

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Игнатова Елена Валентиновна

Доцент, к.т.н., доцент кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ) (Москва, Россия); e-mail: ignatova@mgsu.ru

Предеина Валентина Павловна

Магистрант кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ) (Москва, Россия); e-mail: predeina.valya@gmail.com

Аннотация: Авторами рассмотрено применение технологии генеративного дизайна для решения задач строительства. Генеративный дизайн рассматривается, как цифровая технология, работающая с другими сквозными цифровыми технологиями, в том числе с аддитивным производством и искусственный интеллект. Перечислены направления использования генеративного дизайна в задачах оптимизации формы, структуры и топологии объектов. Отмечено, что имеются только отдельные примеры решения прикладных задач архитектурно-строительного проектирования с применением технологии генеративного дизайна. Обсуждаются проблемы широкого внедрения технологии, в том числе в процесс информационного моделирования объектов строительства (BIM). Предложены подходы к решению некоторых задач проектирования, строительства и эксплуатации с применением технологии генеративного дизайна. Сделан вывод, что технологию генеративного дизайна можно использовать в процессе информационного моделирования объекта строительства на всем его жизненном цикле.

Ключевые слова: генеративный дизайн, архитектурно-строительное проектирование, цифровые технологии, информационное моделирование, BIM, жизненный цикл объекта строительства

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF THE GENERATIVE DESIGN TECHNOLOGY APPLICATION IN CONSTRUCTION

Elena Ignatova

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, associate professor of Department of Information Systems, Technologies and Automation in Civil Engineering at National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), (Moscow, Russia); e-mail: ignatova@mgsu.ru

Valentina Predeina

Master's Degree student of Department of Information Systems, Technologies and Automation in Civil Engineering of National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), (Moscow, Russia); e-mail: predeina.valya@gmail.com

Abstract: The authors consider the use of generative design technology for solving construction issues. Generative design is seen as an information technology that works with cross-cutting digital technologies including additive technologies and artificial intelligence. There are several ways to apply generative design technology to optimize the shape, structure and topology of objects. It is noted that there are just individual examples of solving architectural and constructional applied tasks using generative design technology. The problems of widespread implementation of the technology, including information modeling of construction objects (BIM), are discussed. Approaches to solving some problems of design, construction and operation with the use of generative design technology are proposed. It is concluded that generative design technology can be used in the process of information modeling of a construction object throughout its whole life cycle.

Keywords: Generative design; design of construction objects; digital technologies; information modeling; BIM; life cycle of construction object

Актуальность работы

Стремительное развитие цифровых технологий диктует свои правила: не так давно информационное моделирование (BIM) пришло в строительную отрасль, как в настоящее время учет применения BIM-технологии на всех этапах жизненного цикла здания – правило хорошего тона в проектировании. Высокий темп развития технологии можно связать ростом глобальных коммуникационных возможностей [1]. Под этим подразумевается доступность различных источников информации, обмен опытом с коллегами из других регионов/стран, межнациональные стратегии в области проектирования. Также на технологию информационного моделирования объектов строительства оказывают влияние бурно развивающиеся сквозные цифровые технологии, в том числе, нейротехнологии, искусственный интеллект, большие данные, аддитивное производство, дополненная и виртуальная реальность.

Очередным этапом развития информационного моделирования стало применение генеративного дизайна. Необходимо проанализировать возможности и проблемы технологии, а также предложить подходы к решению задач проектирования, строительства и эксплуатации на основе информационного моделирования и генеративного дизайна

Целью работы является анализ состояния и перспектив применения технологии генеративного дизайна в процессе информационного моделирования объектов строительства

Материалы и методы

В ходе исследования проведен анализ материалов научных публикаций и данных из открытых информационных источников в России и за рубежом по теме применения генеративного дизайна. Выдвинута гипотеза, что генеративный дизайн возможно применять в процессе информационного моделирования объекта строительства на всем его жизненном цикле.

Генеративный дизайн (англ. Generative design) или порождающее проектирование – подход к проектированию и дизайну цифрового или физического продукта, при котором человек делегирует часть процессов компьютерным технологиям и платформам [2]. Такой подход позволяет оптимизировать как вес и объем изделий, так и процесс их изготовления, что в целом ведет к экономии ресурсов. Стоит отметить, что генеративный дизайн можно использовать практически повсеместно: промышленный дизайн, веб-дизайн, искусство, медицина, машиностроение [3].

В исследованиях зарубежных специалистов [4] приводятся следующие направления генеративного дизайна.

Топологическая оптимизация. Данный метод позволяет загрузить модель какой-либо детали в программное обеспечение, затем запустить конечно-элементный анализ и установить распределение нагрузки (напряжений), в результате чего программа убирает лишний материал из областей, не несущих нагрузку. Таким образом, проектировщик может получить максимально оптимизированную деталь без перерасхода материала на ее изготовление.

Оптимизация структуры и поверхности. В отличие от предыдущего метода этот позволяет не только оптимизировать поверхность за счет удаления «лишнего» материала, но и менять саму структуру материала, т.е. заполнять элементы изделия плотной, связанной структурой, похожей на кристаллическую решетку.

Создание трабекулярных структур. Данный метод может активно использоваться в медицине, в частности, в создании имплантов. Название

метода происходит от слова «трабекула» (элемент такни, выполняющий механические функции). В генеративном дизайне этот элемент используется как инструмент, позволяющий распределять и масштабировать мельчайшие поры по твердым материалам, например, создавать шероховатую структуру поверхности.

Синтез формы. Данный метод позволяет проектировщику ввести требования к форме элемента и получить несколько вариантов решений, которые предоставит ему программа.

Активное использование генеративного дизайна в архитектуре и строительстве началось в 2017 году, когда появились и были освоены программные средства, позволяющие составлять алгоритмы поиска формы или расположения объектов. В 2018 году компания Autodesk назвала технологические тренды, которые изменят строительство и промышленность в течение 20 лет. Генеративный дизайн был назван «революционной технологией, использующей алгоритмы искусственного интеллекта для разработки изделия» [5]. В 2019 году эксперт Autodesk по генеративному дизайну Дитер Вермюлен выразил мысль, что главное преимущество генеративного дизайна – экономия времени при поиске оптимального решения [6]. Технология позволяет акцентировать внимание на качестве проекта, экологичности, поиске оптимального соотношения «архитектурная идея – функциональность». Также отмечено, что применение генеративного дизайна отражается не только на этапе проектирования – оно может повлиять на жизненный цикл здания в целом.

Есть мнение, что архитектурное пространство схоже с живым организмом – оно изменяется от различных внешних воздействий [7]. Эта концепция подтверждается существованием такого понятия как жизненный цикл здания, подразумевающий, что здание – не просто постройка, которая будет существовать бесконечно, а это целый организм, который на разных этапах требует определённых действий.

Цель архитектора – создать здание, способное вжиться во внешний мир и приносить пользу, поэтому встает вопрос о разработке в помощь архитектору алгоритма, на основе которого производилась бы оптимальная архитектурная форма. Предполагается, что разрабатываемые алгоритмы отражают виденье того, какие взаимосвязи, правила и ограничения действуют в системе объекта. В зависимости от внешних условий (представленных в алгоритме в качестве исходных данных) выдаются разные результаты в виде архитектурных форм [8].

Но не все эксперты в области архитектуры и строительства смотрят на явление генеративного дизайна столь позитивно. Архитектор, доктор наук Дэниел Дэвис не верит в будущее генеративного дизайна. В своей статье «Generative Design is Doomed to Fail» [9] он отмечает, что в целом генеративное проектирование состоит из трех этапов:

- определение проектировщиками целей проекта;
- создание ряда решений с помощью алгоритмов;
- выбор лучшего решения проектировщиками. Затем автор приводит причины, по которым развитие данной технологии невозможно.

1. На втором этапе алгоритм создается силами проектировщиков, но немногие специалисты готовы к такому фронту работ.

2. Также упоминается, что количество вариантов не следует приравнивать к качеству, а оценка всех вариантов должным образом займет достаточно много сил и времени.

3. Очень сложно подобрать критерии для «хороших» и «плохих» вариантов относительно архитектурных решений, поэтому в реальной жизни идеи генеративного дизайна не всегда находят применение.

4. Также автор указывает на то, что далеко не все мировые корпорации продвигают идеи генеративного дизайна в свои разработки.

Не только архитекторы смотрят на идеи применения генеративного дизайна с определённой долей скептицизма: директор контента издания ENGINEERING.com Рупиндер Тапа в статье «When Generative Design

Backfires – VW’s New Wheels» [10] критикует модель колес, выпущенную компанией Volkswagen, созданную при помощи алгоритмов генеративного дизайна в программе Autodesk Fusion 360. Он говорит, что форма обычного колеса выглядит намного проще, а резкий изгиб толстых элементов конструкции является фактором концентрации напряжений.

Можно добавить, что оптимизация структуры и поверхности изделия приводит к созданию таких форм, которые невозможно изготовить на традиционном производстве, например, с помощью фрезеровки или литья в пресс-формах. Возможность изготовления деталей сложной формы появилась только при использовании аддитивных технологий [11]. Однако надо принимать во внимание, что прочностные характеристики однородных литых деталей могут отличаться от характеристик слоистых деталей, напечатанных на 3D-принтере.

Все же не стоит делать вывод, что генеративный дизайн – лишь рекламный ход разработчиков программных продуктов. «Используя интеллектуальные алгоритмы, основанные на машинном обучении и продвинутом инженерном анализе, технология генеративного дизайна предлагает по-настоящему изящные дизайнерские и инженерные решения, которые зачастую сложно спроектировать стандартными средствами» [12]. Компания Autodesk совместно с российской компанией «МодульТехСтрой» провели конкурс на создание концептов новых соединительных узлов для модульного строительства [13]. В будущем разработанные конструкции могли бы использоваться в любых условиях и при температурах от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. В результате конкурса отмечены следующие разработки с применением генеративного дизайна:

1. Неодимовые магниты (см. Рис. 1). Стыковочный узел состоит лишь из одной детали, осуществляя сцепление благодаря применению магнитного сплава. Данное решение является наиболее оптимальным с точки зрения расходов материалов, с точки зрения универсальности, а также с точки зрения многократного использования.

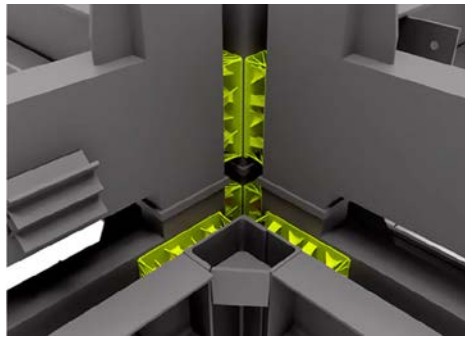


Рис. 1. Неодимовые магниты [13]

2. Сферический узел (см. Рис. 2). Единый элемент может соединить сразу четыре блок-модуля. Учтены сдвигающие, скручивающие и сдвигающие нагрузки.

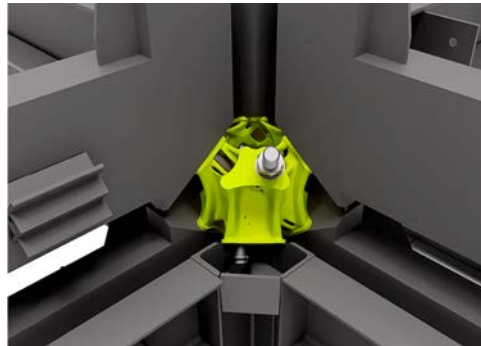


Рис. 2. Сферический узел [13]

3. Накладная планка (см. Рисунок 3). Это литая пластина в виде цельного элемента. Подобные решения в виде наружных пластин уже применяются в настоящее время.

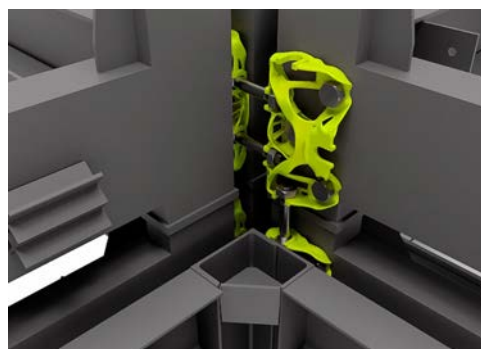


Рис. 3. Накладная планка [13]

Член Союза московских архитекторов, преподаватель МАРХИ Е.Ширинян в своей статье [14] пытается осмыслить понятие генеративного дизайна и его места в проектировании. В итоге автор все же приходит к позитивному умозаключению, что нельзя приравнивать расширение

программы автоматизированного проектирования технологией генеративного дизайна к автоматизации решения. Расширение стремится умножить возможности проектировщика, а последним нужно набираться опыта в проектировании, например, с помощью модуля генеративного дизайна, который появился в программе Autodesk Revit 2021.

Инженер по сопровождению программного обеспечения компании BuildSoft [15] Н.Иванов подготовил обучающее видео [16], в котором рассказывает о возможностях генеративного дизайна в Revit 2021. Сам модуль генеративного дизайна работает на основе скриптов приложения Dynamo. Запустить скрипт можно как из функции Revit «Создать исследование», так и через открытие приложения Dynamo. Хочется отметить мысль автора о том, что модуль – это часть своеобразной библиотеки модулей (скриптов). Если перед проектировщиком появится какая-либо задача, для которой будет необходимо разработать скрипт, то он сможет обратиться за помощью к специалисту по Dynamo. Готовое решение будет добавлено в библиотеку, а проектировщик при необходимости сможет перейти к нему. Компания Autodesk подготовила информационный материал [17], с которым свободно может ознакомиться пользователь модуля генеративного дизайна.

Что же касается практического применения технологии в строительстве, то ошибочно предполагать, что генеративный дизайн можно использовать в подавляющем большинстве задач на этапе проектирования. Говоря об архитектурном разделе проекта, можно найти некоторые примеры, когда данная технология решает задачи поиска ориентации здания для лучшей инсоляции помещений, создания формы крыши здания, формирования 3D-поверхностей стеновых панелей, расстановки дверей с вариациями их открывания, оформления интерьера и расстановки мебели. Примеры демонстрируют, что, правильно задав параметры и ограничения задачи, можно значительно оптимизировать работу архитекторов. В качестве программы для реализации технологии генеративного дизайна архитекторы часто используют программы ArchiCAD и Grasshopper.

Для специалистов по инженерным системам технология генеративного дизайна также может быть полезной при расстановке радиаторов, сантехнических приборов, другого инженерного оборудования, а также трассировке коммуникаций с учетом оптимизации их протяженности. Изменяя параметры задачи, можно удобно и быстро рассмотреть варианты расстановки оборудования, выбрать окончательный вариант и выдать задание архитектурному и конструкторскому отделам на расстановку отверстий, что в совокупности ускоряет процесс проектирования.

Немаловажным является процесс координации проектных отделов между собой. Возможно, генеративный дизайн будет полезен при проектировании вариантов расстановки мебели и оборудования в условиях ограниченного пространства, при этом соблюдая все требования по пожарной безопасности при эвакуации.

Специалисты отдела генплана также могут использовать технологию для создания схемы функционального зонирования территории, задав параметры радиусов обслуживания для различных социально-значимых объектов (школы, больницы, учреждения дошкольного образования). Полученные данные могут служить для проектирования схемы застройки микрорайона и организации улично-дорожной сети. Учитывая, что все задачи связаны между собой, можно предположить, что весь массивный пласт работы может выполняться с применением технологии генеративного дизайна. При этом надо понимать, что потребуются привлечение большого количества данных из различных информационных систем, в том числе геоинформационных. Процесс можно условно разбить на несколько этапов.

Этап 1: задать участок с планировочной структурой, разделив его на зоны с особыми условиями использования территории.

Этап 2: задать радиусы обслуживания различных учреждений, дать перечень этих учреждений, задать параметры удаленности зданий друг от друга; задать параметры расположения зданий с различной этажностью в

зависимости от мест их расположения; задать параметры расположения городских коммуникаций для последующего подключения зданий к ним.

Этап 3: провести генерацию вариантов планировки и выбрать наиболее удачный вариант расположения важных или социально-значимых зданий и сооружений на объекте.

Этап 4: на основе полученной схемы перейти к проектированию дорожной сети (рассмотреть варианты расположения магистральных улиц общегородского/районного/местного значения, проездов). Можно подключить системы имитационного моделирования транспортных потоков, которые оценят полученные варианты дорожной сети.

При проектировании строительных конструкций технология генеративного дизайна может использоваться в качестве решения задачи топологической оптимизации конструктивного элемента с обязательным анализом его прочности. Можно предположить, что есть возможность произвести обратное проектирование, например, подобрать по заданным параметрам форму и размер сечения балки, колонны или перемычек. Наиболее очевидной является идея использования генеративного дизайна при раскладке сборных плит перекрытий, при проектировании ленточного фундамента из сборных блоков ФБС. Развивая данную идею, можно надеяться, что в будущем к модулю генеративного дизайна можно будет подключить различные базы данных с перечнем типоразмеров конструкций, будь то ГОСТ 13579-2018 для фундаментных блоков или ГОСТ 26434-2015 с плитами перекрытий, а также данных сортаментов. Тогда порядок работы может выглядеть следующим образом:

Этап 1: создать план (контур) плит перекрытия/план сборного ленточного фундамента без непосредственной расстановки конструкций.

Этап 2: на подготовленном плане ограничить область расстановки конструкций. Для плит перекрытий задать площадь раскладки, а также задать ограничения по допустимой высоте плиты. Для фундаментных блоков задать

возможную область «ленты» в плане, высоту фундамента в целом и задать условие единой высоты блоков во всем фундаменте или в одном ряду.

Этап 3: подключить к поиску данные ГОСТ;

Этап 4: сформировать варианты решений и выбрать наиболее удачный вариант раскладки конструкций.

Подключение дополнительных баз данных или баз знаний, вероятно, будет на следующем этапе развития технологии. Это позволит сократить затраты сил и времени на формирование значений параметров. Учитывая развитие в строительстве 3D-печати, проектировщики смогут создавать новые необычные формы строительных конструкций, не опасаясь сложностей при их изготовлении. Оптимизация веса конструкций позволит развивать проектирование большепролетных конструкций.

Самым очевидным применением генеративного дизайна на этапе строительства кажется организация строительной площадки: расстановка элементов бытового городка, складских площадей, пунктов охраны, пункта мойки колес и т.д. Если на строительной площадке предполагается применение башенных кранов, то технологию генеративного дизайна можно использовать для выбора места и зоны работы техники, при этом нужно задать условия, предотвращающие возможность вылета стрелы за пределы строительной площадки, попадания в пешую зону рабочих и городка или пересечения с зоной действия другого крана.

Статья [18] описывает пример использования генеративного дизайна на этапе строительства при подборе вариантов последовательности монтажа конструкций: от перевозки до выбора наиболее удачной точки прибытия машины со строительным материалом для последующей сборки. Используется разработка компании Autodesk – Project Refinery. В данной программе разрабатываются алгоритмы, позволяющие наиболее быстро и качественно произвести сборку конструктивных элементов здания, при этом учитывая их вес, вместимость машины, точки доступа к строительной площадке.

На этапе эксплуатации генеративный дизайн может использоваться для производства ремонтных работ: для выбора порядка обследования элементов здания в зависимости от времени эксплуатации, для определения порядка производства ремонта.

Выводы

Несмотря на долгое существование такого понятия как «генеративный дизайн», в русскоязычной сфере все еще мало конкретной информации по этому вопросу.

У новых технологий всегда есть армия и поклонников, и скептиков. Возможно, через годы генеративный дизайн будет также широко использоваться как BIM-технология в настоящее время, хотя до сих пор находятся люди, отрицающие пользу цифрового информационного моделирования объектов строительства.

Генеративный дизайн – прорыв в области информационного моделирования, который обязательно найдет (можно сказать, уже нашел) свое применение в архитектурно-строительном проектировании.

Развитие генеративного дизайна напрямую связано с использованием новых программных продуктов и средств для алгоритмизации и программирования решения прикладных задач. Дополнительный стимул развития дает присоединение других цифровых технологий, таких как искусственный интеллект, аддитивное производство, большие данные, облачные технологии обработки данных.

Со временем цифровые технологии в сфере строительства расширяются и выходят за рамки этапа проектирования, т.е. все больше внедряются в полный жизненный цикл строительного объекта.

Комбинация технологии информационного моделирования и генеративного дизайна позволяет получить синергетический эффект для решения прикладных и научных задач архитектурно-строительного проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства.

Литература

1. Вергунова Н. С. Прикладные исследования в науке и их влияние на инновационные процессы в архитектуре и дизайне // Scientific Journal «ScienceRise» №3(44). – 2018. – С. 15-18.
2. Канягин В.Н. Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления дизайн-барьера // Издательство Политехнического университета, – 2012. — С. 37.
3. Лукманов О. Генеративный дизайн: на пороге новой эпохи проектирования // CADMASTER. – 2018. – №1. – С. 59-59.
4. Engineering.com [Электронный ресурс]: The New Age of Highly Efficient Products Made with Generative Design. Режим доступа: <https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/15136/The-New-Age-of-Highly-Efficient-Products-Made-with-Generative-Design.aspx> (дата обращения 21.11.2020).
5. Autodesk открывает лабораторию генеративного дизайна в Чикаго [Электронный ресурс]: // AUTODESK. Новости. Режим доступа <https://sapr.ru/article/25681> (дата обращения 01.12.2020) ISICAD – Ваше окно в мир САПР [Электронный ресурс]: Авторы isicad. Рупиндер Тара. Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/press-releases/2019-03-06> (дата обращения 21.11.2020).
6. АНСБ – Агентство новостей «Строительного бизнес» [Электронный ресурс]: На AURussia 2019 расскажут, зачем проектировщикам нужен генеративный дизайн. Режим доступа: <http://www.ancb.ru/publication/read/8575> (дата обращения 21.11.2020).
7. Кравченко Г.М., Васильев С.Э., Пуданова Л.И. Парадигма фрактальных структур [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона, №4, –2017. Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4450 (дата обращения 21.11.2020).
8. Archi.ru [Электронный ресурс]: Новая морфология архитектуры. Зачем гены зданиям? Режим доступа: <https://archi.ru/russia/40448/novaya-morfologiya-arhitektury-zachem-gezy-zdaniyam> (дата обращения 21.11.2020).
9. Daniieldavis.com [Электронный ресурс]: Generative Design is Doomed to Fail. Режим доступа: <https://www.daniieldavis.com/generative-design-doomed-to-fail/> (дата обращения 21.11.2020).
10. Engineering.com [Электронный ресурс]: When Generative Design Backfires – VW’s New Wheels. Режим доступа: <https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/19849/When-Generative-Design-Backfires-VWs-New-Wheels.aspx> (дата обращения 21.11.2020).
11. Вехов А. С., Титаренко С. А. Применение аддитивных технологий в современном производстве // Решетневские чтения. – 2018. – Том 1. – С. 90-92.
12. Феллон Грэг. Что делает Autodesk Netfabb 2018 инструментом для супергероев//САПР и графика №9, 2017 Режим доступа: <https://sapr.ru/article/25504> (дата обращения 01.12.2020)
13. AUTODESK [Электронный ресурс]: Российские инженеры показали строительные конструкции, созданные с помощью искусственного интеллекта Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/press-releases/2019-04-17> (дата обращения 21.11.2020).
14. ISICAD – Ваше окно в мир САПР [Электронный ресурс]: Генеративное проектирование уже устарело, пока мы его ждали в Revit? Режим доступа: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21243 (дата обращения 21.11.2020).
15. Компания БилдСофт [Электронный ресурс]: О компании. Режим доступа: <https://buildsoft.ru/company/index.php> (дата обращения 21.11.2020).
16. Блог компании БилдСофт. [Электронный ресурс]: Генеративный дизайн в Revit 2021. Просто о сложном. Режим доступа:

<https://zen.yandex.ru/media/id/5ea55b20c9c7e01bd613cb7a/generativnyi-dizain-v-revit-2021-prosto-o-slojnom-5ea7cfb8ca32855cf82411c7> (дата обращения 21.11.2020).

17. AUTODESK. Knowledge network [Электронный ресурс]: Autodesk Revit 2021. Режим доступа: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/RUS/> (дата обращения 21.11.2020).
18. Bernstein P. Generative Design in Architecture and Construction Will Pave the Way to Productivity. Режим доступа: <https://www.autodesk.com/redshift/generative-designarchitecture/> (дата обращения: 06.01.2020).