

УДК 69.002.5

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА

**К.О. Борисова, З.А. Гаевская**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** Генеративный дизайн является новой ветвью в проектировании зданий и сооружений. С его помощью можно уменьшить время проектирования, сократить затраты и автоматизировать процесс создания проектов. В данной статье рассмотрен расчет подбора крана для пятиэтажного здания, расстояний его расположения, а также алгоритм для наиболее эффективного размещения крана на строительной площадке при строительстве здания сложной формы. При этом используются программы Rhino (для создания и визуализации геометрии) и Grasshopper (для написания скрипта), а также плагин Galapagos, который позволяет автоматически рассчитать идеальную точку для размещения крана. Произведено использование алгоритма для различных форм зданий. В результате выбранная точка расположения крана находится в разных местах. Таким образом алгоритм может использоваться для различных входных параметров. При изменении формы здания, его размеров, конфигурации запуск надстройки Galapagos позволит рассчитать наиболее выгодное размещение строительной техники для каждого варианта здания.

**Ключевые слова:** генеративный дизайн, Grasshopper, Galapagos, оптимизация, автоматизированное проектирование, проектные решения, алгоритм, автоматизация.

**Ссылка для цитирования:** Борисова К.О., Гаевская З.А. Автоматизация поиска проектных решений на основе технологии генеративного дизайна // Инженерные исследования. 2024. №4(19). С. 24-30. EDN: LASGDN

## AUTOMATION OF SEARCH FOR DESIGN SOLUTIONS BASED ON GENERATIVE DESIGN TECHNOLOGY

**K.O. Borisova, Z.A. Gaevskaya**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** Generative design is a new branch in the design of buildings and structures. With its help, you can reduce design time, reduce costs and automate the process of creating projects. This article discusses the calculation of the selection of a crane for a 5-storey building, the distances of its location, as well as an algorithm for the most effective placement of a crane on a construction site during the construction of a complex-shaped building. At the same time, innovative programs Rhino (for creating and visualizing geometry) and Grasshopper (for writing a script) are used, as well as the Galapagos plugin, which allows you to automatically calculate the ideal point for placing a crane. The algorithm is compared for different building shapes. In this case, the selected point is located in different places. Thus, the algorithm is typical. When changing the shape of the building, its dimensions, and configuration, the launch of the Galapagos superstructure will allow you to calculate the most profitable placement of construction equipment for each building variant.

**Keywords:** generative design, Grasshopper, Galapagos, optimization, computer-aided design, design solutions, algorithm, automation.

**For citation:** Borisova K.O., Gaevskaya Z.A. Automation of search for design solutions based on generative design technology // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2024. No.4(19). Pp. 24-30. EDN: LASGDN

## ВВЕДЕНИЕ

Генеративный дизайн - это метод проектирования, который активно применяется в различных областях, таких как архитектура и инженерия. Он предлагает новые возможности для создания уникальных форм и оптимальных решений, а также способствует учету различных факторов и ограничений. Генеративный дизайн является мощным инструментом, который помогает современным проектировщикам и инженерам достичь новых результатов в их работе [1].

Преимущество генеративного дизайна заключается в том, что он может служить для поиска наиболее эффективного решения, когда задаются все исходные данные, ограничения и выдается несколько вариантов результата, а проектировщик, сравнив все показатели, выбирает наилучшее решение [2]. Создается множество вариантов проектных решений, что практически невозможно для человека вручную. Ещё одно преимущество - это внесение корректировок автоматически, так как сами решения сгенерированы с помощью программного обеспечения. Помимо этого, сокращаются сроки создания проекта и снижаются затраты. Также генеративный дизайн позволяет сократить число ошибок, которые совершает человек, создавая проект вручную, так как для автоматизированного процесса задаются необходимые параметры и ограничения, и он строго им следует [3].

Однако у этого метода есть и некоторые недостатки. Например, не все программы способны фильтровать полученные результаты, поэтому проектировщику понадобится много времени для анализа и поиска необходимого варианта из множества созданных. Помимо этого, автоматизированный поиск проектных решений всё ещё развивается в современной строительной сфере, поэтому в [4] работе авторы отмечают, что технологии генеративного дизайна применяются только для отдельных архитектурно-строительных задач, так как существует ряд проблем по широкому внедрению данных технологий, однако генеративный дизайн можно использовать в информационном моделировании всего жизненного цикла объекта. А также сложность его внедрения заключается в необходимости знаний программирования у проектировщиков и больших мощностей оборудования [5].

Цель исследования – оптимизация размещения крана на строительной площадке с помощью программного комплекса Rhino и Grasshopper на этапе проектирования.

Задачи исследования:

1. Определение преимуществ и недостатков генеративного дизайна.
2. Подбор башенного крана для 5-ти этажного здания.
3. Определение возможностей программных комплексов Rhino и Grasshopper.
4. Определение наиболее выгодного (оптимального) расположения крана на строительной площадке.
5. Реализация алгоритма наиболее эффективного размещения крана на строительной площадке на практическом примере при изменении контура здания.

## ПОДБОР БАШЕННОГО КРАНА

Размещение крана на строительной площадке регламентируется рядом условий. Он должен быть установлен таким образом, чтобы при подъеме груза не приходилось его притягивать, а также перемещать его при поднятии на расстояние не менее 500 мм над конструкциями. Также стрелы кранов должны находиться на расстоянии не менее 500 мм над конструкциями. Важное условие учитывает высоту строений. Если строения, штабеля и другие предметы находятся на высоте до 2000 мм от уровня земли или от уровня строительных площадок, то выступающие части крана должны располагаться на расстоянии не меньше 700 мм, а если высота составляет более 2000 мм, то не менее 400 мм.

Машинисту крана должен быть обеспечен обзор всей рабочей зоны. Зона работы башенного крана должна охватывать по высоте, ширине и длине строящееся здание, а также площадку для складирования монтируемых элементов и дорогу, на которой подвозятся грузы.

Для примера рассмотрим 5-ти этажное здание. Высота этажа 3 м. Тогда высота здания 17 м (учтем выступы на кровле).

Требуемая высота подъема крюка башенного крана [6]:

$$H_{mp} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (1)$$

где

$h_1$  – высота монтажа или подачи груза, м;

$h_2$  – высота монтируемого элемента, м;

$h_3$  – расстояние от отметки монтажа до низа груза, м;

$h_4$  – высота грузозахватного устройства, м.

$$H_{mp} = 17 + 2,5 + 1 + 3 = 23,5 \text{ м} \quad (2)$$

Требуемый вылет стрелы [6]:

$$L_{mp} = d + b_n, \quad (3)$$

где:

$b_n$  – ширина надземной части сооружения, м.

$d$  – расстояние от оси вращения крана до сооружения, м, предварительно принимаем 10 м.

Тогда:

$$L_{mp} = 10 + 50 = 60 \text{ м} \quad (4)$$

Требуемая грузоподъемность [6]:

$$Q_{mp} = q \cdot k, \quad (5)$$

где:

$q$  – масса груза, т;

$k$  – коэффициент оснастки (1,1).

$$Q_{mp} = 5 \cdot 1,1 = 5,5 \text{ т} \quad (6)$$

В соответствии с требующимися параметрами используется башенный кран XCMG XGA6012-6S (табл.1).

**Таблица 1.** Технические характеристики башенного крана

**Table 1.** Technical characteristics of the tower crane

Параметр	Значение
Тип крана	Башенный
Грузоподъемность, т	8
Максимальный вылет стрелы, м	40
Максимальная высота подъема, м	60

Минимальное расстояние от оси опорной рамы до наружной грани сооружения [6]:

$$B = 0,5 \cdot b_k + 0,5 \cdot l_{ok} + l_{\sigma_{ez}}, \quad (7)$$

где:

$b_k$  – ширина опорной рамы, м;

$l_{ok}$  – длина подрамной опоры, м;

$l_{\sigma_{ez}}$  – минимально допустимое расстояние от выступающей части крана до габарита объекта (не менее 0,4 м), м.

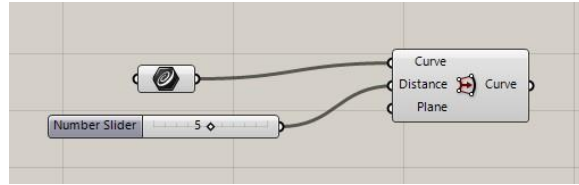
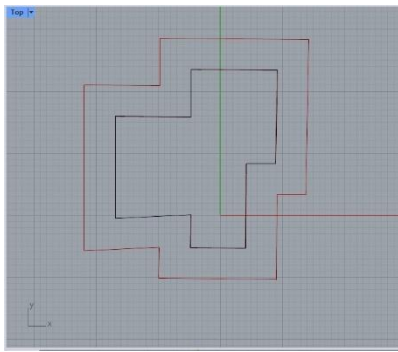
$$B = 0,5 \cdot 6 + 0,5 \cdot 6 + 0,4 = 6,4 \quad (8)$$

#### АЛГОРИТМ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КРАНА

При размещении крана для здания прямоугольной формы не возникает проблем, однако если здание сложное в плане, то необходимо определить наиболее оптимальное место для размещения крана. Использование методов генеративного дизайна может решить эту проблему.

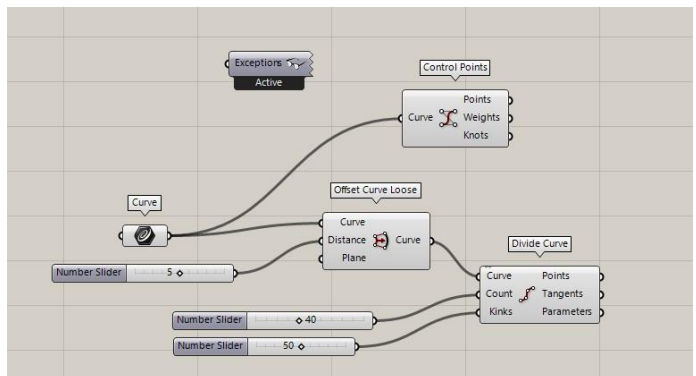
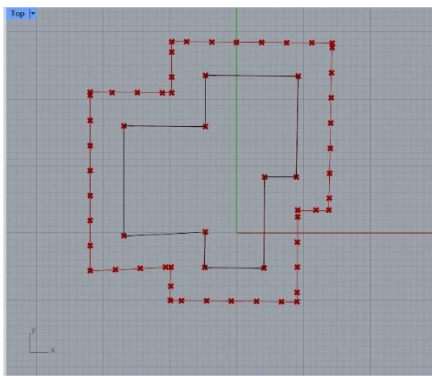
В генеративном дизайне используются различные программы, но наиболее распространенные – это Grasshopper и Dynamo. Grasshopper 3D – это графический язык программирования, разработанный для архитекторов в качестве плагина для Rhino [6]. Программы, написанные на этом языке, представляют собой граф потока данных, состоящей из группы компонентов и связей между ними. Эти компоненты можно выбрать из ряда меню и перетащить в рабочую среду. Компоненты могут представлять функции, параметры или даже геометрию, и они соединены линиями. Это позволяет пользователю создавать сложные алгоритмы путем объединения компонентов. Также могут быть использованы языки программирования, такие как Python [7].

Создадим сложный контур здания с выступающими частями в Rhino. Далее в Grasshopper с помощью скрипта сделаем отступление от здания. Это линии, на которых должен располагаться кран (рис.1).



**Рис. 1.** Создание контура  
**Fig. 1.** Creating a contour

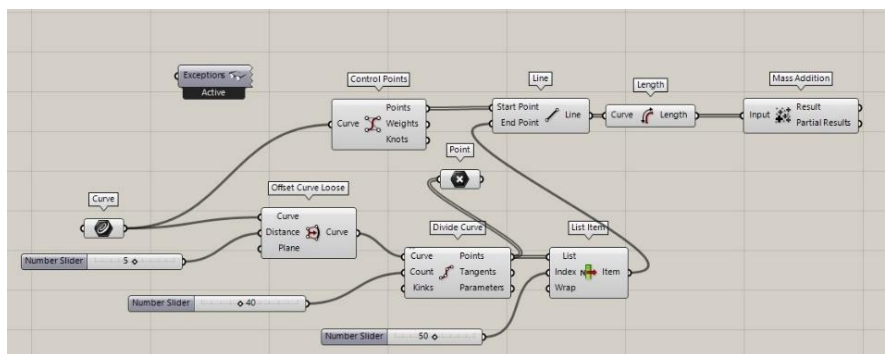
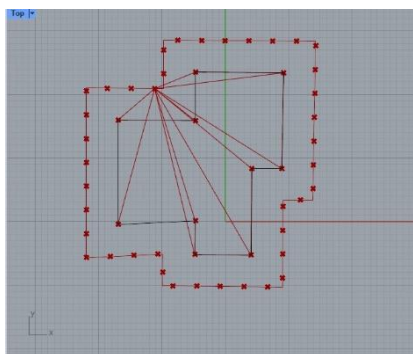
Далее необходимо разбить контур на точки, чтобы выбрать наиболее лучшее расположение крана. Для этого используется нод Divide Curve. С помощью Number Slider можно контролировать количество точек. Точки в углах здания создаются, как контрольный параметр (Control Points) (рис.2, рис.3).



**Рис. 2.** Создание точек на контуре  
**Fig. 2.** Creating points on a contour

**Рис. 3.** Скрипт для точек  
**Fig. 3.** Script for points

Затем выбирается одна точки из множества, проводятся линии от неё к контрольным точкам в углах здания и определяется их длина. Это необходимо, чтобы понять, из какой точки на контуре будет самое минимальное расстояние до всех углов здания (рис.4, рис.5).



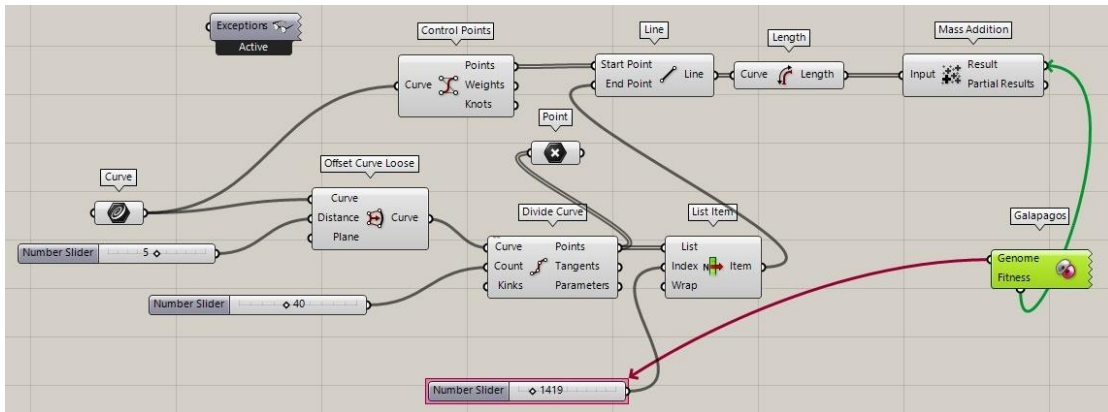
**Рис. 4.** Выбор точки  
**Fig. 4.** Point Selection

**Рис. 5.** Скрипт для выбора точки  
**Fig. 5.** The script for selecting a point

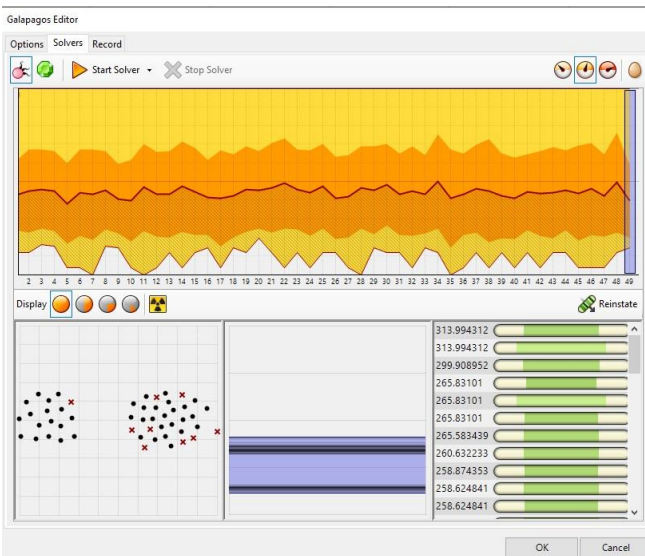
### ОПТИМИЗАЦИЯ В GALAPAGOS

Чтобы автоматически проанализировать все возможные точки, необходимо использовать Galapagos. Это надстройка для Grasshopper (рис.6). После запуска расчета получается список точек и их «приспособленность». Программа считает сумму длин всех линий, проведенных из точки на контуре к углам здания, и анализирует все варианты [8]. Их может быть как несколько десятков, так и несколько

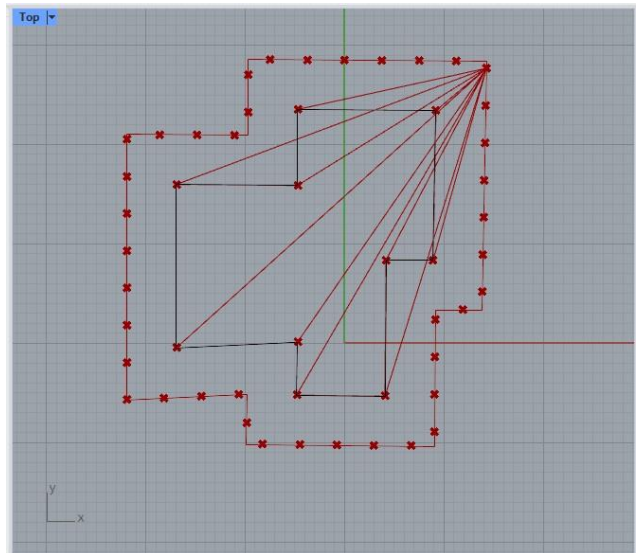
тысяч (пользователь сам устанавливает диапазон) (рис.7). Наиболее подходящая точка изображена на рис.8.



**Рис. 6.** Использование нода Galapagos  
**Fig. 4.** Using the Galapagos node

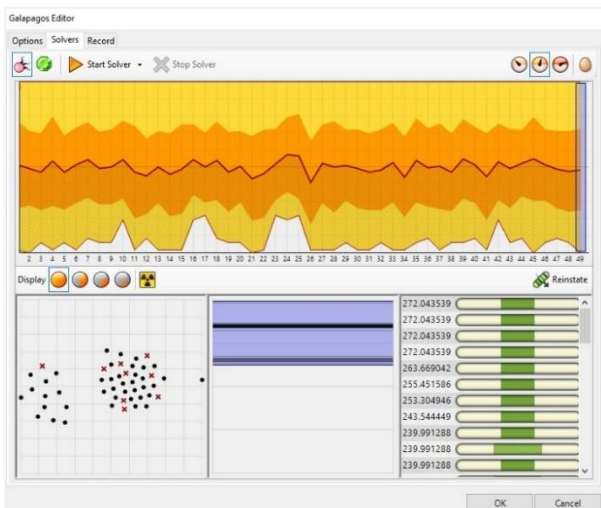


**Рис. 7.** Расчет точки размещения крана в Galapagos  
**Fig. 7.** Calculation of crane placement points in Galapagos

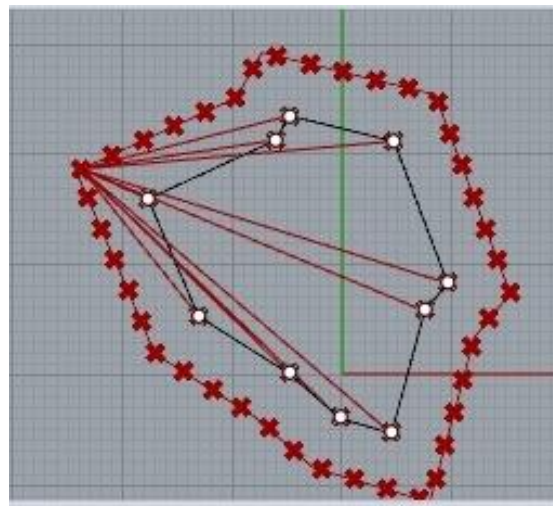


**Рис. 8.** Итоговая точка  
**Fig. 8.** The final point

Для демонстрации работы алгоритма изменим контур здания. При этом меняется и контур расположения крана. Запустим расчет заново. Получим новые точки, новый график и, соответственно, новую наилучшую точку (рис.9, рис.10).



**Рис. 9.** Второй вариант расчета  
**Fig. 9.** The second calculation option



**Рис. 10.** Итоговая точка для второго варианта  
**Fig. 10.** The final point for the second option

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Генеративный дизайн - это новое направление в BIM-технологиях. Генеративный дизайн в строительстве представляет собой применение алгоритмов, компьютерных программ и автоматизированных систем для создания инновационных архитектурных и инженерных решений. 40% архитектурных фирм используют генеративный дизайн в своей работе, согласно исследованию, проведенному Лондонским колледжем строительства [9]. 3D-печать и роботизированное строительство, часто основанные на генеративных принципах, позволяют снизить затраты на строительство на 30-60% и сократить сроки строительства. Он позволяет при создании одного скрипта использовать его для разных зданий, изменяя входные параметры (контур, расстояние, количество точек и т.д.) [10]. Однако эти технологии находятся на начальном этапе развития. Существующих методов генеративного дизайна недостаточно для полной автоматизации процесса проектирования и эксплуатации зданий. На данный момент возможно автоматизировать только некоторые процессы в части проектов. Необходимы новые методы, новые программные комплексы и алгоритмы, чтобы эта сфера развивалась, а благодаря этому сокращались сроки строительства, сокращались затраты и сокращались ошибки, которые приводят к коллизиям на строительной площадке и к проблемам в эксплуатации зданий.

2. При подборе башенного крана был выбран кран XCMG XGA6012-6S. Он должен располагаться на расстоянии 6,4 м от края здания.

3. Программа Rhino позволяет задавать геометрию здания. Grasshopper же создает сам скрипт, благодаря которому производится расчет и решается поставленная задача. Также при изменении входных параметров меняется и результат решения.

4. С помощью надстройки Galapagos произведена оптимизация поиска проектной точки размещения крана на строительной площадке. Для этого использовался сложный прямоугольный контур здания. Размещение крана происходит на расстоянии 6,4 м от краев здания. Для поиска наиболее оптимального решения было использовано 5000 точек на внешнем контуре.

5. Для проверки работы алгоритма при изменении входных параметров форма здания была изменена (углы из прямых изменены на тупые). При этом также использовалось 5000 точек для поиска наиболее подходящей. По результатам работы алгоритма точка сместилась (относительно первого варианта). Это говорит о работе расчетного алгоритма при изменении контура здания, его площади, этажности и т.д. А значит один такой алгоритм может быть использован для оптимизации поиска проектных решений самых различных зданий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малашенкова В.А., Черницкая А.Ю. Генеративный дизайн - революционный метод проектирования // СТУДЕНТ года 2020: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 11 мая 2020 года. Том Часть 4. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2020. С. 128-139. EDN RPRQUK.

2. Пахтаева А.Я. Методы генеративного дизайна // Ноэма (Архитектура. Урбанистика. Искусство). 2021. №2. С. 213–221. EDN: YTGMPF.
3. Wortmann T. Differentiating parametric design: Digital work flow sin contemporary architecture and construction // Des. Stud. 2017. No.52. Pp. 173–197.
4. Игнатова Е.В., Предеина В.П. Состояние и перспективы применения технологии генеративного дизайна в строительстве // Строительство и архитектура. 2021. №4. С. 71-75. EDN: KMJOSL.
5. Ковшеченко В.М. Генеративный дизайн // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. С. 2422-2426. EDN SKEEKS.
6. Технология возведения зданий и сооружений. Технологические решения земляных и бетонных работ: Учеб. пособие / Н. И. Ватин, Г. Я. Булатов, Н. Б. Колосова, М. В. Петrochenko. 2-е издание, переработанное и дополненное. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2018. 106 с. EDN YTTEME.
7. Ferreira B., Leitão A. Generative Design for Building Information Modeling // eCAADe. 2015. Vol. 1. No.33. Pp. 635–644.
8. Keshavarzi M., Rahmani-Asl M. GenFloor: Interactive generative space layout system via encoded tree graphs // Frontiers of Architectural Research. 2021. Vol.10. No.4. Pp. 771-786. DOI:10.1016/j.foar.2021.07.003
9. Бжахов М.И., Ефимова М.М., Журтов А.В. Алгоритмическое проектирование в архитектуре // Инженерный вестник Дюна. 2018. №2. С. 166. EDN: VAQVOW.
10. Анциферов С.И., Лютенк А.О., Сычев Е.А., Сиваченко Л.А. Цифровое проектирование с применением генеративного дизайна // Техническая эстетика и дизайн-исследования. 2019. № 4(1). С. 38–44. EDN: YFKNFB.
11. Князева Н. В. Использование эволюционных алгоритмов для автоматизации рутинных задач перебора вариантов проектных решений // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 3 (37). С. 73-77. EDN: DGDQDM.

#### ОБ АВТОРАХ

**Ксения Олеговна Борисова** – студентка магистратуры. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: ksenia.borisova214@mail.ru

**Злата Анатольевна Гаевская** – доцент, канд. архитектуры. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gaezlata@yandex.ru

#### ABOUT THE AUTHORS

**Ksenia O. Borisova** – the Master degree student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: ksenia.borisova214@mail.ru

**Zlata A. Gaevskaya** – Associate Professor, architecture PhD. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gaezlata@yandex.ru