

Применение технологии «цифровых двойников» при эксплуатации зданий и сооружений

УДК 004/9

Барабанова Татьяна Алексеевна

к.т.н., доцент кафедры «Жилищно-коммунального комплекса», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);
e-mail: barabanovata@mgsu.ru

Балалов Виталий Викторович

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автоматизации и электроснабжения», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);
e-mail: balalovvv@mgsu.ru

Блинова Олеся Сергеевна

Магистрант кафедры «Жилищно-коммунального комплекса», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва)
e-mail: olesya.blinova.99@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено использование технологии Digital twins (цифровой двойник) при эксплуатации объектов строительства. Ее применение способствует максимально эффективной эксплуатации зданий и сооружений. В «цифровой двойник» постоянно добавляются актуальную информацию: эксплуатационные компании занимаются актуализацией потребностей жильцов, проводят диагностику состояния здания в целом. Данная технология помогает определить точные сроки замены оборудования. Эксплуатируемое здания и его системы находятся под постоянным наблюдением и контролем управляющих организаций. Снижается стоимость эксплуатации здания, так как здание находится под постоянным контролем и диагностикой.

Ключевые слова: жилые здания, BIM технологии, ликвидация пожара, цифровые двойники,

эксплуатация зданий и сооружений, автоматизация

Введение

Цифровой двойник — это виртуальная модель объекта, которая точно воспроизводит форму и действия оригинала и синхронизирована с ним. Технология помогает смоделировать, что будет происходить со зданием в разных условиях при эксплуатации.

Основой цифрового двойника часто становится BIM-модель, которая появляется на этапе проектирования. К ней добавляется информация о текущем состоянии объекта и получается цифровой двойник.

Благодаря технологии цифровых двойников решается ряд ключевых задач: появляется возможность проектировать и строить здания сразу с учётом раз-

THE USE OF DIGITAL TWINS TECHNOLOGY IN THE OPERATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Barabanova Tatiana Alekseevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Housing and Communal Complex; National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia;
e-mail: barabanovata@mgsu.ru

Balalov Vitalij Viktorovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Power Supply; National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia
e-mail: balalovvv@mgsu.ru

Blinova Olesya Sergeevna

Student of the Department of Housing and Communal Complex, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow)

e-mail: olesya.blinova.99@mail.ru

Abstract: The article discusses the use of Digital twins technology in the operation of construction facilities. Its use contributes to the most efficient operation of buildings and structures. The digital twin is regularly updated: the management organization takes into account the new needs of consumers, performs diagnostics of engineering systems. The digital double helps to determine the timing of equipment replacement. The operation of the building is monitored remotely and around the clock. The cost of operation of the facility is reduced: the management organization evaluates its condition and parameters, offers the best tariff and reduces its costs.

Keywords: residential buildings, BIM technologies, fire elimination, digital twins, operation of buildings and structures, automation

личных сценариев движения людей; заранее тестировать температуру и влажность в помещении; внедрять бесконтактные интерфейсы и робототехнику; обнаруживать проблемы до того, как здание будет введено в эксплуатацию; снизить финансовые и организационные риски; повысить конкурентоспособность и прибыльность бизнеса; планировать развитие компании; повысить лояльность клиентов за счёт прогнозирования потребительских запросов к зданию; рассчитать возможность возникновения чрезвычайных ситуаций и вовремя среагировать, чтобы спасти людей.

Материалы и методы

В настоящее время новые цифровые технологии уже играют важную роль в секторе строительства, который переживает период значительных изменений. Эти подвиги инициированы изменениями в Градостроительном кодексе России, в котором введено понятия информационной модели (BIM) и принятием BIM стандартов РФ на базе открытых стандартов IFC buikldungSmart [1]. Кроме того, применение информационных моделей (BIM) становится обязательным на всем жизненном цикле зданий и сооружений. В этом процессе BIM представляет несомненного главного героя, революционизируя традиционный способ работы на основных этапах работы: проектирование, строительство и техническое обслуживание. Однако наличие всех этих аспектов под уникальной методологией может привести к нескольким проблемам без прочной основы для регулирования всей процедуры. Огромное количество информации, а также большое количество вовлеченных людей, являются основными слабыми сторонами, которые могут стать основными сильными сторонами, когда процесс обслуживания или Facility Management вовлечен в процесс [2]. В этом сценарии понадобятся формализованные онтологии, которыми можно регулировать с помощью методологии BIM множество процессов и отношений, многие из которых описаны в публикациях. По данным сетевого издания RB.RU, выделяются три вида цифровых двойников: DTP прототип, DTA агрегированный двойник и DTI экземпляр [3].

DTP или Digital Twin Prototype, прототип — это виртуальный аналог объекта, в нём содержится информация для производства оригинала. В число таких сведений входят геометрическая и структурная модели объекта, технические требования. Также дела-

ется расчёт стоимости строительства, проектная и технологическая модели сооружения [4-7].

DTI или Digital Twin Instance — это экземпляр, описание конкретного физического сооружения, с которым двойник будет связан на протяжении всего срока эксплуатации. В экземпляре собраны данные обо всех технических характеристиках объекта, в том числе его трёхмерная модель.

Такой цифровой двойник создаётся на основе DTP. Он содержит историю строительства здания, данные о материалах и комплектующих. В этом двойнике вы найдёте данные по ремонтам, заменам элементов системы. Экземпляр действует и обновляется одновременно с оригиналом.

DTA или Digital Twin Aggregate — агрегированный или объединённый двойник. Это система, которая объединяет в себе двойника и оригинал, чтобы ими можно было управлять из единого центра и обмениваться данными.

Цифровой двойник здания работает в режиме реального времени. Он непрерывно собирает и хранит данные всех систем, датчиков и оборудования, установленных на объекте. Технология анализирует полученную информацию и даёт прогноз технического состояния систем, быстро выявляет возможные поломки, посылает сигнал о возникновении аварийной ситуации.

Помимо анализа технического состояния оборудования и систем цифровой двойник мониторит эффективность их работы и даёт заключение по общей безопасности здания [8].

Данные цифровой двойник посылает в специальную программу. Такие программы делают разные компании: Siemens, Aveva, Tango, Altec Systems, EPLAN Software & Service Russia, СОДИС Лаб.

Что может быть основой цифрового двойника [9]:

- исходная графическая 3D или 4D-модель;
- модель на основе интернета вещей;
- интегрированная математическая модель для анализа инженерных расчётов;
- голограммы и другие способы визуализации.

Исходная модель обычно готовится двумя путями: BIM-модель и лазерное сканирование. BIM-модель образуется на этапе проектирования и уточняется на этапах авторского надзора. На ее основе делается исполнительная модель для окончания возведения объекта. Или же объект сканируется лазерным сканером, получается его цифровой слепок. По слепку выполняется моделирование конкретных элементов.

Чтобы создать цифровой двойник, нужно пройти следующие этапы: исследовать объект, смоделировать копию, выполнить проект и протестировать его, запустить цифровой двойник и отладить процессы для здания [10].

Исследования объекта нужно только если у здания есть прототип. Например, точно такое же уже сданное в эксплуатацию здание. Тогда разработчики составляют подробную картину этого прототипа, воспроизводят все процессы, учитывают все характеристики [11].

Если у объекта нет прототипа, то моделирование копии будет первым при создании цифрового двойника. Для зданий создаётся 3D-модель, а уже потом возводится оригинал

На этапе возведения проекта разработчики переносят её на специальную платформу: Siemens, Dassault Systemes или другую. Тут математическая модель интегрируется с интерфейсом будущего здания, цифровой двойник получает динамику [12].

На этапе тестирования строятся прогнозы, как поведёт себя реальное здание в различных условиях. Для этого к процессу подключаются технические аналитики. В ходе испытаний они собирают данные, а потом просчитывают все возможные ситуации. От этого этапа зависит, насколько часто дальше в реальном здании будут случаться поломки и сбои, поэтому тестирование нужно провести качественно [12].

После запускается цифровой двойник. Не все поломки можно предугадать и спрогнозировать, во время запуска двойника процесс сбора данных продолжается [12].

Отладить процессы для здания. Прогноз по поломкам составлен, теперь инженеры работают с цифровым двойником как с настоящим зданием, отлаживают процессы, вносят в объект изменения, чтобы сделать его максимально эффективным [12].

Перед повсеместным внедрением данной технологии при эксплуатации здания и сооружений необходимо рассчитать рентабельность. Так как одна из важнейших функций эксплуатации - обеспечение безопасного и комфортного проживания людей в здании, то в качестве индикатора эффективности возьмем время обнаружения очага пожара.

Индикатором влияния внедрения цифровых технологий является рост эффективности, поэтому, по мнению авторов, для оценки эффективности цифровых технологий, справедливо использовать процент прироста производительности труда от внедрения цифровых технологий, рассчитанный по формуле 1 [13]:

$$Z = (((S + s) / (T + t) - 1)) * 100 \%, \quad (1)$$

где T – время обнаружения очага пожара до внедрения цифровых двойников;

t – изменение времени на обнаружение и устранение неисправности за счет внедрения цифровых решений;

S – площадь пожара по прошествии времени его местонахождения;

s – изменение площади пожара по прошествии времени его местонахождения за счет внедрения цифровых решений.

Согласно [14], время обнаружения очага пожара составляет 81 минуту. При использовании цифровых двойников время на сканирование и анализ составляет 1 минуту.

Определим путь L , пройденный фронтом пламени за время свободного развития пожара ($t_{св1} = 81$ мин, $t_{св2} = 5$ мин). Обратимся к формуле 2 [15],

$$L = 5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot t_{св}, \quad (2)$$

где $V_{л}$ – линейная скорость распространения фронта пламени (пожара) равна 1,2 м/мин, согласно условиям задачи;

$$L_{т1} = 5 \cdot 1,2 + 1,2 \cdot 81 = 5 \cdot 1,2 + 1,2 \cdot 81 = 103,2 \text{ м},$$

$$L_{т2} = 5 \cdot 1,2 + 1,2 \cdot 1 = 5 \cdot 1,2 + 1,2 \cdot 5 = 12 \text{ м},$$

Площадь пожара на может быть определена по следующей формуле 3 [15]:

$$S_{п} = L_{т} \cdot a, \quad (3)$$

где a – ширина помещения, 10 м.

$$S_{п1} = 103,2 \cdot 10 = 1032 \text{ м}^2$$

$$S_{п2} = 12 \cdot 10 = 120 \text{ м}^2$$

$$Z = (((1032 - 120) / (81 - 76)) - 1) * 100 \%, = 2300\%$$

Таким образом, эффективность внедрения цифровых технологий улучшает показатели обнаружения очага пожара почти в 23 раза.

Заключение

В России также понемногу начинают применяться цифровые двойники строящегося объекта. Например, в 2012 году группа компаний «Эталон» строила ЖК «Галант» и использовала BIM: строители применяли аналитику план-факт, делали 4D-модель. Исходя из определения цифрового двойника, это было близко к нему.

Цифровые двойники только начинают входить в широкое применение. В горной промышленности есть практика, когда идет привязка цифрового двойника к искусственному интеллекту. Цифровой двойник при ЧС помогает оперативно принимать решения на основании больших данных. Компьютер понимает, как устроен объект, в каком

состоянии его компоненты, и сам принимает решение.

В экстренных ситуациях, таких, как пожар, технология цифровых двойников помогает максимально быстро и эффективно выявить очаг возникновения пожара, что помимо обеспечения безопасности также влияет на уменьшения затрат на компенсацию материального ущерба.

Литература

1. Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Раевский М.А. Средства объективного контроля изменений (строительства) объектов на базе ГИС-моделей ArcReview | № 1 (68) за 2014 год
2. Быстрова Ю.А., Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Синягов С.А., Раевский М.А., Липатов С.И., Савельев С.И. Компонентный BIM/GIS-подход к информационному моделированию сооружений. ArcReview | № 2 (73) за 2015 год.
3. Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Синягов С.А. Применение комбинированных технологий BIM-ГИС в строительной отрасли для различных категорий заинтересованных лиц: Обзор состояния в мире № 2 (73) за 2015 год.
4. Glaessgen E., Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air Force vehicles. Proc. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA, 2012, pp. 1818. doi: 10.2514/6.2012-1818
5. Cai Y., Starly B., Cohen P., Lee Y.-S. Sensor data and information fusion to construct digital-twins virtual machine tools for cyberphysical manufacturing. Procedia Manufacturing, 2017, vol. 10, pp. 1031–1042. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.094
6. Zhang H., Liu Q., Chen X., Zhang D., Leng J. A digital twin-based approach for designing and multi-objective optimization of hollow glass production line. IEEE Access, 2017, vol. 5, pp. 26901–26911. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2766453
7. Guo J., Zhao N., Sun L., Zhang S. Modular based flexible digital twin for factory design. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 1189–1200. doi: 10.1007/s12652-018-0953-6
8. Uhlemann T.H.J., Schock C., Lehmann C., Freiburger S., Steinhilper R. The digital twin: demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems. Procedia Manufacturing, 2017, vol. 9, pp. 113–120. doi: 10.1016/j.promfg.2017.04.043
9. Kraft E.M. Developing a digital thread / digital twin aerodynamic performance authoritative truth source. Proc. 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 2018, pp. 4003. doi: 10.2514/6.2018-4003
10. Hu L., Nguyen N.T., Tao W., Leu M.C., Liu X.F., Shahriar M.R., Al Sunn S.M.N. Modeling of cloud-based digital twins for smart manufacturing with MT connect. Procedia Manufacturing, 2018, vol. 26, pp. 1193–1203. doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.155
11. Cheng J., Chen W., Tao F., Lin C.-L. Industrial IoT in 5G environment towards smart manufacturing. Journal of Industrial Information Integration, 2018, vol. 10, pp. 10–19. doi: 10.1016/j.jii.2018.04.001
12. Добрынин, А.П., et al. «The Digital Economy-the various ways to the effective use of technology (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA, and others).» International Journal of Open Information Technologies 4.1 (2016): 4-11.
13. Куприяновский В.П., Аленков В.В., Климов А.А., Соколов И.А., Зажигалкин А.В. Цифровая железная дорога – ERTMS, BIM, GIS, PLM и цифровые двойники. Современные информационные технологии и ИТ-образование 2017 Том 13 № 3. С. 129- 166.
14. Истомина Е.А. Оценка трендов цифровизации промышленности / Е. А. Истомина. – Вестник Челябинского государственного университета, 2018, № 12, с. 108–116.
15. Kalmykov S. P., Esin V. M. Fire detection time. Pozharovzryvobezопасnost / Fire and Explosion Safety, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 52–63 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63
16. Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382 (ed. 02.12.2015) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (Accessed 20 June 2017).