

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ  
INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES**

УДК 004.852

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-1

Лаушкина А.А.  
Басов О.О.**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
В СФЕРЕ АРХИТЕКТУРЫ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

*e-mail: nastasjalausckina@mail.ru, oobasov@mail.ru*

**Аннотация**

Настоящая работа посвящена исследованию применения генеративного моделирования в проектировании: это итерационный процесс, при котором происходит генерация нескольких выходных данных с учетом определенных ограничений входных параметров. Генеративный дизайн может предложить преимущества традиционному проектированию, поскольку ещё на стадии концептуальной разработки учитываются специально установленные критерии. Цель работы состояла в исследовании существующих методов и алгоритмов генеративного дизайна при городском планировании с учетом изменения характеристик окружающей среды. Первым шагом было определение входных данных для проектирования городской структуры. Вторым этапом выступал анализ существующих решений. В заключении был сделан вывод о различных ограничениях, с которыми сталкиваются разработчики, а именно: необходимость внесения изменений в пользовательском режиме накладывает ограничения по применению подобных систем. Также установлено, что на данный момент отсутствует четкая логика, по которой генеративные системы могли бы выявлять противоречия в наборе мультимодальных данных и принимать решение о соответствии полученного результата динамически изменяющимся параметрам.

**Ключевые слова:** генеративный дизайн, проектирование, анализ данных, система, архитектура, машинное обучение.

**Для цитирования:** Лаушкина А.А., Басов О.О. Применение методов генеративного дизайна с использованием мультимодальных данных в сфере архитектуры и градостроительства // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №3, 2021. – С. 3-10. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-1

Laushkina A.A.  
Basov O.O.**APPLICATION OF GENERATIVE DESIGN METHODS USING  
MULTIMODAL DATA IN THE FIELD OF ARCHITECTURE AND  
URBAN PLANNING**

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,  
49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

*e-mail: nastasjalausckina@mail.ru, oobasov@mail.ru*

**Abstract**

This paper is devoted to the study of generative modeling in design used: this is an iterative process that generates several output data with consideration to certain restrictions of the input parameters. Generative design can offer advantages to traditional design as specifically defined criteria are taken into account early as the conceptual design stage. The purpose of the work was to study the existing methods and algorithms of generative design in urban planning, taking into

account changes in environmental characteristics. The first step was to determine the input data for the design of the urban structure. The second stage was the analysis of existing solutions. In conclusion, it was The conclusion was made about the various constraints faced by developers, namely: the requirement to make changes in the user mode imposes restrictions on the use of such systems. It is also established that at the moment there is no clear logic by which generative systems can identify contradictions in a set of multimodal data and make a decision on the correspondence of the obtained result to dynamically changing parameters.

**Keywords:** generative design, planning, data analysis, system, architecture, machine learning.

**For citation:** Laushkina A.A., Basov O.O. Application of generative design methods using multimodal data in the field of architecture and urban planning // Research result. Information technologies. – Т.6, №3, 2021. – P. 3-10. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-1

## ВВЕДЕНИЕ

Проектирование на основе алгоритмического подхода (computational design, CD) берет свое начало в 70-х годах 20 века. CRAFT [7] была одной из первых систем, автоматизирующих процедуры проектирования с использованием методов оптимизации. С развитием технологий были введены понятия, описывающие различные подходы к проектированию на основе CD (рис. 1):

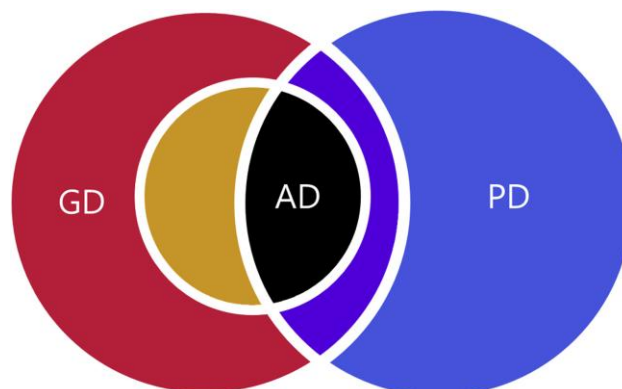


Рис. 1. Концептуальное представление понятий, описывающие различные подходы к проектированию, относительно парадигмы CD

Fig. 1. A conceptual representation of definitions describing various approaches to design relative to the CD paradigm

1. **Generative Design (GD)** – это подход к проектированию, который использует алгоритмы для создания проектов. Подход основан на правилах различных процессов, которые генерируют множественные решения;

2. **Algorithmic design (AD)** – это подход GD, характеризующийся идентифицируемой корреляцией между алгоритмом и его результатом.

3. **Parametric Design (PD)** – это подход к проектированию, основанный на алгоритмическом мышлении, который позволяет управлять или изменять параметры и переменные, которые определяют и формируют взаимосвязь между изначальной целью проектирования и конечным результатом проекта [14].

Взаимосвязь между терминами, указанными на рис. 1, подразумевает, что AD является подмножеством GD, то есть подход AD всегда является генеративным. Подходы GD или AD могут быть параметрическими или использовать методы PD, но есть примеры PD, которые не полагаются на генеративные подходы.

Целью генеративного дизайна является создание нового результата. Для увеличения эффективности генеративного проектирования используются методы искусственного интеллекта, такие как метаэвристические алгоритмы поиска, чтобы "обнаружить" новые и высокоэффективные результаты. Вследствие этого методы генеративного дизайна нашли широкое применение в различных отраслях: строительство, робототехника, медицина и пр.

Искусственный интеллект в генеративном дизайне играет первостепенную роль, а именно методы машинного обучения. Данные методы применимы к большому спектру задач классификации и прогнозирования на основе показателей предметной области с учетом изменения факторов окружающей среды и заданных условий. При достаточно большом и качественном объеме данных, используемых для обучения модели, может быть достигнута высокая точность прогнозов и реализовано множество объектов.

В общем случае при генеративном архитектурном проектировании рабочий процесс включает следующие последовательные этапы:

- **Этап разработки:** варианты генерируются системой с использованием алгоритмов и параметров, заданных проектировщиком;
- **Этап анализа:** варианты, созданные на предыдущем этапе, измеряются и/или анализируются в соответствии с целями, определенными разработчиком;
- **Этап классификации:** варианты сортируются на основе результатов анализа;
- **Этап ранжирования:** процесс ранжирования вариантов дизайна для определения направления последующей разработки проекта;
- **Этап исследования:** автор сравнивает и анализирует созданные проекты, проверяя как геометрию, так и выведенные системой результаты оценки.
- **Этап интеграции:** выбирается предпочтительный вариант дизайна и интегрируется в более крупный проект или среду (рис. 2) [6].

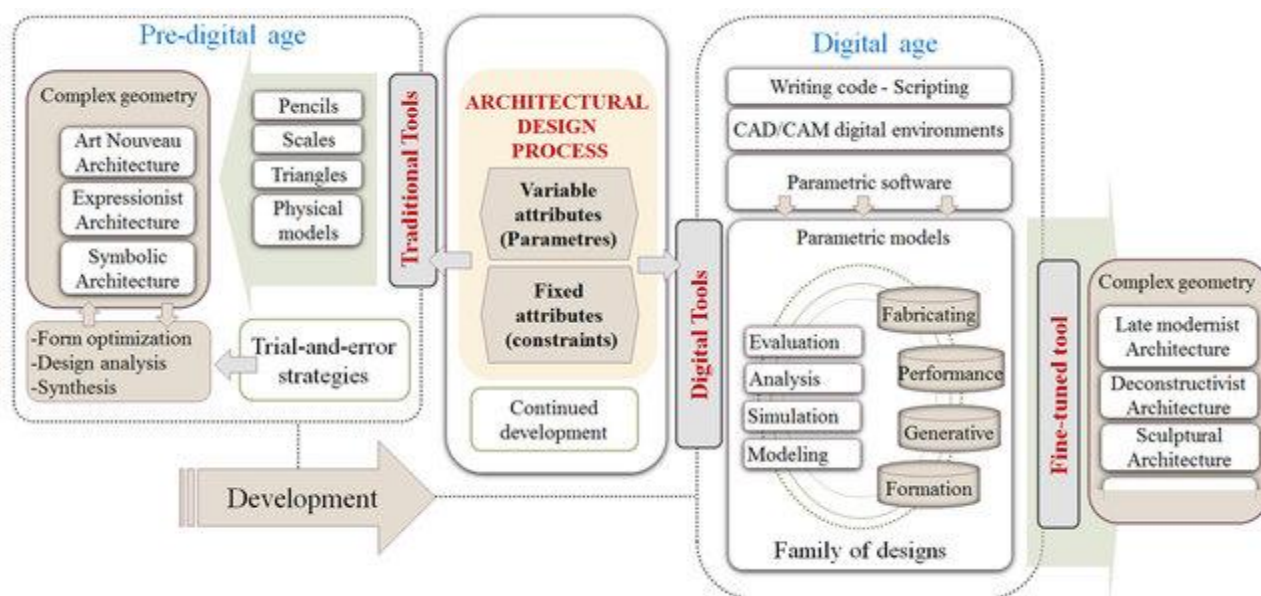


Рис. 2. Концептуальная структура процесса архитектурного проектирования [14]

Fig. 2. The conceptual structure of the architectural design process [14]

В области традиционного градостроительного подхода проектировщики используют накопленный практический опыт и теорию городского планирования для проектирования объектов городской среды [11]. Однако, этот процесс сопровождается некоторым числом ошибок в оценке территории застройки из-за отсутствия или неполноты входной информации о характеристиках проектируемой зоны. До сих пор большинство генеративных исследований в области архитектуры и дизайна сосредоточены, в основном, на формообразовании [15], оптимизации фасада, а также функциональном зонировании ограниченной территории [11].

Вследствие всего вышесказанного, данная статья направлена на изучение существующих решений генеративного моделирования в сфере дизайна и архитектуры с учетом изменения характеристик окружающей среды. Основной задачей является анализ предлагаемых подходов к разработке топологических структур (включая освещение), которые представлены в ряде научных исследований и на данный момент применяются в таких сферах рынка, как градостроительный

сегмент, дизайн и архитектура. Данная работа предполагает выявление необходимости использования генеративного дизайна в проектировании с выявлением достоинств и недостатков такого метода, а также дальнейшие области применения методов GD.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Анализ предметной области был проведен на основе статей о существующих методах и средствах проектирования градостроительной структуры в целом и архитектурных объектов в частности. Были определены следующие критерии тематического исследования:

1) область применения методов GD, частные случаи (реставрация зданий и сооружений, проектирование участков территории, моделирование и проверка деталей физических систем в соответствии требованиям ГОСТ и СНИП и т.д.);

2) входные данные, необходимые для реализации процесса генерации;

3) алгоритмическая структура;

4) программное взаимодействие.

С тех пор, как в начале 2000-х были выпущены инструменты 3D моделирования и проектирования, было относительно небольшое, но активно развивающееся число проектов, использующих генеративный дизайн как инструмент исследования и реконструкции зданий и сооружений. К примеру, авторы [18] изучали процесс генерации геометрии сводов на основе правил с помощью Grasshopper: с помощью лазерного сканера Faro Focus был произведен сбор информации, которая дала ключевую информацию о параметрах собора. Данные о двумерных планах, радиусах отдельных ребер сводов собора, высоте вершин и расстояниях между центрами дуг от уровня импоста были объединены в единую гомогенизированную модель с последующим экспортированием в Rhinoceros 3D для генераций решений. Данная модель имитировала средневековые методы проектирования. Исходная трассировка собора была сопоставлена с генеративными моделями для выявления геометрических пропорций собора с последующим выявлением несоответствий при проектировании реального объекта. Данный подход позволяет увеличить скорость моделирования и проследить процесс изменения правил в проектировании, оставляя при этом исследователям больше времени для проведения анализа объекта изучения.

В большинстве существующих исследований применяются технологии информационного моделирования зданий (BIM<sup>1</sup>) с использованием языка программирования Python и определенных алгоритмов генерации в зависимости от поставленных задач [6, 7, 11].

Например, совсем недавно GD был применен в области механики для разработки, ориентированного на повышение производительности и улучшение характеристик изделий [1, 5, 16]. В этом случае исследования были сосредоточены на разработке инструментов искусственного интеллекта для решения задач структурной оптимизации.

В статье [9] рассматривается вопрос функционирования программного обеспечения, а также его характеристики, при создании части захватного устройства. Авторы использовали платформу для трехмерного проектирования Autodesk Fusion 360. Анализ соответствия устройства заданным требованиям проводился с помощью встроенных инструментов. Данный подход является оправданным в том случае, когда у проектировщика недостаточно навыков для учета всех ограничений при интегрировании разрабатываемой части в общую структуру проекта. Необходимо отметить, что работа с данным программным обеспечением является достаточно трудоемкой, поскольку требует от проектировщика специальных навыков в области программирования.

В статье [8] рассматривается система искусственного интеллекта, основанная на многоагентном алгоритме. Система воспроизводит процесс анализа, который используется инженерами при проектировании городов. В этом процессе учитываются особенности данных

<sup>1</sup> BIM – процесс, основанный на использовании интеллектуальных 3D-моделей



окружающей среды и настраиваются параметры модели в соответствии с функциональным зонированием и используются следующие методы:

1. Создание топологической сетки городской территории с учетом ее особенностей (рельеф);
2. Присвоение веса каждой точке участка для количественной оценки характеристик территории (высотные точки, прибрежные территории и водоемы, уклон местности, инсоляция, видовые точки, функциональное зонирование).

Для решения поставленных задач авторы использовали динамический алгоритм оптимизации MAS (Multy-agent System, рис. 3). Каждая точка сетки является агентом, в то время как категория функционального зонирования является ее состоянием. При определенных условиях агенты воспринимают изменения в окружающей среде и принимают решения о будущем поведении модели на основе этих изменений. При реализации использовались следующие инструменты:

1. Formit для базового проектирования;
2. Revit для моделирования в среде BIM;
3. Dynamo для адаптации таблиц с данными о вершинах, графиках и кастомизации для Python;
4. Refinery для реализации оптимизации с помощью метаэвристического алгоритма NSGA-II.

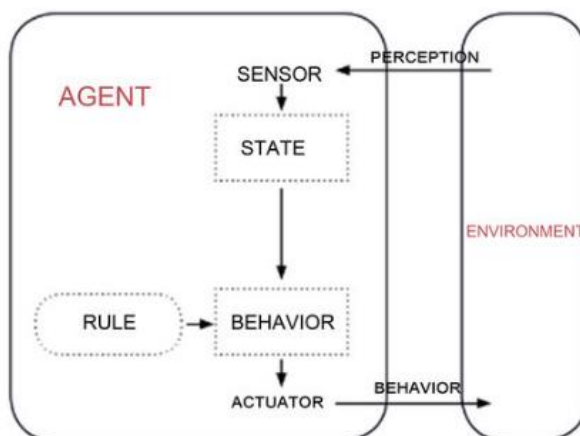


Рис. 3. Алгоритм оптимизации MAS [12]

Fig. 3. Multi-agent System optimization algorithm [12]

В результате анализа статьи [8] было выявлено, что разработанная система не является достаточно “общей”. Таким образом, когда система применяется к другому городу или участку, остается необходимость ручной настройки входных и выходных параметров на всех этапах работы, таких как функциональное зонирование или других процессах городского планирования, которые зависят от особенностей территории. Кроме того, стоит отметить, что отсутствует четкая логика, по которой система могла бы судить о соответствии сгенерированного решения конечной цели.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Несмотря на рост интереса к подходам GD, эта область все еще мало изучена [12, 17]. В существующих исследованиях в области архитектуры представлены работы, которые направлены на решение вопросов энергоэффективности [10], разработку прототипов (аналогов существующего объекта в 3D представлении) [3] или процесс проектирования [4].

Следовательно, существует потребность в создании фреймворка и программных инструментов, ориентированных на процесс создания генеративной системы для комплексного

архитектурного проектирования. В ходе анализа статей было определено, что в большинстве существующих исследований применяются технологии BIM с использованием языка программирования Python, а также L-системы, клеточные автоматы, генетические алгоритмы, метод «роевой интеллект» и shape grammars («грамматика формы») [13].

Несмотря на существование различных методов, можно также утверждать, что их использование в некоторых случаях ограничено требованиями к знаниям пользователя, вычислительной мощностью или ограничениями по времени - все эти факторы следует принимать во внимание. Необходимо отметить, что более простые методы, такие как случайная выборка, эффективны для задач концептуального проектирования. Подход со случайной выборкой, базирующийся на генераторах псевдослучайных чисел, формирует случайный набор решений из числа предложенных и оставляет принятие решения за человеком. Использование случайной выборки накладывает несколько ограничений, поскольку она не обусловлена четко определенными измеримыми целями. То есть ответственность за представление проекта лежит на пользователе, что означает включение качественных оценок и возможное искажение достоверной информации. Это означает, что необходима разработка методов выявления противоречий в наборе мультимодальных данных с использованием инструментов генеративного дизайна.

Таким образом, необходимы дальнейшие исследования, в которых изучаются методы генеративного проектирования в контексте архитектуры и строительства, которые предоставляют дополнительные результаты для формирования базы знаний генеративного дизайна.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Несмотря на непрерывное развитие программных средств структурной оптимизации, навыки пользователя всегда будут являться ключевым элементом при проектировании. Способность выявлять проблемы в процессе проектирования и определять критерии, играющие первостепенную роль в достижении качественного результата, остаются прерогативой человека, которую невозможно заменить инструментами искусственного интеллекта. Т.е. необходимо рассматривать выходные данные при использовании методов GD как исходные данные, которые требуют дальнейшего анализа, всякий раз, когда:

- 1) набора навыков проектировщика/дизайнера недостаточно, чтобы на этапе концепции определить оптимальное представление объекта;
- 2) объект/компонент системы должен быть интегрирован в систему, имеющую другие ограничения.

Область генеративного дизайна и его применение в архитектуре является многообещающим и потенциально может стать частью инструментария будущего проектировщика. Однако необходимы дальнейшие исследования, чтобы расширить знания о том, как и когда генеративный дизайн является наиболее применимым, когда речь идет о том для каких типов задач он подходит, а также о том, какие типы методов использовать (применять).

### **Список литературы**

1. 6 Examples of Generative Design in Manufacturing, 2019. URL: <https://www.autodesk.com/redshift/generative-manufacturing/> Autodesk (дата обращения: 12.08.2021).
2. Шмагин В.С., Маслова М.А. Обзор и анализ развития искусственного интеллекта // Научный результат. Информационные технологии. – Т.5, №4, 2020. – С. 3-8. DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-4-0-1.
3. Abrishami S., Goulding J., Rahimian F. Generative BIM workspace for AEC conceptual design automation: Prototype development // Engineering, Construction and Architectural Management. 2020.
4. Abrishami S., Goulding J., Rahimian F.P., Ganah A. Virtual generative BIM workspace for maximizing AEC conceptual design innovation: A paradigm of future opportunities // Construction Innovation. 2015. №15. P. 24–41.
5. Arias-Rosales A., Osorio-Gomez G. Albatros Create: an interactive and generative tool for the design and 3D modeling of wind turbines with wavy leading edge // International Journal on Interactive Design and Manufacturing. 2020. №14. P. 631-650.

6. Bukhari F.A. A Hierarchical Evolutionary Algorithmic Design (HEAD) system for generating and evolving building design models: Ph.D. thesis. The Australia. 2011. P. 343.
7. Caetano I., Santos L., Leitão A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design // *Frontiers of Architectural Research*. 2020. Том 9. №2. P. 287-300.
8. Generative Design for project optimization / Di Filippo A., Lombardi M., Marongiu F., Lorusso A., Santaniello D. 2021. P 110-115.
9. Generative Design: An Explorative Study / Buonamici F., Carfagni M., Furferi R., Volpe Y., Governi L. // *Computer-Aided Design and Applications*. 2020. №18. P. 144-155.
10. Gerber D.J., Lin S.H.E. Designing in complexity: Simulation, integration, and multidisciplinary design optimization for architecture // *Simulation*. 2014. №90. P. 936–959.
11. Guo G.H., Li L.B. and Tang T.P. An Exploration Of Rule-Based Generative Design Method Of Urban Design // *Proceedings of the 22nd International Conference*. 2017. P. 45-67.
12. Krish S. A practical generative design method // *Computer Design*. 2011. №43. P. 88–100.
13. Mukkavaara J., Sandberg M. Architectural Design Exploration Using Generative Design: Framework Development and Case Study of a Residential Block // *Buildings*. 2020. №10(11).
14. Naglaa A. Megahed. Digital Realm: Parametric-enabled Paradigm in Architectural Design Process // *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*. 2015. № 4(3). P. 174-183.
15. Peng C.P., Yang Y.Y., Bao F.B. Computational Network Design from Functional Specifications // *NLPR-CASIA*. 2016. №69.
16. Plocher J., Panesar A. Review on design and structural optimization in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures // *Materials and Design*. 2019. №183.
17. Virtual generative BIM workspace for maximizing AEC conceptual design innovation: A paradigm of future opportunities / Abrishami S., Goulding J., Rahimian F.P., Ganah A. // *Construction Innovation*. 2015. №15. P. 24–41.
18. Webb N., Buchanan A. Digitally aided analysis of medieval vaults in an English cathedral, using generative design tools // *International Journal of Architectural Computing*. 2019. №17(3). P. 241-259.

### References

1. 6 Examples of Generative Design in Manufacturing, 2019. URL: <https://www.autodesk.com/redshift/generative-manufacturing/> Autodesk (дата обращения: 12.08.2021).
2. Shmagin V.S., Maslova M.A. Review and analysis of the development of artificial intelligence // *Research result. Information technologies*. – Т.5, №4, 2020. – P. 3-8. DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-4-0-1.
3. Abrishami S., Goulding J., Rahimian F. Generative BIM workspace for AEC conceptual design automation: Prototype development // *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2020.
4. Abrishami S., Goulding J., Rahimian F.P., Ganah A. Virtual generative BIM workspace for maximizing AEC conceptual design innovation: A paradigm of future opportunities // *Construction Innovation*. 2015. №15. P. 24–41.
5. Arias-Rosales A., Osorio-Gomez G. Albatros Create: an interactive and generative tool for the design and 3D modeling of wind turbines with wavy leading edge // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. 2020. №14. P. 631-650.
6. Bukhari F.A. A Hierarchical Evolutionary Algorithmic Design (HEAD) system for generating and evolving building design models: Ph.D. thesis. The Australia. 2011. P. 343.
7. Caetano I., Santos L., Leitão A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design // *Frontiers of Architectural Research*. 2020. Том 9. №2. P. 287-300.
8. Generative Design for project optimization / Di Filippo A., Lombardi M., Marongiu F., Lorusso A., Santaniello D. 2021. P 110-115.
9. Generative Design: An Explorative Study / Buonamici F., Carfagni M., Furferi R., Volpe Y., Governi L. // *Computer-Aided Design and Applications*. 2020. №18. P. 144-155.
10. Gerber D.J., Lin S.H.E. Designing in complexity: Simulation, integration, and multidisciplinary design optimization for architecture // *Simulation*. 2014. №90. P. 936–959.
11. Guo G.H., Li L.B. and Tang T.P. An Exploration Of Rule-Based Generative Design Method Of Urban Design // *Proceedings of the 22nd International Conference*. 2017. P. 45-67.
12. Krish S. A practical generative design method // *Computer Design*. 2011. №43. P. 88–100.
13. Mukkavaara J., Sandberg M. Architectural Design Exploration Using Generative Design: Framework Development and Case Study of a Residential Block // *Buildings*. 2020. №10(11).

14. Naglaa A. Megahed. Digital Realm: Parametric-enabled Paradigm in Architectural Design Process // International Journal of Architecture, Engineering and Construction. 2015. № 4(3). P. 174-183.
15. Peng C.P., Yang Y.Y., Bao F.B. Computational Network Design from Functional Specifications // NLPR-CASIA. 2016. №69.
16. Plocher J., Panesar A. Review on design and structural optimization in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures // Materials and Design. 2019. №183.
17. Virtual generative BIM workspace for maximizing AEC conceptual design innovation: A paradigm of future opportunities / Abrishami S., Goulding J., Rahimian F.P., Ganah A. // Construction Innovation. 2015. №15. P. 24–41.
18. Webb N., Buchanan A. Digitally aided analysis of medieval vaults in an English cathedral, using generative design tools // International Journal of Architectural Computing. 2019. №17(3). P. 241-259.

**Лаушкина Анастасия Александровна** аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок  
**Басов Олег Олегович** доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник, профессор факультета цифровых трансформаций

**Laushkina Anastasia Alexandrovna** Postgraduate Student, Engineer, National Center for Cognitive Development  
**Basov Oleg Olegovich** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Faculty of Digital Transformation, Senior Scientific Researcher of ITMO University