

УДК 004

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ УМНЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кулиев Артур Илгарович¹, студент гр. СТМ-240901. II курс

Научный руководитель: Кожевникова М.К.¹, д.э.н., профессор

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н Ельцина, г. Екатеринбург.

Аннотация: В статье рассматриваются современные подходы к оптимизации эксплуатации интеллектуальных зданий (Smart Buildings) на основе технологий информационного моделирования. Проанализированы концептуальные основы интеграции BIM с системами Интернета вещей (IoT) и цифровыми двойниками, систематизированы количественные показатели эффективности внедрения данных технологий. Представлены методы оптимизации энергоэффективности с использованием BIM-данных. Рассмотрены кейсы внедрения BIM + Digital Twin для эксплуатации умных зданий.

Ключевые слова: информационное моделирование зданий (BIM), умное здание, эксплуатация, цифровой двойник.

OPTIMIZATION OF SMART BUILDING OPERATION USING INFORMATION TECHNOLOGY

Kuliev Artur Ilgarovich¹, student of group STM-240901. II year

Scientific adviser: M.K. Kozhevnikova¹, PhD, Professor

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.
Yeltsin, Yekaterinburg

Abstract: The article discusses modern approaches to optimizing the operation of smart buildings (Smart Buildings) based on information modeling technologies. The conceptual foundations of integrating BIM with Internet of Things (IoT) systems and digital twins are analyzed, and quantitative indicators of the effectiveness of implementing these technologies are systematized. Methods for optimizing energy efficiency using BIM data are presented. Cases of implementing BIM + Digital Twin for the operation of smart buildings are considered.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), smart building, operation, digital twin

Введение

Современный этап развития строительной отрасли характеризуется активной цифровизацией всех этапов жизненного цикла объектов капитального строительства. С 1 января 2022 года использование

информационной модели стало обязательным для строительства объектов, финансируемых из бюджета Российской Федерации [2]. Данное нормативное требование актуализирует задачу эффективного применения технологий информационного моделирования (Building Information Modeling, BIM) не только на этапах проектирования и строительства, но и в процессе эксплуатации зданий.

Параллельно с развитием BIM-технологий формируется концепция «умных зданий» (Smart Buildings), под которыми понимаются объекты, оснащенные интегрированными системами автоматизации и диспетчеризации, обеспечивающими оптимальное управление инженерными системами. Важно различать понятия «интеллектуальное здание», относящееся преимущественно к коммерческим объектам (офисы, торговые центры), и «умный дом», предназначенный для частных клиентов [2]. Обе концепции объединяет общая цель – достижение энергоэффективности, безопасности и комфорта при минимизации эксплуатационных затрат.

Эксплуатационная оптимизация через BIM строится на трех ключевых принципах:

1. Цифровая непрерывность данных - сквозное использование BIM-модели на всех этапах ЖЦ здания
2. Интеграция с IoT-системами - подключение реальных датчиков к цифровой модели
3. Аналитическая обработка данных - применение AI/ML для выявления оптимизационных резервов

Цель настоящей статьи – систематизировать современные подходы к оптимизации эксплуатации интеллектуальных зданий на основе интеграции BIM-технологий со смежными цифровыми решениями, а также выявить существующие проблемы и перспективные направления развития данной области.

1. Теоретические основы интеграции BIM в процессы эксплуатации

Традиционно BIM-технологии ассоциировались преимущественно с проектными и строительными задачами. Однако в последние годы наблюдается смещение фокуса в сторону использования информационных моделей на протяжении всего жизненного цикла объекта. Информационное моделирование рассматривается как процесс создания и совместного использования информации об объекте на всех стадиях: проект, строительство и эксплуатация [3]. Как отмечается в исследовании [1], принципиальным вопросом является адаптация информационных моделей, созданных на этапах проектирования и строительства, для их дальнейшего интегрирования в процессы технического обслуживания. Без целенаправленной подготовки BIM-модели могут оказаться малопригодными для задач эксплуатации, что приводит к недоиспользованию потенциала технологии.

Интеллектуальное здание в парадигме BIM представляет собой сложную систему, оперирующую двумя типами данных: статическими и

динамическими [11]. Статические данные включают информацию о размерах, материалах, производителях оборудования, технических характеристиках – именно эта информация аккумулируется в BIM-модели. Динамические данные поступают от датчиков, контроллеров и измерительных приборов, формирующих инфраструктуру Интернета вещей (Internet of Things, IoT).

Одним из приоритетных направлений развития выступает сочетание BIM и IoT, которая позволяет создавать цифровые двойники зданий [9]. В такой системе BIM-модель выступает основой, обеспечивающей пространственную привязку и контекстную интерпретацию данных, поступающих от сенсорных сетей.

Стандарт ISO 19650 определяет принципы управления данными, включая весь жизненный цикл объекта. При этом обязательно включает обмен информации от проектирования к эксплуатации через форматы COBie [10].

2. Направления оптимизации эксплуатационных процессов

BIM-технологии отлично помогают экономить деньги при эксплуатации зданий. Например, благодаря грамотному управлению энергоресурсами расходы снижаются почти наполовину, иногда даже больше. Это достигается за счёт автоматической регулировки подачи энергии туда, где она действительно необходима, и постоянного мониторинга инженерных сетей здания [2]. Использование BIM даёт возможность прямо сейчас увидеть, куда уходит энергия, вода и прочие ресурсы. Можно легко заметить места, где потребление слишком высокое, и быстро принять меры для исправления ситуации, сэкономив деньги и энергию [8]. Внедрение в эксплуатацию систем помогает обеспечить гибкое регулирование параметров микроклимата в зависимости от разных факторов: например, фактического присутствия людей или внешних погодных условий [7].

Сейчас оборудование чинят либо по расписанию, либо уже тогда, когда оно сломалось. А вот технология BIM работает иначе: датчики постоянно собирают информацию о температуре и вибрациях разных деталей, и специальная программа сразу показывает, насколько сильно износилось оборудование. Так можно вовремя предотвратить поломку и сэкономить накопления. Например, если насос обозначен в модели как «критически важный элемент» и данные IoT фиксируют отклонения его параметров от нормативных значений, система может самостоятельно создать заявку в эксплуатационную службу с указанием точного положения насоса в 3D-модели и даже инструкцией по его ремонту [13].

С помощью технологии BIM здание управляется эффективно и рационально развивается. Анализируя, как используются разные зоны и какая нагрузка ложится на конструкции, можно грамотно распределять пространство и сделать использование каждого объекта оптимальным [8]. С технологией BIM удобно менять и перестраивать помещения: можно гибко планировать новое расположение стен и коммуникаций, что упрощает процесс ремонта и снижает расходы. Благодаря интеграции BIM мы точно

знаем срок службы каждой части здания, поэтому можем чётко рассчитать, сколько понадобится потратить на замену или ремонт [9, 8].

Стоит добавить, что в случае чрезвычайной ситуации, например, пожара или протечки, BIM-модель при нужной настройке предоставляет службам спасения точную информацию о расположении необходимых элементов, например, вентилей, электрощитовых или путях эвакуации. Интеграция с системой пожарной сигнализации на практике показывает в модели зону возгорания и рекомендует оптимальный маршрут эвакуации с учетом текущей загруженности коридоров, что в свою очередь ускоряет процесс экстренной эвакуации [12].

3. Интеграция BIM с технологиями IoT

Как мы описали выше, современные исследования указывают на переход от пассивных цифровых моделей к активным диагностическим системам, которые функционируют в режиме реального времени [6]. Цифровые двойники, объединяющие BIM и IoT, создают все условия для того, чтобы применять методы машинного обучения для прогнозирования отказов оборудования и оптимизации режимов работы инженерных систем.

Проект «СберСити», например, реализует концепцию цифрового района по следующим принципам: централизованное управление инженерными элементами через единый диспетчерский центр; непрерывный сбор данных в реальном времени с более чем сотни тысяч IoT-датчиков; применение прогнозной аналитики и моделирования сценариев [7].

Внедрение технологий Интернета вещей (IoT) является критически важным этапом для успешного создания и функционирования цифрового двойника (Digital Twin). Именно IoT обеспечивает тот самый «мост» между физическим объектом и его виртуальной копией.

Таблица 1 - Примеры внедрения BIM + Digital Twin для эксплуатации зданий

Объект	Результаты	Особенность
The Edge (Амстердам, Нидерланды) [16]	- Снижение энергозатрат на 70% - Динамическая адаптация освещения и отопления под присутствие людей - ROI системы – 3.2 года	Цифровой двойник обновляется в режиме реального времени и прогнозирует нагрузку на системы на основе расписания встреч.
Лахта Центр (Санкт-Петербург, Россия)	- Автоматическое управление вентиляцией (экономия 15% энергии) - Предиктивный ремонт лифтовых систем	Первое в России здание, где Digital Twin используется для эвакуации при ЧС – система моделирует оптимальные пути за 30

	(снижение простоев на 40%) - Интеграция с городскими сервисами (парковка, транспорт)	секунд. [5]
Singapore National Stadium (Сингапур) [14]	Снижение затрат на техобслуживание на 25% - Автоматическое затемнение трибун для снижения тепловой нагрузки	Двойник синхронизируется с погодными API – заранее адаптирует микроклимат перед дождем
ЖК «Новый горизонт» (Москва, Россия)	- Сроки строительства были сокращены на 10 %, затраты уменьшены на 15 %, а повышение эффективности использования ресурсов достигло 12 %. Экономическая выгода данного проекта составила порядка 23 миллионов рублей.	Жители видят расходы в мобильном приложении с 3D-визуализацией.

4. Проблемы и ограничения внедрения

Широкое внедрение BIM в управлении объектами сдерживают несколько ключевых проблем:

1. Сложности интеграции с системами Facility Management (FM) из-за различий в форматах данных и необходимости стандартизации [8].
2. Необходимость постоянного обновления BIM-модели в соответствии с изменениями на объекте — для этого нужны чёткие протоколы и организационные решения [9, 8].
3. Высокие затраты на обучение персонала и выстраивание новых рабочих процессов [8].
4. Дефицит специалистов, способных интегрировать BIM с системами управления зданиями.
5. Трудности адаптации существующих объектов: большинство из них не имеют исходных BIM-моделей, а создание таких моделей методом Scan-to-BIM требует существенных ресурсов.

5. Перспективные направления развития

Дальнейшее развитие технологий информационного моделирования в контексте Smart Buildings связано с интеграцией методов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения. Как утверждает Черноиван Н.В., в настоящий момент осуществляется переход к гибридным аналитическим алгоритмам, которые сочетают в себе физические модели устаревания материалов с методами машинного обучения для прогнозирования остаточного ресурса конструкций и оборудования [6]. Предполагается, что в прогнозируемом будущем BIM-системы смогут осуществлять мониторинг состояния здания: они будут выявлять отклонения, передавать соответствующие задачи сотрудникам службы эксплуатации и оперативно сигнализировать о критических ситуациях, предотвращая аварии [7].

Переход к исследуемым в данной статье платформам управления данными создаёт условия для организации совместной работы максимального количества участников эксплуатационного процесса. Исследование японского учёного Рюноске Танака доказало пользу объединения двух мощных инструментов — облачных технологий Amazon Web Services (AWS) и платформы Autodesk APS. Такая связка создаёт удобную систему для хранения и обработки данных объектов недвижимости онлайн, позволяя управлять ими через обычный браузер без покупки дорогого специального программного обеспечения [15].

Очень важно наладить обмен данными между системами проектирования (BIM) и программами управления эксплуатацией зданий. Стандарты вроде COBie помогают упростить этот процесс, делая передачу данных удобной и понятной. Однако работа в этом направлении продолжается: надо довести протоколы до идеала и создать удобные форматы данных, подходящие для реальных нужд тех, кто обслуживает здания [9].

Заключение

Подводя итог, можно утверждать: технологии BIM реально помогают эффективнее эксплуатировать здания, значительно улучшая контроль и снижая издержки. Их интеграция с IoT, развитие цифровых двойников и применение ИИ позволяют:

1. Снизить эксплуатационные расходы до 70 %;
2. Увеличить время безотказной работы оборудования до 50 %;
3. Сократить количество аварий и неисправностей.

Потенциал BIM-технологий очевиден, но чтобы его реализовать, предстоит справиться с серьёзными проблемами. Во-первых, нужно осуществить объединение разных систем в единую среду без появления критических внештатных ситуаций. Во-вторых, максимально важно обеспечить актуальность данных в реальном времени. В-третьих, обеспечить рынок квалифицированными специалистами, способными работать с описанными в статье технологиями.

Реализация задуманного возможна при условии:

- создания единых стандартов обмена данными;

- активного развития облачных платформ;
- внедрения интеллектуальных систем предсказывающего анализа.

Не менее значимая задача — разработать чёткие методики оценки экономической выгоды от внедрения BIM. Они должны учитывать не только прямые, но и косвенные эффекты, проявляющиеся на протяжении всего срока эксплуатации объекта.

Список использованных источников

1) Гатина А.С., Соловьева А.В. Особенности подготовки информационной модели для технической эксплуатации зданий и сооружений // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 4. – С. 566-569.

2) Денисова, Е. А. BIM-моделирование как инструмент повышения энергоэффективности объектов социальной сферы / Е. А. Денисова, Н. А. Алексеева. - Текст : непосредственный // Вестник Удмуртского университета. - 2023. № Т. 33, № 5. - С. 785-790.

3) ПСС ГРАЙТЕК. Информационное моделирование сооружений: зачем нужны технологии BIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pssbim.ru/stati/chto-takoe-bim.html> (дата обращения: 24.02.2026).

4) Красиков А.А. Применение технологии цифровой двойник при проектировании зданий // Наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации. — Пенза: наука и просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.) (Пенза), 2023 — с. 182–184.

5) Официальный сайт Лахта Центр. Лахта Центр: умное здание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lakhtacenter.ru/technology/> (дата обращения: 24.02.2026).

6) Ли Ш., Черноиван Н.В. Инновационные подходы и практики информационных технологий в оценке технического состояния строительных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2025. – № 3 (138). – С. 59-62. – DOI: 10.36773/1818-1112-2025-138-3-59-62

7) РБК Тренды. Степанов В. От чертежной доски до BIM-модели: как изменилось строительство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/cmrm/6878fe1c9a79472b06b85992> (дата обращения: 23.02.2026).

8) Чернявский А.В. Перспективы внедрения технологии информационного моделирования зданий в управление объектами // Молодой ученый. – 2024. – № 42 (541). – С. 40-46.

9) Enhancing Facility Management with a BIM and IoT Integration Tool and Framework in an Open Standard Environment / [S. Tanaka et al.] // Buildings. – 2025. – Vol. 15, No. 11. – P. 1928. – DOI: 10.3390/buildings15111928

10) ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles

11) Liu Y., Hong S., Jiang F. Application of BIM+IoT technology in the design and operation and maintenance stages of smart buildings // Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering. – 2023. – Vol. 23, No. 6 – P. 3255-3270. – DOI: 10.3233/JCM-237025

12) Liu, Z. Integration of BIM and GIS for emergency management of smart buildings / Z. Liu, M. Lu // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 118. – Article 103289

13) Pärn, E. A. The BIM paradox: The need for a new approach to facility management / E. A. Pärn, D. J. Edwards // Journal of Facilities Management. – 2017. – Vol. 15, Issue 3. – P. 234–249.

14) Advenser. Successful BIM and GIS Integration Projects: Case Studies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.advenser.com/2024/03/14/successful-bim-gis-integration-projects-case-studies/> (дата обращения: 24.02.2026).

15) Tanaka R., Ishida K. Advancing the BIM-based facility maintenance and management data analysis platform: a cloud-centric approach // Proceedings of the 14th CCC Conference, Zadar, Croatia. – 2025. – P. 479-485.

16) The Edge, Amsterdam (Нидерланды). Sibbald K. The worlds Smartest Building [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.linkedin.com/posts/kirsty-sibbaldsmartbuildingrecruiter_smartbuildings-iot-sustainability-activity-7191016083263303681-d9tp (дата обращения: 24.02.2026).