plugins for topology optimization in architectural design // *GU. J. Sci.* 2022. Part B. Vol. 10. Iss. 3. Pp. 323—334. URL: https://www.researchgate.net/publication/364352814_A_Comparative_Study_of_Different_Grasshopper_Plugins_for_Topology_Optimization_in_Architectural_Design.
11. Søndergaard A., Dombernowsky P. Unikabeton prototype: making digital architecture // *Fabricate 2011* / Eds. R. Glynn, B. Sheil. 2017. Pp. 55—60.
12. Naboni R., Paoletti I. Architectural morphogenesis through topology optimization // *Handbook of Research on Form and Morphogenesis in Modern Architectural Contexts*. 2018. Pp. 69—92. URL: https://www.researchgate.net/publication/323993071_Architectural_Morphogenesis_Through_Topology_Optimization.
13. Sobek W. Adaptive systems: new materials and new structures // *Post-ductility. Metals in architecture and engineering* / Eds. M. Bell, C. Buckley. New York : Princeton Architectural Press, 2012. Pp. 129—133.

14. Москалева А. А. Применение средств визуального программирования в современном проектировании // Наукосфера. 2023. № 5(1). С. 267—272.

15. Rezakhani M., Kim S.-A. Genetic algorithm-driven optimization of pattern for parametric facade design based on support position data to increase visual quality // Buildings. 2024, Vol. 14. Iss. 4. Art. no. 1086. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14041086>.

16. Harding J. Biomorpher. Interactive Evolution for Grasshopper. User Manual for v0.7.0. 2020. 22 p.

© Бритвина К. Е., Молчанов В. М., 2026

Поступила в редакцию
14.05.2026

Ссылка для цитирования:

Бритвина К. Е., Молчанов В. М. Применение средств генеративного моделирования на этапе концептуального архитектурного проектирования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 3(104). С. 328—336. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_328.

Об авторах:

Бритвина Карина Евгеньевна — магистрант Академии архитектуры и искусств, Южный федеральный университет. Российская Федерация, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39; georgin_0803@mail.ru

Молчанов Виктор Михайлович — канд. архитектуры, проф., зав. каф. архитектуры жилых и общественных зданий Академии архитектуры и искусств, Южный федеральный университет. Российская Федерация, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39; vimolchanov@yandex.ru

Karina E. Britvina, Victor M. Molchanov

Southern Federal University

APPLICATION OF GENERATIVE MODELING TOOLS AT THE CONCEPTUAL ARCHITECTURAL DESIGN STAGE

The specifics of using generative modeling tools in an architectural environment are considered. It is noted that there are three main approaches in generative modeling: agent systems, topological optimizations, and evolutionary (genetic) algorithms. The practical significance of the use of generative modeling at the stage of conceptual architectural design is investigated. The principle of constructing and functioning of the algorithm using generative modeling tools is analyzed using the example of creating a conceptual model of a tourist center using the Biomorpher plug-in in the Rhinoceros 3D + Grasshopper environment.

Key words: architectural design, generative modeling, parametric design, algorithm, plug-in, agent systems, topological optimizations, evolutionary (genetic) algorithms.

For citation:

Britvina K. E., Molchanov V. M. [Application of generative modeling tools at the conceptual architectural design stage]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 3, pp. 328—336. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_328.

About authors:

Karina E. Britvina — Master's Degree student, Southern Federal University. 39, Budennovskiy Ave., Rostov-on-Don, 344082, Russian Federation; georgin_0803@mail.ru

Victor M. Molchanov — Candidate of Architecture, Professor, Southern Federal University. 39, Budennovskiy Ave., Rostov-on-Don, 344082, Russian Federation; vimolchanov@yandex.ru