

Научная статья

УДК 658(075.8)

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2024-16-2-189-197>

CC BY 4.0

Цифровой двойник здания как основа применения нанотехнологий в строительстве

Алена Валерьевна Котляревская , Константин Евгеньевич Клименко* 

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: kos--x@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью проведенного исследования является анализ возможностей, которые предоставляет система «цифровой город», и перспектив применения нанотехнологий. Задачей проведенного исследования является определение возможности цифровизации в управлении городом и порядка принятия более обоснованных решений касательно эксплуатации недвижимости. Возможности практического применения результатов исследования обусловлены целесообразностью внедрения авторского подхода к анализу работы городских систем вообще и «умного дома», в частности. **Методы и материалы.** В статье с использованием методов технологий «цифровых двойников» рассмотрено понятие «цифрового двойника здания», его функции, составляющие, особенности построения и работы; охарактеризовано понятие цифровизации, а также механизмы внедрения инноваций в жизнь городов; показано, что «цифровой город» включает разнообразные инновационные технологии: интернет вещей, искусственный интеллект, аналитику данных, облачные вычисления и т.д. Технологии, которые использует «цифровой город», не только собирают данные о жизни города, но используют эти данные для управления электроснабжением, сбором отходов, обеспечением безопасности людей, а также, как будет понятно из статьи, транспортной системы. **Обсуждение.** Цифровизация в управлении городом помогает создать более удобную и устойчивую городскую среду, к чему стремятся правительства многих стран. Внедрение сенсоров, датчиков, анализ полученных с них данных дает возможность улучшить качество жизни горожан и повысить эффективность использования ресурсов. Как приятный «бонус», все это позволяет сделать среду жизни граждан более экологичной, решить вопрос, который стал «зубной болью» многих правительств, – вопрос экологизации существования людей в городе. Ведь снижение количества пробок автоматически снижает и количество выбросов углекислого газа в воздух, а включение городского освещения по сигналу от сенсора дает экономию электричества из-за снижения количества потребленных киловатт, потому что лампочки не горят зря. Для устранения данных проблем предлагается использование нанотехнологий, что позволит придавать обычным строительным материалам новые уникальные свойства. Появление нанотехнологий и их применение может решить проблему энергосбережения в строительной области. Кроме того, нанотехнологии не только позволяют получать новые продукты с уникальными свойствами, но и повышают эффективность используемых материалов в строительстве. В данной связи ключевым вопросом для определения места применения нанотехнологий является изыскание их возможностей встраивания в систему цифровизации управления городом, которая итак уже имеет применение множества инноваций и новых технологий, которые помогают оптимизировать работу городских служб и повышать качество жизни горожан. **Выводы.** Автор делает вывод, что предоставление услуг многих городских сервисов основывается на технологиях 3D проектирования, а также данных, собранных в рамках системы «цифровой город».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: здание, «цифровой город», «цифровой двойник» здания, цифровизация, искусственный интеллект, виртуальная копия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Котляревская А.В., Клименко К.Е. Цифровой двойник здания как основа применения нанотехнологий в строительстве // Нанотехнологии в строительстве. 2024. Т. 16, № 2. С. 189–197. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2024-16-2-189-197>. – EDN: AAERVA.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация сегодня достигает нас везде. Сегодня очень популярно понятие «цифровой го-

род». За границей оно идет рука об руку с понятием «зеленых технологий». «Цифровой город» – это возможность управлять городской инфраструктурой и самыми распространенными городскими серви-

© Котляревская А.В., Клименко К.Е., 2024

сами с помощью цифровых технологий, дистанционно. Целью создания «цифрового города» явилось желание улучшить качество жизни людей, оптимизировать работу городских служб, сделать ее лучше и дешевле.

«Цифровой город» помогает повысить эффективность использования имеющихся в распоряжении города ресурсов как материальных, так и нематериальных. Обеспечение устойчивого развития городского хозяйства сегодня также невозможно без использования «цифрового города», равно как и нанотехнологий при его проектировании. Например, в сфере управления транспортной инфраструктурой также используются информационные технологии, входящие в систему «цифрового города». Они позволяют изменять длительность проезда транспорта через те или иные перекрестки в зависимости от времени дня, что дает возможность избежать пробок, открывая проезд через перекрестки в наиболее загруженные часы. Ну а наиболее загруженные часы программа вычисляет автоматически, анализируя данные камер на перекрестке, а также используя данные «Яндекс.навигатора», собранные со многих машин в данном районе по часам дня и дням недели. Эта статистика по пробкам, будучи с умом проанализирована, помогает снизить загруженность дорог.

Неотделимо от понятия «цифровизация» и «цифровой город» понятие «цифровой двойника». «Цифровой двойник» сегодня используется в различных сферах: в медицине, науке, технологиях, бизнесе. «Цифровой двойник» представляет собой что-то типа моделирования, но в более углубленном варианте. «Цифровой двойник» помогает улучшить работу своего реального прототипа, например, снижает очередь на предоставление услуг, если мы говорим о медицинских услугах, либо персонализирует взаимодействие с клиентами, если мы говорим о работе с клиентами банка. В любом случае, «цифровой двойник» повышает эффективность работы своего прототипа во всех сферах, где он задействован.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Цифровизация в управлении городом относится к процессу внедрения цифровых технологий для оптимизации работы городских служб. Такое внедрение происходит на уровне города и поддерживается правительством страны [1, 9]. Это влечет за собой повышение эффективности использования ресурсов и улучшение качества жизни горожан. Как уже было сказано выше, цифровизация городской среды включает в себя внедрение интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта (ИИ), облачных вычислений, аналитику данных и других инновационных решений.

Приведем некоторые примеры применения цифровизации в управлении городом.

Упомянутый нами «умный транспорт». Здесь можно выделить не только установку сенсоров для мониторинга трафика, оптимизацию работы светофоров, но и внедрение электронных систем оплаты проезда.

«Умное освещение». В городах сегодня широко применяются сенсоры и датчики движения для автоматического управления освещением в зависимости от наличия людей или уровня освещенности.

Управление энергоснабжением включает в себя километры smart-сетей для мониторинга и оптимизации потребления энергии, а также — использование энергосберегающих технологий.

Электронное правительство подразумевает под собой внедрение электронных сервисов для облегчения взаимодействия горожан с муниципалитетами: это и онлайн-заявки на услуги, электронные платежи, портал «ГосУслуги».

Также здесь можно упомянуть и систему «умного городского паркинга»: ведь использование сенсоров для определения наличия свободных мест, предоставления информации в режиме реального времени о доступных парковочных местах очень помогает водителям быстро припарковаться на перехваточных парковках или/и найти место в загруженных частях города.

ОБСУЖДЕНИЕ

Можно сделать промежуточный вывод, что цифровизация в управлении городом помогает создать более удобную и устойчивую городскую среду, к чему стремятся правительства многих стран. Внедрение сенсоров, датчиков, анализ полученных с них данных дает возможность улучшить качество жизни горожан и повысить эффективность использования ресурсов. Как приятный «бонус», все это позволяет сделать среду жизни граждан более экологичной, решить вопрос, который стал «зубной болью» многих правительств: вопрос экологизации существования людей в городе. Ведь снижение количества пробок автоматически снижает и количество выбросов углекислого газа в воздух, а включение городского освещения по сигналу от сенсора дает экономию электричества из-за снижения количества потребленных киловатт, потому что лампочки не горят зря.

Для устранения данных проблем предлагается использование нанотехнологий, что позволит придавать обычным строительным материалам новые уникальные свойства. Появление нанотехнологий и их применение может решить проблему энергосбережения в строительной области [3, 16].

Кроме того, нанотехнологии не только позволяют получать новые продукты с уникальными свойствами, но и повышают эффективность используемых материалов в строительстве [14].

В данной связи ключевым вопросом для определения места применения нанотехнологий является изыскание их возможности встраивания в систему цифровизации управления городом, которая итак уже имеет применение множества инноваций и новых технологий [17], которые помогают оптимизировать работу городских служб и повышать качество жизни горожан. Некоторые из них включают:

- Интернет вещей (IoT). Под этим понимается внедрение сети устройств, оборудованных сенсорами и связанных с Интернетом, что позволяет собирать информацию и анализировать различные аспекты городской инфраструктуры. Освещение, транспорт, управление вывозом мусора и многое другое сегодня в городах подвергаются оптимизации.
- Большие данные (BigData) и аналитика также используются в городах. Сбор и анализ больших объемов данных помогают городским службам принимать обоснованные решения, делая жизнь людей в чем-то проще и дешевле. Сюда же можно отнести и применение Blockchain-технологий. Применение блокчейн-технологий позволяет обеспечить безопасность и целостность данных. С помощью их улучшается обмен информацией, транзакции городских служб.
- Искусственный интеллект в цифровом управлении городом позволяет автоматизировать процессы, оптимизировать планирование и прогнозирование. Он также используется в управлении трафиком и обеспечении безопасности [12, 17].

В общем и целом, внедрение «умных» городских систем, таких как управление транспортом и освещением, системы энергоэффективности делают управление городом более эффективным. А системы контроля здоровья, которые внедрены в поликлиниках, делают жизнь граждан безопаснее. Но особенно быстрыми темпами сегодня происходит внедрение так называемых «цифровых двойников» в строительстве. Они представляют собой виртуальное представление физического объекта, например, здания, созданное с использованием цифровых технологий. «Цифровой двойник» может включать в себя подробную информацию о конструкции: о материалах постройки, системах кондиционирования, водоснабжения и фильтрации и иных процессах, связанных с данным строением. В более детальном варианте «цифровой двойник» позволяет детализировать каждый элемент здания, вплоть до комнаты.

Особо отметим, что при использовании BIM-технологий на этапе проектирования, информация

может быть эффективно использована на этапе эксплуатации объекта. Повышение стоимости объекта может быть достигнуто путем внедрения цифрового двойника, который объединяет данные всех систем на объекте и содержит только актуальную информацию. Цифровой двойник может быть использован для моделирования различных условий эксплуатации здания и таким образом увеличить его капитальную стоимость при продаже. Цифровой двойник точно воспроизводит форму и действия оригинала и синхронизирован с ним.

На этапе проектирования часто возникает необходимость создания BIM-модели, которая служит основой для создания цифрового двойника. К ней добавляется информация о текущем состоянии объекта и получается цифровой двойник:

- на этапе стройки – о реальном процессе возведения объекта и решениях, которые не были заложены в изначальном проекте;
- на этапе эксплуатации – данные о текущем состоянии и об изменениях конструкций после сдачи объекта, об установленном оборудовании и его состоянии, о статусе работы датчиков и умных устройств.

Таким образом, «цифровой двойник» в строительстве применяется на разных стадиях строительного проекта. Он дает возможность инженерам и строителям взаимодействовать с объектом в виртуальной среде, моделируя различные ситуации для принятия более точных решений [5, 18, 20].

«Цифровой двойник» в строительстве может быть создан с использованием различных технологий. И это не только программное обеспечение. Например, технология Building Information Modeling (BIM), а также – комплексное 3D-сканирование, датчики IoT, аналитика данных. Созданный «цифровой двойник» предоставляет ценную информацию для оптимизации строительства. Самые эффективные инструменты для оптимизации процессов строительства и улучшения эффективности и качества проектов подразумевают автоматизацию строительных процессов. Автоматизация обычно происходит с использованием специализированных программ: например, это PlanGrid и Procore. Специалисты автоматизируют различные задачи, включая управление документацией, отслеживание изменений, обновлений проекта, управление доставкой материалов. Обновляются различные процессы, позволяющие сократить время и улучшить качество работ при строительстве здания.

Подчеркивая роль нанотехнологий, следует отметить, что, несмотря на то, что они активно внедряются в строительную отрасль, пока их доля не превышает 1%. Но на них возлагаются большие надежды, поскольку наноматериалы способны не только улуч-

СИСТЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

шить качество объектов, но и сократить потребление ресурсов.

Использование «цифрового двойника» здания при строительстве с перспективой применения нанотехнологий имеет много преимуществ, которые мы перечислим на рис. 1.

«Цифровой двойник» в строительстве выполняет ряд важных функций. Эти функции улучшают процессы и результаты проектов [11, 12]. Мы перечислили эти функции на рис. 2.

«Цифровой двойник» в строительстве содержит ценную информацию для специалистов. Исходя из полученной информации, строители могут внедрять инструменты для оптимизации процессов и повышения качества проектов. Эти инновации

в конечном итоге сокращают затраты, снижают риски и улучшают эффективность строительства в целом [4, 19].

Если говорить об эксплуатации дома после его сдачи, то нужно сказать, что «цифровой двойник» в управлении домом представляет собой виртуальную копию реального дома, которая создана с помощью цифровых технологий и показывает основные «узлы» дома, с учетом сроков проверки и замены ключевых элементов.

Виртуальная копия дома не просто создается с помощью компьютерного моделирования, но и включает в себя точные размеры, форму, расположение комнат, окон и дверей, а также параметры отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Стадия «Проектирование». Цифровой двойник здания позволяет архитекторам и инженерам создавать и визуализировать модели здания, исследовать различные варианты и принимать информированные решения до начала фактического строительства. Это позволяет сократить количество ошибок и улучшить качество проекта.

Стадия «Строительство». Цифровые двойники здания могут использоваться для планирования и координации процессов строительства, установки оборудования и расстановки материалов. Это помогает оптимизировать процессы, сократить время строительства и улучшить координацию между различными командами.

Стадия «Управление проектом». Цифровые двойники здания можно использовать для ведения учета изменений, обновлений и документации проекта. Это помогает управлять проектом более эффективно, отслеживать прогресс работ и вносить необходимые изменения.

Стадия «Эксплуатация и обслуживание». Цифровой двойник здания может быть использован для управления и обслуживания здания после его строительства. Он может служить источником информации о системах здания, оборудовании, энергоэффективности и других характеристиках, что помогает оптимизировать процессы обслуживания, улучшить эффективность работы здания и снизить затраты на обслуживание.

Стадия «Реновация и обновление». Цифровые двойники здания позволяют проектировать и внедрять реновационные проекты более эффективно. Они помогают визуализировать изменения, анализировать влияние и осуществимость различных вариантов реновации, а также предоставляют точную информацию о существующих системах и структурах здания.

Рис. 1. Преимущества использования «цифрового двойника»

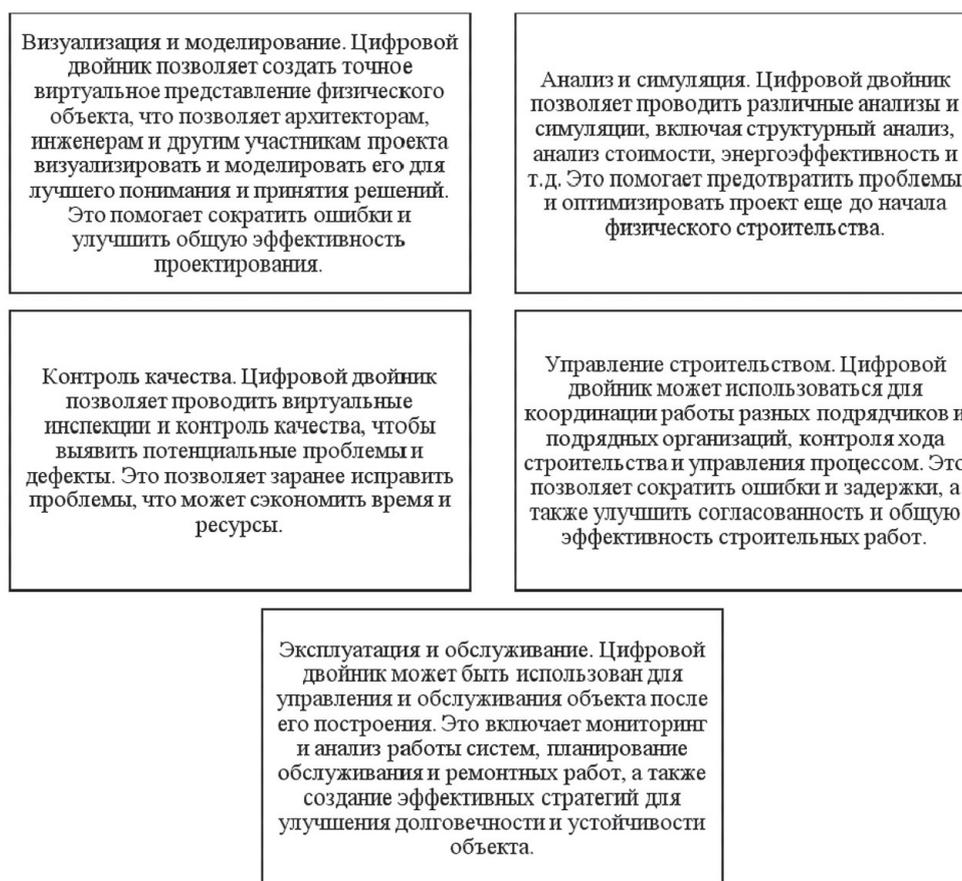


Рис. 2. Функции использования «цифрового двойника» в строительстве

Иногда она может детализироваться и до включения таких элементов, как мебель, электроприборы и освещение [18, 20].

«Цифровой двойник» здания «взаимодействует» с физическими устройствами и системами, установленными в доме. В идеале он даже может управлять различными видами техники. Так как «цифровой двойник» связан с устройствами «умного дома» (сегодня в него включаются системы освещения, отопления и кондиционирования воздуха, системы безопасности, аудио-видео оборудование и другие устройства, управляемые через сеть), то он анализирует данные с их физических аналогов. После анализа система «умного дома» предлагает оптимальные решения для управления домом, учитывая потребности его обитателей, а также уже собранную статистику пользования ключевыми системами. «Цифровой двойник» за счет этого автоматизирует рутинные задачи, может контролировать энергопотребление в доме. Также, если это предусмотрено, то он создает персональные сценарии для повышения комфорта в здании.

«Цифровой двойник» в управлении домом создается на основе различных технологий. Сегодня

это интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ) и аналитика данных. При создании «цифровых двойников» зданий применяются различные программы и технологии:

BuildingInformationModeling (BIM). Они детализируют процесс создания и управления цифровой моделью здания. К классу этих BIM программ относятся AutodeskRevit, ArchiCAD и BentleyMicrostation [2, 10].

Очень популярная технология 3D-моделирования и визуализации. Сюда относятся такие программы, как SketchUp и AutoCAD. Они позволяют создавать трехмерные модели зданий, которые потом специалисты используют для визуализации и анализа [6, 13].

Реже используют геоинформационные системы (ГИС). Этот класс программ позволяет пользователю создавать и анализировать пространственные данные зданий: информацию о местоположении, геометрию. Сюда относят EsriArcGIS и QGIS.

Есть и специальные системы управления строительством, или ConstructionManagementSystems. Это, к примеру, программы Procure и PlanGrid. Они применяются для цифрового управления строительного процесса на всех этапах, включая планирование, бюджетирование, работу с сотрудниками [8, 9].

С учетом изложенного, предлагается использовать следующий алгоритм создания информационной инфраструктуры цифрового двойника здания в строительной сфере (рис. 3).

Для создания дополненной реальности при взаимодействии с «цифровым двойником» здания следует использовать такие инструменты, как Unity и UnrealEngine. Дополненная реальность способствует визуализации при работе с «цифровым двойником».

Обобщая охарактеризованные подходы, автором статьи предлагается следующая методология создания цифрового двойника в строительной сфере (рис. 4).

Предложенная методология создания цифрового двойника позволяет в графическом виде представить поэтапное проектирование данного процесса (рис. 5).

В каждом конкретном проекте выбирают разные программы. Выбор зависит от запросов строителей и особенностей проекта, а также от доступных ресурсов и необходимого уровня точности при детализации «цифрового двойника» объекта.

Кроме того, особо отметим, что во время эксплуатации здания цифровой двойник поможет управляющей компании делать точные прогнозы при организации и проведении капитальных работ.

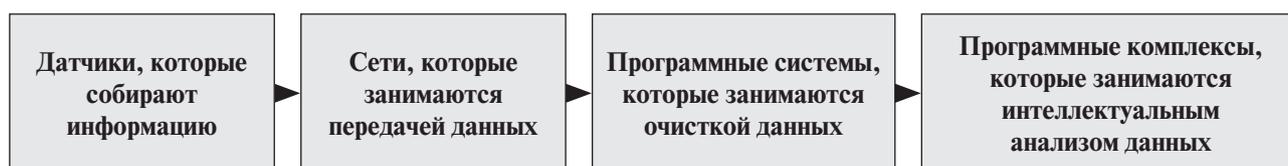


Рис. 3. Алгоритм создания информационной инфраструктуры цифрового двойника здания в строительной сфере

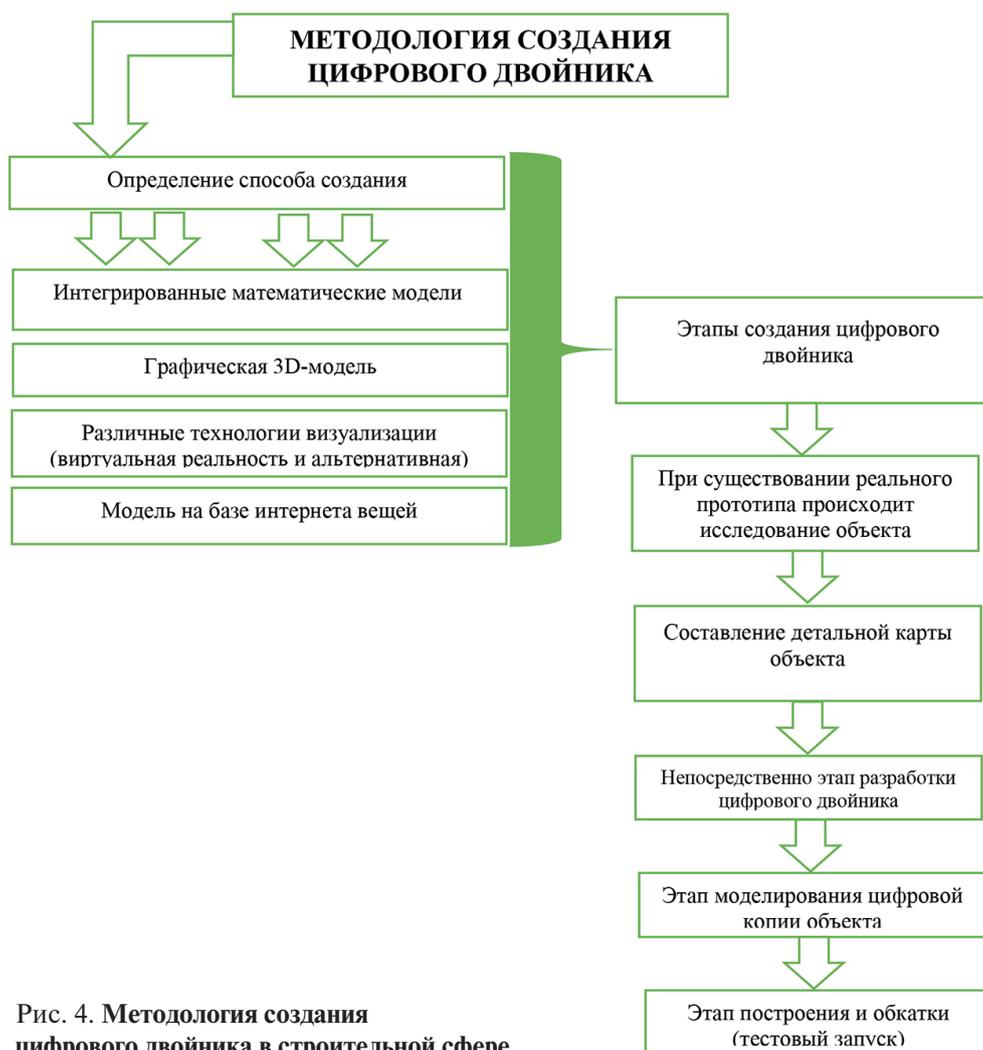


Рис. 4. Методология создания цифрового двойника в строительной сфере

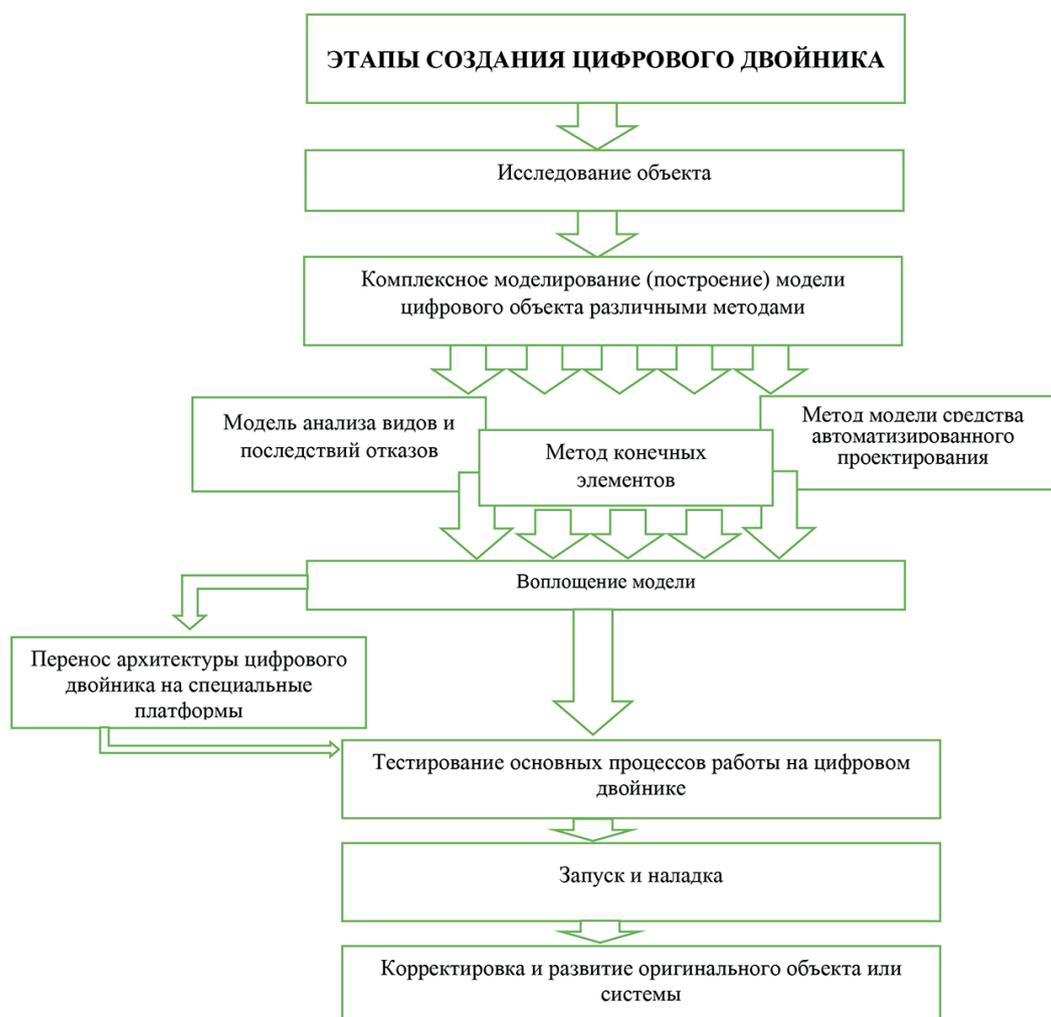


Рис. 5. Поэтапное проектирование процесса создания цифрового двойника

Можем сделать вывод о том, что, внедрив технологию цифровых двойников, можно решать ряд ключевых задач, таких как:

- проектировать и строить здания сразу с учетом различных 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 счет прогнозирования потребительских запросов к зданию;
- рассчитать возможность возникновения чрезвычайных ситуаций и вовремя среагировать, чтобы спасти людей.

ВЫВОДЫ

Итак, система «цифровой город» в мегаполисах сегодня может предоставлять такие возможности, как беспроводной доступ в Интернет, электронное правительство, электронные платежи, интеллектуальные системы управления трафиком, а также «умные здания» или систему «умный дом». Мониторинг и управление окружающей средой, которые улучшают качество жизни горожан и делают город более уютным, был бы без этой системы неполным.

Цифровизация в управлении городом позволяет анализировать работу разных городских систем, а «умный дом» делает все то же самое, но на уровне дома: проверяет энергоснабжение и систему кондиционирования, следит за обеспечением безопасности и управлением отходами. Эта система сначала производит сбор данных, затем проводит их анализ. Это позволяет принимать более обоснованные решения касательно эксплуатации недвижимости.

Считаем, что разработку цифрового двойника активов для эффективного управления жизненным циклом объекта недвижимости следует проводить на основе цифрового двойника проекта строительства актива, на этапе сдачи актива в эксплуатацию.

Изучение порядка внедрения и уровней зрелости информационного моделирования показало, что необходимо создание комплекса технологических, экономических и организационных изменений для успешного переходного процесса к использованию BIM-технологий. Одним из приоритетных направлений является разработка организационно-экономического механизма, основанного на принципах стандартизации и учете возможного экономико-технологического потенциала компании при обосновании стратегий информационного моделирования.

Для достижения эффективного контроля над недвижимостью необходимо иметь информационную модель активов, которая отражает текущее состояние физического актива. Важно своевременно вносить все изменения и актуальную документацию об активе в информационную модель активов в процессе эксплуатации недвижимости, включая техническое обслуживание, ремонт, реконструкцию и модернизацию. Данный подход обеспечивает эффективное управление жизненным циклом недвижимости. Использование системы цифрового двойника активов позволяет добиться экономии средств, снижения убытков и получения наибольшей отдачи от расходов при управлении недвижимостью.

Решающую роль в улучшении обмена информацией между структурными подразделениями организации и ее управленческим аппаратом играет внедрение цифрового двойника активов для эффективного управления жизненным циклом объекта недвижимости. Благодаря этому сбор точной базы данных, необходимой для работы над проектом, становится возможным. Более строгий контроль временных и финансовых рамок выполнения работ обеспечи-

вается с помощью инструментов цифрового двойника активов.

Предлагаемый состав необходимых показателей (описательные вехи, характеризующие проект в общих чертах; документарная база, лежащая в основе проекта главная идея проекта; сроки воплощения проекта в жизнь; проблемные участки проекта; рыночная динамика; территориальные особенности; характеристики земельного участка; цена земли; финансовая смета; возможности уменьшения расходов по каждой статье и их оптимизации; возможности повышения надежности проектных операций и минимизации рисков; прогнозные показатели возможной прибыли; стратегия движения денежных потоков; величина налоговой нагрузки) в полной мере соответствует намеченной цели процесса оценки эффективности фактической реализации реализуемой на практике инвестиционной политики компании, так как в полной мере отражает совершенно все стороны осуществляемого инвестиционного процесса в компании.

Использование «цифрового двойника» здания на разных этапах жизненного цикла строительства способствует более точному управлению проектом, что повышает эффективность и качество строительства, снижая риски и затраты. «Цифровой двойник» визуализирует проект, давая возможность проверить его несоответствие всем требованиям. Имея под рукой такой макет, строители и архитекторы могут выявить потенциальные проблемы еще до физического строительства (например, с устойчивостью). На стадии возведения он применяется для управления процессом строительства, контроля качества и для координации работы подрядчиков. Примеров применения «цифрового двойника» в управлении домом после его сдачи является система «умный дом», где каждое устройство может быть связано с «цифровым двойником» для обмена данными и управления. Все это позволяет оптимизировать работу объекта недвижимости и предсказывать потребности жильцов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Указ Президента Российской Федерации «О модернизации строительной отрасли и повышении качества строительства» от 19.07.2018 № Пр-1235: Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/tsifrovuyu-platformu-obedinyayushchuyu-informatsionnye-sistemy-v-oblasti-stroitelstva-sozdadut-k-202/> (дата обращения 05.02.2024).

2. BIM-технологии в России. URL: <https://bim-info.ru/articles/bim-tekhnologii-v-rossii/> (дата обращения 05.02.2024).

3. Веселова К.А. Нанотехнологии и перспективы их применения в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 26–32.

4. Важнин О.В. Цифровизация как путь повышения эффективности строительных проектов / О.В. Важнин // Студент года 2019: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса: в 3 ч., Петрозаводск, 17 ноября 2019 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2019. С. 155–159.
5. Деменев А.В., Артамонов А.С. Информационное моделирование при эксплуатации зданий и сооружений // Науковедение. 2015. Т. 7. № 3. С. 1–9.
6. Зиганшин М.Г. «Информационное моделирование в отоплении и вентиляции». – 2-е изд. Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет. 2019. 352 с.
7. Как применяют нанотехнологии в строительстве URL: <https://rg.ru/2023/10/09/reg-szfo/kak-primeniajut-nanotehnologii-v-stroitelstve.html?ysclid=lt97q3emg7822435961&erid=4CQwVszH9pUmpcrCxJy> (дата обращения 05.02.2024).
8. Кирколуп Е.Р. Учебное пособие «Информационное моделирование объектов строительства». Барнаул: АлтГТУ, 2020. 67 с.
9. Кокорев Д.С. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса / Д.С. Кокорев, А.А. Юрин // Colloquium-Journal. 2019. № 102 (34). С. 101–104.
10. Королев Д.С. BIM-технологии при эксплуатации зданий и сооружений. Внедрение технологии информационного моделирования в сфере ЖКХ / Д.С. Королев, А.В. Липатова // Master'sJournal. 2019. № 2. С. 56–68.
11. Лаврова А.В. Значение BIM-модели для российских служб эксплуатации здания / А. В. Лаврова. // Молодой ученый. 2023. № 21 (468). С. 96–97.
12. Лаврова А.В. Цифровой двойник здания / А.В. Лаврова // Молодой ученый. 2023. № 23 (470). С. 34–36.
13. Манин П. Цифровой двойник объекта для стадии эксплуатации // СОК. 2022. № 1. С. 26–27.
14. Нанотехнологии в строительстве. URL: <https://dzen.ru/a/YZQRwonowmUXrunk> (дата обращения 05.02.2024).
15. Наноматериалы в строительстве: что уже используют и за чем будущее. URL: <https://plus-one.ru/manual/2022/04/08/nanomaterialy-vstroitelstve?ysclid=lt977ub5ic598418143> (дата обращения 05.02.2024).
16. Стрельченко О.В., Саньков П.Н. Использование нанотехнологий в строительстве, их виды, перспективы и безопасность применения. URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016024354?ysclid=lt97nlf9d638055905> (дата обращения 05.02.2024).
17. Цифровой двойник. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения 05.02.2024).
18. Хоревич В. В. Цифровой двойник здания на стадиях проектирования и эксплуатации: Материалы 79-й научно-практической конференции студентов Минска, 20 апреля 2023 г. // Белорусский национальный технический университет; сост.: Е.С. Голубцова, А.Н. Шавель. Минск БНТУ, 2023. С. 765–769.
19. Цифровое Строительство. URL: <https://digital-build.ru/czifrovoj-dvojn timer-zdaniya-kak-tehnologiya-pri-menyatsya-v-stroitelstve/> (дата обращения 05.02.2024).
20. Черникова А.А. Информационное моделирование на стадии эксплуатации здания / А.А. Черникова. // Молодой ученый. 2022. № 49 (444). С. 66–68.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Котляревская Алена Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, департамент строительства, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия, elinka2205@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5192-0550>

Клименко Константин Евгеньевич – аспирант, департамент строительства, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия, kos-x@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1063-4627>

ВКЛАД АВТОРОВ

Котляревская А.В. – научное руководство, обоснование концепции исследования формулирование идеи, исследовательских целей и задач, редактирование исходного текста, формулирование итоговых выводов.

Клименко К.Е. – литературный обзор, сбор и систематизация данных, разработка методологии исследования, формулирование исследовательских целей и задач, написание исходного текста статьи, формулирование промежуточных выводов, оформление итогового текста статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 11.03.2024; одобрена после рецензирования 05.04.2024; принята к публикации 11.04.2024.