

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Евгеньев Р.А., соискатель, ФГБУН ВИНТИ РАН

Аддитивные технологии строительства развиваются с конца прошлого века. К настоящему времени накоплен опыт возведения не только малых архитектурных форм и индивидуальных домов, но и многоэтажных зданий, целых кварталов. С появлением технологий 3D-печати возникла необходимость в полноценном и быстром обмене информацией между строителями и архитекторами, а также потребность в точном и управляемом моделировании возводимого объекта. В статье рассматриваются аспекты использования информационной модели здания Building Information Modelling (BIM) и различных поколений цифровых двойников при проектировании и возведении зданий и сооружений, анализируются основные направления модернизации методов проектирования, строительства, внедрения инновационных строительных материалов и повышения их качества.

Ключевые слова: аддитивные технологии строительства, 3D-печать, BIM, цифровые двойники.

Технологии 3D-печати в строительстве развиваются все более быстрыми темпами. Предметы повседневного обихода стали компактными, их производство обходится дешевле. Однако потенциал технологий и процессов возведения зданий и сооружений, известных с начала промышленной революции, не соответствовал другим аспектам деятельности человека. Кроме того, актуальность заботы об окружающей среде только начала осознаваться и учитываться при строительстве зданий.

3D-печать – автоматизированный процесс, который может снизить углеродный след и стоимость строительства, повысить безопасность и эффективность труда, значительно сократить время строительства. Технология известна с 1980-х годов, но применяется в архитектуре относительно недавно.

Выбор вспомогательного программного обеспечения во многом определяет точность 3D-печатных строительных объектов. Поэтому обсуждение тем разработки эффективного вспомогательного программного обеспечения и преобразования 3D-моделей в компьютерные языки представляется актуальным. В статье исследуются методы моделирования зданий BIM для достижения пространственной (3D), последовательной (4D) и количественной (5D) согласованности проектирования, анализируются основные проблемы использования цифровых двойников разных поколений.

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Первая трехмерная система, интегрированная в строительство, появилась в 1970-х годах и использовалась для проектирования и моделирования зданий. Ее развитие в значительной степени сдерживалось стоимостью компьютеров и вычислительных мощностей. Но промышленность продолжала инвестировать в модернизацию и исследование новых процессов проектирования, способствуя применению машин для решения повторяющихся или требующих высокой точности задач. На фоне эволюции использования этих устройств в строительстве началось внедрение моделей BIM.

BIM – это, прежде всего, представление здания через 3D-модель. Макет состоит из элементов с характерными им атрибутами и параметрами. Например, в отношении двери указываются материал, размеры и ее соотношение со стеной. Кроме того, BIM объединяет эти элементы, предлагает их визуализацию и группирует связанные с ними данные. Преимущества BIM перед старыми методами заключаются в экономии времени на изучение здания, простоте совместного использования ресурсов и стандартизации часто повторяющихся вариантов дизайна.

Обмен информацией в процессе BIM осуществляется вокруг трехмерной цифровой модели, которая должна быть идентифицирована, когда используется только для эстетической визуализации проекта. Такие модели называются Hollywood

BIM и не соответствуют условиям настоящих BIM-моделей, поэтому используются застройщиком только в коммерческих целях для презентации девелоперских проектов. К сожалению, подобный тип цифрового макета не подходит для проектирования и по-прежнему составляет слишком большую долю проектов, отображаемых в формате BIM. С этой технологией связаны трудности при реализации BIM. В процессе строительства участвуют представители разных профессий, вовлеченные в архитектурный проект. Инженеры BIM часто жалуются на отсутствие визуализации во время работы, а также на то, что модели слишком тяжелые для обработки.

Для решения этой задачи предложен метод, который расширяет традиционное 3D-моделирование, поскольку предусматривает бесшовную интеграцию и управление многими процессами проектирования, строительства, а также эксплуатации и обслуживания, включая планирование (4D), оценку стоимости и отслеживание прогресса (5D). Тем самым формируется основа для коммерчески доступных или разрабатываемых стратегий 3D-печати в строительстве [1].

Исследования показали, что 75% компаний, использовавших BIM, отчитались о положительной доходности инвестиций, сокращении жизненных циклов проектов благодаря электронному документообороту и уменьшению материальных затрат. С учетом этих преимуществ ряд правительств, в том числе Великобритании, Финляндии и Сингапура, обязали компании использовать BIM при реализации общественных инфраструктурных проектов.

В дальнейшем будет применяться версия 5D BIM, улучшенная с помощью технологии дополненной реальности через носимые устройства. Например, носимый автономный голографический дисплей с прозрачным экраном и усовершенствованные датчики позволят нанести на карту координаты физической среды, а пользователи могут прикреплять голограммы к физическим объектам и взаимодействовать с данными, используя жест, взгляд и голосовые команды.



Рис. 1. Модель BIM 5D [2]

Согласно отчету McKinsey [2] 5D BIM нового поколения – это пятимерное представление физических и функциональных характеристик любого проекта (рис. 1). В дополнение к стандартным параметрам пространственного проектирования в 3D можно определить стоимость и график продвижения проекта, геометрические, технические, тепловые и акустические характеристики, внешний вид. Платформа 5D BIM полезна девелоперам и подрядчикам для выявления, анализа и регистрации влияния изменений на стоимость проекта и сроки реализации. Благодаря визуальному и интуитивно понятному характеру 5D BIM у подрядчиков выше шансы обнаружить риски на ранней стадии и улучшить конструкционные решения. Например, разработчики проектов могут визуализировать и оценить предстоящее изменение дизайна по стоимости с учетом графика проекта.

СЪЕМКА И ГЕОЛОКАЦИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Непредвиденные факторы, обусловленные геологическими особенностями, – основная причина того, что проекты откладываются и выходят за рамки бюджета. Расхождения между реальными условиями и оценками, полученными в ходе ранних исследований, могут потребовать внесения дорогостоящих изменений в проект и его дизайн в последнюю минуту. Новые методы, объединяющие фотографии высокой четкости, трехмерное лазерное сканирование и географические информационные системы, благодаря усовершенствованной технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), могут значительно повысить точность и скорость обработки данных.

Фотограмметрия, например, обеспечивает качественные изображения нужных областей съемки с высоким

разрешением, но для их преобразования в пригодный для использования формат требуется время. Технология обнаружения и определения расстояния (лидар) намного быстрее, чем традиционные технологии, дает возможность получить высококачественные трехмерные изображения, которые можно интегрировать с инструментами планирования проекта. Используемый вместе с георадаром, магнитометрами и другим оборудованием, лидар может генерировать наземные и подземные трехмерные изображения объектов, что особенно важно в плотных, экологически чувствительных или представляющих историческую ценность точках проекта, где необходимо минимизировать неудобства.

Передовые методы съемки дополняются географическими информационными системами, которые позволяют накладывать карты, изображения, измерения расстояний и положения GPS. Затем эту информацию можно загрузить в другие системы анализа и визуализации для использования при планировании проекта и строительстве.

ЦИФРОВОЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ И МОБИЛЬНОСТЬ

Оцифровка процессов означает переход от бумажных документов к обмену информацией в режиме реального времени для обеспечения прозрачности, взаимодействия, своевременной оценки прогресса и рисков, контроля качества и, в конечном итоге, получения лучших результатов.

Одна из причин низкой производительности предприятий отрасли заключается в том, что они используют в основном бумажные технологии для управления процессами и результатами, такими как чертежи, в том числе проектные, заказы на закупки и цепочки поставок, журналы оборудования, ежедневные отчеты о проделанной работе и перфокарты. Без оцифровки обмен информацией задерживается и не может быть универсальным. Владельцы и подрядчики часто работают с разными версиями реальности. Использование бумаги затрудняет сбор и анализ данных. В сфере закупок и заключения договоров исторический анализ эффективности может обеспечить управление рисками и улучшить результаты работы. Кроме того, неправильное ведение документации вызывает разногласия между владельцами и подрядчиками по вопросам строительства, внесения изменений и управления претензиями.

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И РАСШИРЕННАЯ АНАЛИТИКА

Количество людей, единиц строительной техники и объем работ, выполняемых одновременно, повышают сложность и плотность участков, выделяемых под проекты. При этом генерируется огромный массив данных, большая часть которых даже не фиксируется, не говоря об их измерении и обработке.

Интернет вещей стал реальностью во многих других секторах. Датчики и беспроводные технологии позволяют оборудованию и активам стать интеллектуальными, соединенными друг с другом. Интернет вещей на строительной площадке – необходимое условие для того, чтобы техника, оборудование, материалы, конструкции и даже опалубка были на связи с центральной платформой данных, фиксирующей критические параметры производительности. Датчики, устройства связи ближнего поля (NFC) и другие технологии помогут контролировать производительность и надежность как персонала, так и активов.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ДИЗАЙН И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Новые строительные материалы (самовосстанавливающийся бетон, аэрогели и наноматериалы), а также инновационные подходы к строительству (трехмерная печать и предварительно собранные модули) могут снизить затраты и ускорить процесс строительства, одновременно повышая качество и безопасность.

Оборот мирового рынка строительных материалов оценивается в 1 трлн долл. Материалы обычно составляют более половины общей стоимости проекта. Большая часть спроса в этом сегменте приходится все еще на традиционные материалы: бетон, цемент и асфальт [3].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Концепцию цифровых двойников впервые предложило Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) для отслеживания поведения спутника. Организация планировала исследовать космос, используя цифровую копию физической системы.

Недавние исследования показывают, что создание цифрового двойника первого поколения для 3D-печати возможно. Однако эта технология находится в зачаточном состоянии и сталкивается с различными исследовательскими проблемами. Компоненты, необходимые для создания цифрового двойника оборудования аддитивного строительства, программного обеспечения и связанных с ними технологий, пока только разрабатываются.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В 2017 году ученые предоставили основу для реализации концепции цифрового двойника первого поколения. В своем исследовании они предположили, что цифровой двойник 3D-печати [4] состоит из механистической модели, модели измерения и контроля, статистической модели, а также больших данных и машинного обучения, как показано на рис. 2.

Так как это может сказаться на качестве результатов строительства, предсказание взаимодействия и влияния извне – ключевые факторы, которые следует учитывать.

Другая проблема при реализации цифрового двойника в реальном времени – вычислительная нагрузка, связанная с получением теплопередачи и теплового распределения, затвердевания ванны расплава, остаточного напряжения и деформации, структуры и свойств печатной продукции, а также условий эксплуатации машины. Соответствующие датчики могут получать некоторые данные, например, распределение температуры. Для внедрения цифрового двойника в аддитивном производстве система Интернета вещей [7] – один из ключевых инструментов для каждой части системы, которую необходимо интегрировать. Должно быть обеспечено эффективное соединение датчиков, оборудования и системы.

В целях создания цифрового двойника для системы и процесса аддитивного производства важна концепция управления данными, основанная на технологии машинного обучения. Благодаря обучению на данных, собранных из различных источников, таких как моделирование,

эксперименты, результаты научных исследований, технология машинного обучения способна прогнозировать микроструктуры, свойства и дефекты. Есть возможность извлекать полезную информацию и взаимосвязи из данных, а не из феноменологических указаний или программирования. Таким образом, вычисления выполняются быстро, а качество и объем данных будут определять точность прогнозов.

На свойства и пригодность компонентов аддитивного производства влияют их геометрия, микроструктура и дефекты. Эти атрибуты исторически оптимизируются методом проб и ошибок, потому что важные переменные процесса в настоящее время не могут выбираться по научным принципам. Возможное решение заключается в создании цифрового двойника процесса аддитивного производства, который может обеспечить точные прогнозы пространственных и временных изменений параметров, влияющих на структуру и свойства компонентов. Использование продвинутых систем BIM значительно упростит циркуляцию информации между строителями, архитекторами и заказчиками, оптимизирует контроль и выполнение работ.

Список использованных источников и литературы

1. Teizer J., Blickle A., King T., Leitzbach O., Günther D., Mattern H., & König M. BIM for 3D printing in construction. *Building Information Modeling: technological foundations and industrial practice*. 2018. PP. 421–446.
2. Agarwal R., Chandrasekaran S., Sridhar M. *Imagining construction's digital future*. Capital Projects and Infrastructure, McKinsey Productivity Sciences Center. – Singapore, June 2016. <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-construction-digital-future>
3. Mehmet Sakin et al. 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia* 134. 2017. PP. 702–711.
4. DebRoy T., Zhang W., Turner J., Babu. Building digital twins of 3D printing machines. *Scr. Mater.* 2017. PP. 119–124.
5. Knapp G.L., Mukherjee T., Zuback J.S., Wei H.L., Palmer T.A., De A., DebRoy T. Building blocks for a digital twin of additive manufacturing. *Acta Mater.* 2017, 135. PP. 390–399.
6. Chhetri S.R., Faezi S, al Faruque M.A. Digital Twin of Manufacturing Systems: Technical Report on Digital Twin Project. *Digital Twin of Manufacturing Systems: Technical Report on Digital Twin Project*. Center for Embedded and Cyber-physical Systems (CECS), University of California: Irvine, CA, USA. November 2017.
7. Щекочихин О.В., Евгеньев Р.А. Методическое обеспечение процесса создания сервиса-агрегатора для Интернета вещей // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. 2019. № 2 (48). С. 13.

ANALYSIS OF METHODS FOR CREATING DIGITAL MODELS OF BUILDINGS AND STRUCTURES MANUFACTURED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES

Evgeniev R.A., Applicant for FGBUN VINITI RAS

Additive construction technologies have been developing since the end of the last century. To date, experience has been accumulated in the construction of not only small architectural forms and individual houses, but also multi-storey buildings, entire blocks. But with the advent of 3D printing technologies, there was a need for a full and rapid exchange of information between builders and architects, as well as the need for accurate and controlled modeling of the object being built. The article discusses the aspects of using the Building Information Modeling (BIM) and various generations of digital counterparts in the design and construction of buildings and structures, analyzes the main directions of modernization of design methods, construction, introduction of innovative building materials and improving their quality.

Keywords: additive construction technologies, 3D printing, BIM, digital twins.

References

1. Teizer J., Blickle A., King T., Leitzbach O., Günther D., Mattern H., & König M. BIM for 3D printing in construction. Building Information Modeling: technological foundations and industrial practice. 2018. Pp. 421–446.
2. Agarwal R., Chandrasekaran S., Sridhar M. Imagining construction's digital future. Capital Projects and Infrastructure, McKinsey Productivity Sciences Center. – Singapore, June 2016. <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>
3. Mehmet Sakin et al. 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. Energy Procedia 134. 2017. Pp. 702–711.
4. DebRoy T., Zhang W., Turner J., Babu. Building digital twins of 3D printing machines. Scr. Mater. 2017. Pp. 119–124.
5. Knapp G.L., Mukherjee T., Zuback J.S., Wei H.L., Palmer T.A., De A., DebRoy T. Building blocks for a digital twin of additive manufacturing. Acta Mater. 2017, 135. Pp. 390–399.
6. Chhetri S.R, Faezi S, al Faruque M.A. Digital Twin of Manufacturing Systems: Technical Report on Digital Twin Project. Digital Twin of Manufacturing Systems: Technical Report on Digital Twin Project. Center for Embedded and Cyber-physical Systems (CECS), University of California: Irvine, CA, USA. November 2017.
7. Shchekochikhin O.V., Evgen'ev R.A. Methodical support of the process of creating a service-aggregator for the Internet of Things // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2019. № 2 (48). P. 13.