

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Аннотация. Статья посвящена переходу от статичных информационных моделей к цифровым двойникам в эксплуатации строительных объектов. Рассматриваются практические задачи: выявление неисправностей, обслуживание по фактическому состоянию, оптимизация затрат. Анализируются барьеры внедрения: стоимость инфраструктуры, актуализация данных, интеграция систем. Обосновывается, что цифровой двойник становится драйвером системных изменений в управлении объектами.

Ключевые слова: информационное моделирование, цифровой двойник, эксплуатация, управление жизненным циклом, техническое обслуживание, сенсорные сети, предиктивная аналитика.

Annotation. The article is devoted to the transition from static information models to digital counterparts in the operation of construction facilities. Practical tasks are considered: identification of inaccuracies, maintenance based on actual condition, cost optimization. The barriers to implementation are analyzed: the cost of infrastructure, data updating, and system integration. The implication is that the digital twin is becoming a driver of systemic changes in facility management.

Keywords: information modeling, digital twin, operation, lifecycle management, maintenance, sensor networks, predictive analytics.

Современный этап развития строительной отрасли характеризуется повсеместным внедрением технологий информационного моделирования. Однако, как показывает практика, основной фокус применения этих технологий по-прежнему приходится на стадии проектирования и строительства, в то время как эксплуатационная фаза, занимающая до

восьмидесяти процентов жизненного цикла объекта и определяющая большую часть совокупных затрат, зачастую оказывается обделенной вниманием. Сложившаяся практика эксплуатации зданий нередко опирается на фрагментированную, устаревающую документацию, а создаваемая в процессе строительства информационная модель после сдачи объекта в эксплуатацию превращается в статичный архив, не находящий активного применения.

В этой связи ключевой задачей становится трансформация информационной модели из пассивного носителя данных в активный инструмент управления – цифровой двойник. Цифровой двойник строительного объекта представляет собой не просто трехмерную геометрию, дополненную атрибутивной информацией, а динамическую систему, которая непрерывно обновляется за счет данных, поступающих от физического объекта, и позволяет моделировать его поведение, прогнозировать состояние и оптимизировать процессы технической эксплуатации [1].

Одним из главных барьеров на пути эффективного использования информационных моделей в эксплуатации является их изначальная ориентация на потребности строительного производства. Информационная модель, создаваемая проектировщиками и строителями, детализирует параметры, критически важные для возведения объекта: геометрические размеры, классы бетона, марки арматуры, но зачастую не содержит сведений, необходимых службе эксплуатации. Для управляющей компании ключевое значение имеют дата ввода оборудования в эксплуатацию, график планово-предупредительных ремонтов, контактная информация поставщиков, условия гарантийного обслуживания, инструкции по техническому уходу. Отсутствие этих данных в модели или их представление в неструктурированном виде сводит на нет потенциал использования технологии. Следовательно, возникает острая потребность в адаптации информационной модели на этапе передачи объекта в эксплуатацию. Этот процесс предполагает не просто «добавление» недостающих атрибутов, а переосмысление структуры данных, переход к представлению, ориентированному на эксплуатационные задачи. Важно,

чтобы модель содержала не только сведения о том, как объект построен, но и информацию о том, как им управлять: какие элементы требуют регулярного осмотра, каков регламент обслуживания инженерных систем, какие запасные части необходимы для ремонта.

Решающий шаг от статической информационной модели к цифровому двойнику связан с интеграцией данных, поступающих в режиме реального времени от физического объекта. Эти данные собираются с помощью развернутых на объекте сетей сенсоров, контролирующих температурно-влажностный режим, уровень освещенности, вибрацию оборудования, потребление энергоресурсов, параметры работы систем вентиляции и кондиционирования. Такой подход превращает цифровую модель в «живой» инструмент, отражающий текущее состояние объекта, что позволяет перейти от реактивного обслуживания, осуществляемого по факту поломки, к проактивному управлению на основе данных. Принципиальным моментом здесь является не сам факт наличия сенсорных данных, а их корректная интеграция с информационной моделью. Необходимо обеспечить семантическую интероперабельность, то есть способность различных систем обмениваться и интерпретировать данные на единой смысловой основе. Данные с датчика температуры должны быть не просто числом, а параметром, жестко привязанным к конкретному элементу модели (например, к конкретному чиллеру или воздухораспределителю). Только в этом случае система сможет не только отобразить информацию на трехмерной модели, но и использовать ее для анализа и принятия решений [2].

Исследования показывают, что внедрение единых онтологий, обеспечивающих структурированное представление данных о здании, оборудовании, его производителях и регламентах обслуживания, способно кардинально повысить эффективность управления. В одном из практических примеров применение такой онтологии позволило сократить время получения кросс-доменной информации об объекте с почти полутора часов до чуть более

двух минут. Это наглядно демонстрирует, что узким местом становится не сбор данных, а их осмысленная агрегация и представление.

Реализация концепции цифрового двойника на стадии эксплуатации сталкивается с рядом вызовов. Одним из них является высокая стоимость и сложность развертывания инфраструктуры, особенно на существующих объектах, не оснащенных современными системами сбора данных. В качестве переходного решения предлагается использование «облегченных» подходов, например, интеграция модели с широко распространенными табличными процессорами для первоначального наполнения данными и управления процессами. Это позволяет начать системную работу без значительных капитальных вложений.

Критически важным аспектом является использование открытых форматов обмена данными, таких как Industry Foundation Classes (IFC). Применение открытых стандартов гарантирует, что созданная информационная модель и данные о ее эксплуатации не окажутся «запертыми» в проприетарном программном обеспечении и смогут быть использованы в различных системах управления на протяжении всего жизненного цикла объекта. Это особенно актуально для государственных и инфраструктурных проектов, где требования к долгосрочному хранению и доступности данных особенно высоки. Не менее важным является и организационный аспект: внедрение цифрового двойника требует изменения бизнес-процессов управляющих организаций. Необходимо пересмотреть регламенты работы технических служб, включив в них использование цифровой модели в качестве основного источника информации и инструмента планирования работ. Требуется обучение персонала, формирование новых компетенций в области работы с данными. Таким образом, цифровой двойник становится не просто технологическим решением, а драйвером организационных изменений, направленных на повышение эффективности и надежности эксплуатации строительных объектов [3].

Ключевое различие между информационной моделью и цифровым двойником заключается в их природе и функциональном назначении. Информационная модель выступает в роли статичного фундамента – это структурированный цифровой архив, который фиксирует проектные решения, геометрические и физические характеристики элементов, материалы, а также хронологию проведённых ремонтов и замен. Она представляет собой срез знаний об объекте на определённый момент времени, являясь своеобразным паспортом здания или сооружения. Цифровой же двойник является динамическим развитием этой базы. Он не просто хранит данные, а устанавливает живую двустороннюю связь с физическим объектом за счёт непрерывного потока информации от сенсорных сетей, систем автоматизации и диспетчерского управления. Таким образом, цифровой двойник наделяет модель способностью откликаться на изменения в реальном времени, превращая её из пассивного справочника в активный инструмент управления.

Таблица 1. – Различия между информационной моделью и цифровым двойником

Характеристика	Информационная модель	Digital Shadow (Тень)	Digital Twin (Двойник)
Поток данных	Ручной / только к модели	Автономный / только от объекта к модели	Автономный / двунаправленный
Реакция	Статична, не обновляется	Пассивно отображает состояние	Активно анализирует и управляет

Характеристика	Информационная модель	Digital Shadow (Тень)	Digital Twin (Двойник)
Функция	Документация и визуализация	Мониторинг в реальном времени	Прогнозирование и оптимизация

При этом связь между ними носит характер неразрывного единства и последовательного развития. Информационная модель служит тем концептуальным каркасом, той смысловой основой, на которую нанизываются все последующие эксплуатационные данные. Без качественно выстроенной и наполненной информационной модели создание полноценного цифрового двойника становится крайне затруднительным, поскольку неопределённость в исходных данных порождает недоверие к любым результатам моделирования. В свою очередь, цифровой двойник обеспечивает информационную модель актуальностью, позволяя ей не устаревать. По сути, двойник выполняет функцию механизма непрерывного обновления и верификации модели, благодаря чему она всегда отражает реальное техническое состояние конструкций и инженерных систем, а не только то, что было заложено в чертежах десятилетия назад [4].

Практический спектр задач, решаемых этими инструментами, охватывает все аспекты эффективной эксплуатации. На оперативном уровне цифровой двойник позволяет выявлять неисправности инженерного оборудования на ранних стадиях по отклонениям от нормативных параметров, фиксируемым датчиками, что предотвращает аварийные остановки. В стратегическом плане появляется возможность перехода от планово-предупредительных ремонтов по календарю к обслуживанию по фактическому состоянию, когда решение о вмешательстве принимается на основе объективных данных об износе агрегатов. Это напрямую ведёт к оптимизации

эксплуатационных расходов, включая энергопотребление и затраты на ремонтные службы. Кроме того, накопленная база становится бесценным подспорьем при реконструкции или модернизации, предоставляя точную информацию о скрытых коммуникациях и несущих конструкциях. Наконец, совокупность этих данных формирует электронный паспорт объекта, который служит достоверным источником для принятия управленческих решений на всех последующих этапах жизненного цикла и повышает общий уровень безопасности за счёт раннего обнаружения критических рисков [5].

Таким образом, переход от использования статичных информационных моделей к полноценным цифровым двойникам знаменует собой смену парадигмы в управлении эксплуатацией строительных объектов. Цифровой двойник превращает разрозненные данные о здании в единую информационную среду, позволяя не просто фиксировать события, но и прогнозировать развитие ситуаций, оптимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт, продлевать срок службы конструкций и инженерных систем. Несмотря на существующие технические и организационные барьеры, развитие сенсорных технологий, стандартизация форматов данных и появление практических кейсов внедрения создают необходимые условия для широкого распространения этой технологии. В перспективе именно цифровые двойники станут основой для создания «умных» и устойчивых зданий, способных адаптироваться к меняющимся условиям эксплуатации и требованиям пользователей.

Список источников:

1. Евстратов В.С., Стрелков А.П., Гинзбург Е.А., Железнов Е.М. Интеграция результатов строительного контроля в информационную модель объекта капитального строительства для создания его цифрового двойника. *Строительство: наука и образование*. 2026;16(2):144-155. <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2026.2.8>
2. Туливетер К. С., Курзенева Я. А., Кубина Е. А. Цифровой двойник объекта капитального строительства: от концепции до эксплуатации в рамках

национального проекта 2025 года «Инфраструктура для жизни» // Russian Journal of Construction Science and Technology. – 2025 – Т. 11 – № 2 – 1102010.

3. Лаврова, А. В. Цифровой двойник здания / А. В. Лаврова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2023. № 23 (470). С. 34-36.

4. Коротеев Д. Перспективы применения цифровых двойников в строительной отрасли / Коротеев Д.Д., Ким А.А., Васютин А.О. // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16.

5. Топчий, Д. В. Интеграция информационного моделирования зданий и цифрового двойника в процессе строительства проекта / Д. В. Топчий, О. Д. Альоода // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № 1. – URL: <https://esi.today/PDF/39SAVN125.pdf>.