

**Шарафутдинов Роберт Рамилевич**, Магистрант  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет

**Шарафутдинова Екатерина Андреевна**, Магистрант  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет

Научный руководитель:  
**Мансуров Камиль Абрарович**  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет

## **ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Аннотация.** В статье рассмотрено применение технологии цифрового двойника в эксплуатации строительных объектов. Проанализирована интеграция BIM-моделирования, мониторинга и автоматизированной диагностики в единую систему управления зданием. Определены преимущества цифровых двойников, включая повышение эффективности эксплуатации, снижение затрат и повышение безопасности объектов

**Ключевые слова:** Цифровой двойник, BIM-моделирование, эксплуатация зданий, жизненный цикл объекта, автоматизированная диагностика, мониторинг строительных объектов

### **Введение**

Современное развитие строительной отрасли характеризуется активным внедрением цифровых технологий в процессы проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства. Одним из наиболее перспективных направлений цифровизации является применение технологии цифрового двойника, позволяющей обеспечить непрерывное информационное сопровождение строительного объекта на протяжении всего жизненного цикла.

Традиционные методы эксплуатации зданий основаны преимущественно на периодическом техническом обследовании и планово-предупредительном ремонте, что не всегда позволяет своевременно выявлять дефекты конструкций и инженерных систем. В связи с этим возникает необходимость перехода к интеллектуальным системам управления эксплуатацией объектов, основанным на непрерывном мониторинге технического состояния здания и анализе эксплуатационных данных.

Технология цифрового двойника обеспечивает создание виртуальной модели объекта, синхронизированной с его физическим состоянием в режиме реального времени. Это позволяет повысить эффективность эксплуатации строительных объектов, снизить затраты на техническое обслуживание и минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций.

### **Понятие цифрового двойника строительного объекта**

Цифровой двойник представляет собой виртуальную информационную модель объекта, содержащую сведения о его геометрических, технических, эксплуатационных и функциональных характеристиках. В отличие от традиционной BIM-модели, цифровой двойник постоянно обновляется на основе данных, поступающих от систем мониторинга и автоматизированной диагностики.

Основными компонентами цифрового двойника являются:

- информационная BIM-модель здания;
- системы сбора данных и датчики мониторинга;
- программные средства аналитики;



- базы эксплуатационных данных;
- инструменты прогнозирования технического состояния объекта.

Функционирование цифрового двойника основано на непрерывном обмене информацией между физическим объектом и его цифровой моделью. Это обеспечивает возможность оперативного анализа технического состояния конструкций и инженерных систем, а также прогнозирования изменений эксплуатационных параметров.

### **Применение цифрового двойника на стадии эксплуатации зданий**

Наиболее значительный эффект от внедрения цифрового двойника достигается на стадии эксплуатации строительного объекта. В процессе эксплуатации происходит накопление значительного объема данных о работе инженерных систем, состоянии конструкций, потреблении ресурсов и характеристиках окружающей среды [1].

Использование цифрового двойника позволяет решать следующие задачи:

#### **1. Мониторинг технического состояния**

Система мониторинга обеспечивает непрерывный контроль параметров строительных конструкций и инженерных систем. Датчики фиксируют изменения температуры, влажности, вибраций, деформаций и других показателей.

Полученные данные передаются в цифровую модель объекта, где выполняется их обработка и анализ.

#### **2. Предиктивное обслуживание**

На основе анализа эксплуатационных данных цифровой двойник позволяет прогнозировать возможные отказы оборудования и элементов здания. Это обеспечивает переход от планово-предупредительного ремонта к предиктивному обслуживанию.

Данный подход позволяет:

- снизить затраты на ремонт;
- сократить количество аварийных ситуаций;
- увеличить срок службы оборудования;
- повысить надежность эксплуатации объекта.

#### **3. Управление энергоэффективностью**

Цифровой двойник позволяет анализировать показатели энергопотребления здания и выявлять неэффективные режимы работы инженерных систем [1].

Оптимизация параметров эксплуатации способствует:

- снижению потребления энергоресурсов;
- уменьшению эксплуатационных расходов;
- повышению экологической эффективности объекта.

#### **4. Поддержка управленческих решений**

Интеграция данных мониторинга с цифровой моделью обеспечивает возможность оперативного принятия решений по техническому обслуживанию, ремонту и модернизации объекта.

### **Интеграция BIM-моделирования и автоматизированной диагностики**

Основой формирования цифрового двойника строительного объекта является BIM-модель, содержащая полную информацию о конструктивных и инженерных элементах здания [2].

Интеграция BIM-технологий с системами автоматизированной диагностики обеспечивает:

- визуализацию текущего состояния объекта;
- локализацию дефектов конструкций;
- анализ эксплуатационных параметров;
- прогнозирование износа элементов здания;
- автоматизацию процессов технического обслуживания.

Важным преимуществом интегрированной системы является возможность централизованного хранения информации о строительном объекте на всех стадиях жизненного цикла.



### **Экономическая эффективность внедрения цифровых двойников**

Применение цифровых двойников в эксплуатации строительных объектов позволяет получить значительный экономический эффект.

К основным результатам внедрения относятся:

- Снижение эксплуатационных затрат до 30 %
- Сокращение аварийных ситуаций до 40 %
- Повышение энергоэффективности до 20 %
- Снижение затрат на ремонт до 25 %
- Увеличение срока службы оборудования до 15%

Кроме экономических преимуществ, внедрение цифровых технологий способствует повышению уровня безопасности эксплуатации объектов капитального строительства [3].

### **Проблемы внедрения цифровых двойников**

Несмотря на значительные преимущества технологии, внедрение цифровых двойников сопровождается рядом ограничений:

- высокая стоимость внедрения;
- необходимость модернизации существующих инженерных систем;
- отсутствие единых стандартов интеграции данных;
- недостаточная квалификация специалистов;
- проблемы обеспечения информационной безопасности.

Для эффективного внедрения цифровых двойников требуется комплексный подход, включающий совершенствование нормативной базы и развитие цифровых компетенций в строительной отрасли [4].

### **Перспективы развития технологии**

Развитие технологий искусственного интеллекта, интернета вещей и анализа больших данных способствует дальнейшему совершенствованию цифровых двойников строительных объектов.

Перспективными направлениями развития являются:

- автоматизация процессов эксплуатации;
- внедрение интеллектуальных систем управления зданием;
- использование технологий машинного обучения для прогнозирования дефектов;
- интеграция цифровых двойников в концепцию «умного города»;
- развитие облачных платформ управления объектами недвижимости.

В дальнейшем цифровой двойник может стать основным инструментом комплексного управления жизненным циклом строительного объекта.

### **Заключение**

Технология цифрового двойника является перспективным инструментом повышения эффективности эксплуатации строительных объектов. Интеграция BIM-моделирования, систем мониторинга и автоматизированной диагностики позволяет создать единую цифровую среду управления зданием.

Использование цифровых двойников обеспечивает снижение эксплуатационных затрат, повышение надежности инженерных систем и увеличение безопасности эксплуатации объектов капитального строительства. Несмотря на существующие ограничения внедрения, развитие цифровых технологий формирует предпосылки для широкого применения цифровых двойников в строительной отрасли.

### **Список литературы:**

1. Гончаров А. С., Саклаков В. М. Цифровой двойник: обзор существующих решений и перспективы развития технологии //Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. – 2018. – С. 24-26.
2. Деменев А. В., Артамонов А. С. Информационное моделирование при эксплуатации зданий и сооружений //Вестник евразийской науки. – 2015. – Т. 7. – №. 3 (28). – С. 102.



3. Иванова И. Б., Васильева А. Ю. «Цифровой двойник» здания: отличие от BIM-технологий, источники эффективности применения в жилищно-коммунальном хозяйстве //Социально-экономическое управление: теория и практика. – 2021. – №. 2. – С. 43-49.

4. Шарманов В. В. и др. Трудности поэтапного внедрения BIM //Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №. 10. – С. 108-120.

