

Устойчивое развитие на основе цифровых технологий в строительстве

УДК 69 : 004.942

Игнатова Елена Валентиновна

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

Матюхина Марина Андреевна

аспирант кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ) (Москва, Россия); e-mail: MatyukhinaMA@mgsu.ru

Сморженков Никита Сергеевич

аспирант кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ) (Москва, Россия); e-mail: Nikrolly@yandex.ru

Аннотация: В статье рассматривается совместное применение технологии информационного моделирования зданий и других сквозных цифровых технологий для обеспечения устойчивого строительства. Технология информационного моделирования зданий позволяет генерировать и обновлять набор данных об объекте строительства, а затем анализировать и использовать эти данные на протяжении всего жизненного цикла здания. Основываясь на данных BIM, можно проанализировать экономические,

энергетические, экологические и социальные характеристики объекта строительства. Данные BIM используются для оценки соответствия объекта критериям «зеленого строительства». Информационная модель здания (BIM) основана на геометрической форме. Это позволяет организовать обмен BIM-данными с другими цифровыми технологиями, основанными на обработке геометрических данных, такими как виртуальная и дополненная реальность (VR & AR), аддитивное производство (3D-печать),

SUSTAINABLE DEVELOPMENT BASED ON DIGITAL TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

Ignatova Elena Valentinovna

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

Matyukhina Marina Andreevna

Postgraduate student of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) (Moscow, Russia); e-mail: MatyukhinaMA@mgsu.ru

Smorzhenkov Nikita Sergeevich

Postgraduate student of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) (Moscow, Russia); e-mail: Nikrolly@yandex.ru

Abstract. The article discusses the joint application of building information modeling technology and other digital technologies for sustainable construction. Building information modeling technology allows to generate and update a set of data about construction

object, and then analyze and use this data throughout the building life cycle. Building information model (BIM) is based on geometric shape. It possible to organize the exchange of BIM data with other digital technologies based on geometric data processing, such as virtual and augmented reality (VR & AR), additive manufacturing (3D printing), generative design technologies. Based on the BIM data, it is possible to analyze the economic, energy, environmental and social characteristics of the construction object. BIM data is used to assess the compliance of the object with the criteria of «green construction». All these technologies can be used in the tasks of ensuring sustainable construction. The purpose of this study is the integration of digital technologies to ensure the principles of sustainable development in construction. Examples of completed works based on digital technologies together with information modeling of residential buildings are given. An experiment was conducted to create augmented reality based on BIM data. An experiment on 3D printing of a cottage layout was carried out. The algorithm of generative design of the building ramp for low-mobility groups of the population is proposed. A method of using generative design technology in conjunction with standard and modular construction is proposed. The conclusion is made about the advantages of the integrated use of digital technologies.

Keywords: sustainable development, information modeling, BIM, generative design, additive manufacturing, 3D printer, VR & AR

технологии генеративного проектирования. Целью данного исследования является интеграция цифровых технологий для обеспечения принципов устойчивого развития в строительстве. Приведены примеры выполненных работ на основе цифровых технологий совместно с информационным моделированием жилых зданий. Проведен эксперимент по созданию дополненной реальности на основе BIM-данных. Проведен эксперимент по 3D-печати макета коттеджа. Предложен алгоритм генеративного проектирования пандуса здания для маломобильных групп населения. Предложен способ использования технологии генеративного проектирования в сочетании со стандартным и модульным строительством. Делается вывод о преимуществах комплексного использования цифровых технологий.

Ключевые слова: устойчивое развитие, информационное моделирование, BIM, генеративный дизайн, аддитивное производство, VR & AR

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие (Sustainable development) является современным глобальным трендом деятельности человека. Устойчивое развитие — процесс проведения социальных, экономических и экологических преобразований, предпринимаемых с целью удовлетворения потребностей человечества в совершенствовании. При этом удовлетворение потребностей не должно нести негативное влияние на будущие поколения. За этим определением стоит борьба с изменением климата, уменьшение углеродного следа, ответственное потребление природных ресурсов, производство с минимальным количеством отходов и с учетом возможности дальнейшей переработки произведенных продуктов, недорогая и чистая энергия, индустриализация с использованием типизации и унификации, биосферно-совместимые города и населенные пункты, а также экономический рост и направленность на повышение качества жизни людей.

МАТЕРИАЛЫ

В сфере строительства требования устойчивого развития можно сформулировать как задачу поиска экономически эффективных, энергоэффективных, экологических, социально-ориентированных решений [1, 2]. Говоря об устойчивом развитии, также стоит упомянуть термин «Зеленое строительство». Оно относится к применению «циклических» принципов,

являющихся экологически дружелюбными и ресурсоэффективными. Производство должно стремиться к уменьшению вредных выбросов и защите окружающей среды в целом.

В настоящее время идет цифровая трансформация строительства, создается его цифровая экосистема. Цифровые технологии являются важным инструментом для решения проблемы цифровой трансформации строительства, а также для успешного достижения задачи устойчивого развития строительства. Цифровые технологии должны создать удобную коммуникацию и обмен информацией, должны помочь быстро находить, анализировать, генерировать необходимые данные и принимать эффективно решения. Можно выделить такие сквозные цифровые технологии, как искусственный интеллект, виртуальная и дополненная реальность, 3D-печать, роботизированные устройства, новые производственные технологии.

В сфере строительства новой производственной технологией и драйвером цифровой трансформации строительства считается информационное моделирование объектов капитального строительства. Информационная модель строительного объекта может стать базой для интеграции различных цифровых технологий, позволяющих обеспечить принципы устойчивого развития в строительстве.

В статьях [3, 4, 5] на основе информационной модели анализируется энергоэффективность зданий (BIM-BEM). В статьях [6, 7] предложена методика комплексной оценки зеленого строительства на основе данных информационной модели (GREEN-BIM). Методы оценки устойчивости строительства на основе BIM приведены в статье [8]. В статье [9] описано решение экологической задачи уменьшения отходов на основе данных BIM.

Есть примеры решения задачи устойчивого развития на основе генеративного дизайна [10, 11, 12]. Эта технология требует создания алгоритмов поиска вариантов решений с учетом заданных условий и ограничений. В том числе такая технология может быть использована при формировании информационной модели.

Информационная модель может стать основой для создания виртуальной и дополненной реальности. В статьях [13, 14] предлагается метод классификации различных приложений BIM-XR. Обобщены и описаны проблемы и перспективы создания VR и AR на основе данных информационной модели.

На основе данных, извлеченных из BIM, создаются программы управления строительным 3D принтером. В статьях [15, 16, 17] обсуждаются методы передачи данных BIM в 3D принтер.

Цель настоящего исследования – обеспечение принципов устойчивого развития в строительстве на основе интеграции цифровых технологий.

МЕТОДЫ

Метод исследования – информационный поиск и анализ опыта применения цифровых технологий в строительстве, проведение эксперимента в ходе решения отдельных задач проектирования и информационного моделирования объектов строительства. Предмет исследования – возможности цифровых технологий для получения экономичных, энергоэффективных, экологичных и социально-ориентированных решений в сфере строительства.

Информационное моделирование

Технология информационного моделирования позволяет формировать набор данных о строительном объекте и визуализировать данные в графическом или табличном виде. Характерной особенностью технологии является 3D параметрическое объектно-ориентированное представление данных. Данные создаются и актуализируются на протяжении всего жизненного цикла объекта капитального строительства. На основе данных информационной модели может проводиться анализ характеристик здания, экспертиза проектной документации, надзор за строительством. Информационная модель содержит всю необходимую информацию для строительства и эксплуатации здания. Данные информационной модели могут быть проанализированы на экологичность, энергоэффективность и экономичность строительного объекта в течение его жизненного цикла.

Однако, надо понимать, что при создании и ведении информационной модели необходимо предусмотреть ввод и хранение необходимой информации. Например, в случае строительства с использованием 3D-печати в информационной модели строительного объекта должны быть предусмотрены специфические параметры для организации аддитивного производства.

Генеративный дизайн

Технология генеративного дизайна позволяет на этапе проектирования найти наилучшие варианты размещения, конфигурации, внешнего вида и других характеристик строительного объекта или конструк-

ции. Для этого определяется цель, разрабатываются алгоритмы поиска решения, устанавливаются ограничения для сокращения вариантов решений и поиска лучшего варианта. Свобода проектирования дает инженерам и разработчикам новых продуктов возможность оптимизировать форму и вес конструкции и экономить на материалах. Генеративный дизайн может использоваться для обеспечения энергоэффективности зданий.

Таким образом, в качестве целей генеративного дизайна могут выступать экологичность, энергоэффективность, экономичность или удовлетворение социальных потребностей населения.

3D-печать

В строительстве 3D-печать применяется с использованием технологии экструзии. Объект формируется путем добавления материала слой за слоем. В отличие от технологии вырезания объекта 3D-печать использует меньше материала, способствует снижению отходов производства и уменьшению загрязнения окружающей среды. Объединение 3D-печати с биоматериалами обеспечивает возможность осуществления устойчивой экономики замкнутого цикла, то есть экономики, основанной на возобновлении ресурсов.

Современные материалы и технологии 3D-печати позволяют возводить здания с почти нулевыми отходами и строить рентабельные дома с нулевым потреблением энергии. 3D принтеры потенциально могут уменьшить выбросы парниковых газов и углерода на основе использования разнообразных устойчивых и возобновляемых материалов. Экономическая эффективность 3D-печати домов и отработанная технология возведения одноэтажных зданий позволяют решить социальную проблему обеспечения жильем малоимущих слоев населения.

Виртуальная и дополненная реальность

Технологии виртуальной и дополненной реальности создают интерактивные системы взаимодействия человека и модели объекта. Технологии обеспечивают контент-ориентированный и социально-ориентированный подходы к представлению информации. Технологии предоставляют пользователю цифровую информацию, подавая ее в тесной связи с объектами виртуального или реального мира. Использование технологий виртуальной и дополненной реальности позволяет имитировать процессы, оценивать качество и безопасность строительных объектов. Также технологии широко применяются в процессе обучения работе со сложными системами.

Информация может быть представлена удаленно, что снижает транспортные расходы и выбросы CO₂.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Совместное использование информационного моделирования строительного объекта с другими цифровыми технологиями проводилось поэтапно. В ходе исследования решены отдельные практические задачи, оценивалась возможность передачи данных между используемыми программными средствами, проанализированы особенности и возможности использования цифровых технологий для обеспечения устойчивого развития.

AR технология

Для создания цифровой информационной модели здания использована программа Revit. Создана цифровая информационная модель двухэтажного коттеджа. Проведен эксперимент передачи данных в программы дополненной реальности для мобильных устройств (Augment, SketchUp, Kubity GO, Augin). Использован смартфон на платформе ARKit, с технологиями SLAM и Environment Mapping.

Для анализа и сравнения результатов работы программ разработаны критерии сравнения. Среди них: поддерживаемые форматы импорта/экспорта моделей, возможность загрузки моделей через облачное хранилище данных, наличие режима «прогулки» по модели, стабильность трекинга, смещение модели

при движении, возможность привязки модели к маркеру, наличие собственной библиотеки объектов, возможность отключения видимости отдельных элементов модели, наличие режима отображения теней, наличие режима виртуальной реальности VR, доступность программного обеспечения.

Проведен анализ корректности передачи геометрических и графических данных из информационной модели здания в программные приложения дополненной реальности (рис. 1). По результатам эксперимента было выделено лучшее приложение Kubity GO.

3d-печать

Для печати макета здания использован 3D принтер Creality Ender-3 Pro (рис. 2). Для нарезки геометрической модели на слои использовано программное приложение Ultimaker Cura. Экспорт данных информационной модели осуществлен из программы Revit посредством формата STL.

Было отмечено, что информационная модель может хранить информацию, необходимую для печати строительных конструкций (материал, температура, скорость печати, процент заполнения конструкций, высота и ширина слоя печати) [19]. Однако эта информация не может быть полностью передана через формат STL. Необходимо использовать другие форматы передачи данных, например, AMF (Additive Manufacturing file) или IFC (Industry Fund Classes).



Рис. 1. Результаты передачи графической информации [18].

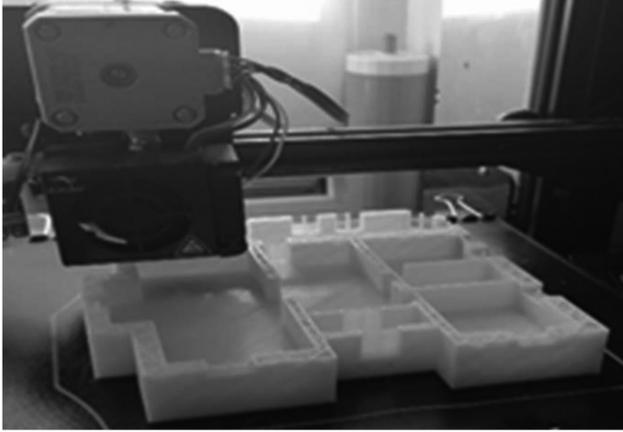


Рис. 2. Печать модели

Генеративный дизайн

Применение технологии генеративного дизайна обсуждалось при решении двух различных задач.

В первом случае рассмотрено решение задачи социального характера, возникающей при реконструкции существующих жилых зданий. Обсуждается автоматизация создания пандусов для маломобильных групп населения, которые соответствуют нормативным требованиям и вписываются в существующую пространственную конфигурацию объектов [20]. В качестве исходных данных известна конфигурация здания, его входные группы, 3D окружающий рельеф, а также транспортные и пешеходные пути.

В алгоритмах генеративного дизайна используются данные цифровой информационной модели здания и инженерной цифровой модели местности. Ограничением для работы генетических алгоритмов является конфигурация существующей жилой застройки. Целью генетического алгоритма является кратчайшая траектория пандуса, которая одновременно учитывает максимально возможные значения уклона, минимальные размеры ширины пути и допустимые размеры поворотных площадок пандуса.

Использованы программы Rhinoceros 3D и Grasshopper. Программа Revit использована для создания цифровой информационной модели здания.

Во втором случае рассмотрена методика комплексного использования генеративного дизайна при создании объемно-планировочных решений многоэтажных жилых зданий [21]. Методика использует возможности применения типового и модульного строительства. Предложено многократное использование генеративного дизайна на различных структурных уровнях жилого здания (на уровне этажа, на уровне секции, на уровне всего здания (рис. 3).

ВЫВОДЫ

Устойчивое строительство требует комплексного решения множества экологических, экономических, энергетических, социальных, проблем на разных стадиях жизненного цикла строитель-

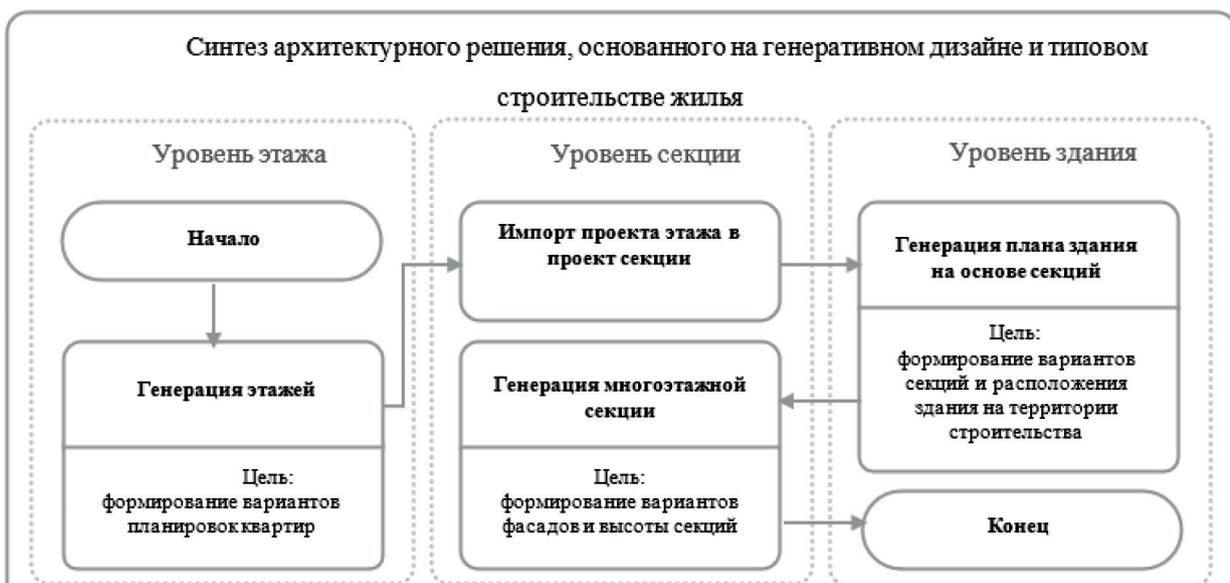


Рис. 3. Методика применения генеративного дизайна жилого здания

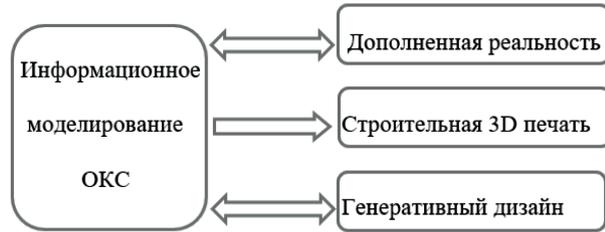


Рис. 4. Взаимодействие цифровых технологий

ного объекта. Цифровые технологии являются эффективным инструментом для достижения устойчивого развития.

Важную роль для решения задач проектирования, строительства и эксплуатации зданий, а также глобальной задачи обеспечения устойчивого развития имеет информационное моделирование объектов капитального строительства. Технология информационного моделирования может быть основой для объединения цифровых технологий.

Информационная модель является источником данных и хранилищем результатов работы различных цифровых технологий (рис 4). Информационная модель здания должна содержать данные, необходимые для эффективного использования выбранных цифровых технологий.

Эксперименты с цифровыми технологиями показали, что существует достаточное количество программных средств для их реализации. Большое значение для интеграции различных технологий имеет интероперабельность программного обеспечения. Необходим двунаправленный обмен данными между программными средствами. Большое значение для корректного обмена информацией имеет выбор формата обмена данными. Выбор форматов осуществляется с учетом минимальных потерь полезной информации.

Перспективным направлением комплексного использования цифровых технологий является использование технологий искусственного интеллекта.

Литература

1. Araujo A.G., Pereira C.A.M., Palha C. R P. Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis // Journal of cleaner production 256: 120350 (2020)
2. Гаряева В.В. Обеспечение устойчивого проектирования и энергоэффективного строительства на базе BIM моделирования // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 3. С. 17-20.
3. Far as J.G., Soares C.A.P., Haddad A.N. BIM and BEM Methodologies Integration in Energy-Efficient Buildings Using Experimental Design // Buildings 11(10):491 (2021)
4. Pezeshki Z., Darabi A., Moghiman M. BIM2BEM for room heating-cooling time estimation after turning on the HVAC systems // IOP Conference Series Materials Science and Engineering 765:012034 (Baghdad, Iraq, 2020)
5. Савельев И.Л., Савельева Е.О., Ефремов А.Е. Использование современных САПР для проведения первичного энергетического анализа проектируемых зданий и сооружений // Научные вести. 2019. № 3. С. 77-84.
6. Шеина С.Г., Умнякова Н.П., Салтыков Н.О. GREEN BIM - новый подход к проектированию и строительству // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4 (382). С. 246-250.
7. Кочегаров Д.В. Применение технологии GREEN BIM при проектировании энергоэффективных зданий // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2019. № 3 (36). С. 49-53.
8. Букунов А.С., Нурулин Ю.Р. Экологическая оценка жизненного цикла здания на основе BIM // Инженерный вестник Дона. 2020. № 5 (65). С. 13.
9. Shi Y., Xu J.P. BIM-based information system for eco-enviro-friendly end-of-life disposal of construction and demolition waste // Automation in construction 125:103611 (2021)
10. Janssen P., Chen K.W., Mohanty A. Automated Generation of BIM Models // Proceedings of the 34th eCAADe Conference, (Newcastle, UK, 2016), pp. 583-590.
11. Marsault X. Eco-generative Design for Early Stages of Architecture // Architecture and Computer Science Set, (London, 2018).
12. Игнатова Е.В., Предеина В.П. Состояние и перспективы применения технологии генеративного дизайна в строительстве // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9. № 1. С. 71-75.
13. Wu S., Hou L., Zhang G. Integrated Application of BIM and eXtended Reality Technology: A Review, Classification and Outlook // Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, editors E. T. Santos and S. Scheer (Springer, 2021)
14. Симченко О.Л., Сунцов А.С., Чазов Е.Л., Куделина А.А., Малышева Е.Н. Проблемы и перспективы применения технологий виртуальной и дополненной реальности в строительстве // В сборнике: Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденция развития. Сборник статей III Международной научно-практической конференции. 2020. С. 91-98.
15. Sakin M., Kiroglu Y.C. 3D printing of buildings: construction of the sustainable houses of the future by BIM // Energy Procedia 134 (2017), pp. 702–711
16. Krause M., Otto J. 3D-Concrete-Printing: Digital data flow with BIM // Bauingenieur 94(5) (2019), pp. 171–178
17. Игнатова Е.В., Предеина В.П. Информационное моделирование и аддитивные технологии в строительстве // Строительство и архитектура №9(3), 2021. Стр. 41-45
18. Шабалин М., Башарова Е., Игнатова Е. Анализ программного обеспечения технологии дополненной реальности // Сборник «Молодежные инновации» - Москва, МГСУ,

2020. Стр. 40-44.
19. Ignatova E., Kirichek P. Additive manufacturing based on building information model data // Lecture Notes in Civil Engineering, vol 231, 2022. Springer, Cham. Pp. 77-85
20. Матюхина М.А., Игнатова Е.В. Генеративный дизайн в малых архитектурных формах на примере пандуса для маломобильных групп населения // Научно-технический журнал «Строительное производство», №2, 2021 стр. 81-85
21. Smorzhenkov N.A., Ignatova E.V. The use of generative design for the architectural solutions synthesis in the typical construction of residential buildings // E3S Web of Conferences 281, 04008 (2021)