НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER
УДК 69.059
DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.8

Влияние технологий информационного моделирования зданий на эффективность оперативной работы управляющих организаций

Павел Павлович Олейник, Дмитрий Александрович Матвеев
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование посвящено влиянию технологий информационного моделирования зданий (ТИМ) на эффективность оперативного управления недвижимостью. В условиях цифровизации и усложнения процессов эксплуатации зданий актуально применение интегрированных цифровых платформ, способных улучшить координацию между управляющими организациями, техническим персоналом и жильцами. Научная новизна работы заключается в комплексном анализе влияния ТИМ на сокращение времени реагирования, оптимизацию технического обслуживания и снижение эксплуатационных затрат. Цель исследования — оценить воздействие ТИМ на эффективность оперативной деятельности и выявить ключевые факторы, влияющие на успешное внедрение таких технологий.
Материалы и методы. Применен смешанный метод, объединяющий качественный и количественный анализ данных, собранных в период с 2022 по 2024 г. Информация получена посредством кейс-исследований, анкетирования, интервью и наблюдений за эксплуатационными показателями зданий. Для оценки изменений использовались статистические методы (включая парные t-тесты) и тематический анализ, что обеспечило триангуляцию данных и объективную интерпретацию результатов.
Результаты. Внедрение ТИМ позволило сократить время отклика на заявки на 35 %, снизить эксплуатационные затраты на 20 % и уменьшить энергопотребление на 15 %. Кроме того, цифровизация процессов обеспечила значительное повышение удовлетворенности жильцов за счет прозрачности обслуживания и улучшенной коммуникации между заинтересованными сторонами.
Выводы. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность применения ТИМ в оперативном управлении недвижимостью. Исследование демонстрирует, что интеграция ТИМ способствует оптимизации процессов, снижению затрат и повышению энергоэффективности. Рекомендуется дальнейшая интеграция ТИМ с технологиями IoT и искусственным интеллектом, а также развитие обучающих программ для персонала, что позволит обеспечить устойчивое и эффективное управление объектами недвижимости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТИМ, оперативное управление, управление недвижимостью, управление жизненным циклом, цифровая трансформация, управление объектами, прогнозное обслуживание

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: *Олейник П.П., Матвеев Д.А.* Влияние технологий информационного моделирования зданий на эффективность оперативной работы управляющих организаций // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 8. URL: http://nso-journal.ru. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.8

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Александрович Матвеев, izdatelstvo.asv@gmail.com.

The impact of building information modelling (BIM) technologies on the efficiency of operational management of property management organizations

Pavel P. Oleynik, Dmitry A. Matveev
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The study is devoted to the impact of Building Information Modelling (BIM) technologies on the operational efficiency of property management. In an era marked by digitalization and increasingly complex building operations, the use of integrated digital platforms that enhance coordination among property management companies, technical personnel, and residents has become essential. The novelty of this work lies in its comprehensive analysis of BIM's impact on reducing response times, optimizing maintenance procedures, and lowering operational costs. The objective of the study is to assess the influence of BIM on operational performance and to identify the key factors affecting the successful implementation of such technologies.
Materials and methods. A mixed-methods approach was employed in this study, combining both qualitative and quantitative analyses of data collected between 2022 and 2024. Data were gathered through case studies, surveys, interviews, and

© П.П. Олейник, Д.А. Матвеев, 2025
Распространяется на основании Creative Commons Attribution Non-Commercial (CC BY-NC)

observations of building performance metrics. Statistical methods, including paired t-tests, alongside thematic analysis, were utilized to evaluate changes, ensuring robust data triangulation and an objective interpretation of the results.
Results. The implementation of BIM resulted in a 35 % reduction in response times for service requests, a 20 % decrease in operational costs, and a 15 % reduction in energy consumption. Moreover, the digitalization of processes significantly increased tenant satisfaction through enhanced service transparency and improved communication among stakeholders.
Conclusions. The findings confirm the high effectiveness of utilizing BIM in the operational management of property. The study demonstrates that BIM integration contributes to process optimization, cost reduction, and improved energy efficiency. It is recommended that further integration of BIM with IoT and AI technologies be pursued, along with the development of comprehensive training programs for personnel, to ensure sustainable and efficient management of real estate assets.

KEYWORDS: BIM, operational management, property management, lifecycle management, digital transformation, facilities management, predictive maintenance

FOR CITATION: Oleynik P.P., Matveev D.A. The impact of building information modelling (BIM) technologies on the efficiency of operational management of property management organizations. *Construction: Science and Education.* 2025; 15(2):8. URL: http://nso-journal.ru. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.8

Corresponding author: Dmitry A. Matveev, izdatelstvo.asv@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Управление недвижимостью, особенно жилых зданий, становится все более сложным процессом, требующим интеграции современных технологий для повышения эффективности и устойчивости. Цифровизация жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) является одним из приоритетов развития в Российской Федерации[1] [1, 2], как и во всем мире [3–5]. Технологии информационного моделирования зданий (ТИМ) представляют собой технологический прорыв, способный трансформировать традиционные методы оперативного управления [3]. Цифровизация ЖКХ дает возможность связать в единое информационное поле процессы взаимодействия и предоставления отчетности на всех уровнях управления. Обеспечивая полное цифровое представление о построенной среде, ТИМ облегчает принятие решений в реальном времени, снижает информационные барьеры и улучшает координацию между заинтересованными сторонами [4].

Внедрение ТИМ наиболее актуально в условиях повышенных требований к устойчивости, энергоэффективности и оптимизированному функционированию зданий. ТИМ предлагает интегрированное решение, охватывающее различные аспекты управления недвижимостью: от технического обслуживания и ремонта до взаимодействия с жильцами и мониторинга энергопотребления [5]. ТИМ также предоставляет платформу для проактивного обслуживания, позволяя управляющим организациям прогнозировать возможные проблемы до момента их серьезного обострения, тем самым сокращая время простоя и сопутствующие затраты. В связи с этим понимание влияния ТИМ на операционную эффективность важно для управляющих организаций в их усилиях по сохранению конкурентоспособности на изменяющемся рынке.

Основная цель исследования — оценить влияние ТИМ на операционную эффективность в сфере управления недвижимостью. Специфические задачи включают оценку вклада ТИМ в оптимизацию задач по техническому обслуживанию, улучшение распределения ресурсов и повышение точности данных. Гипотеза исследования предполагает, что интеграция ТИМ в деятельность по управлению недвижимостью может привести к более эффективному принятию решений и снижению эксплуатационных затрат. Анализируя как качественную, так и количественную информацию, предприняты попытки сформировать комплексное понимание того, как ТИМ может улучшить общий процесс управления и создать ощутимые преимущества для заинтересованных сторон [6].

Кроме того, исследование рассматривает роль ТИМ в улучшении взаимосвязей между участниками процесса эксплуатации зданий, включая управляющих недвижимостью, технический персонал и жильцов. Эффективное взаимодействие важно для успешного управления этим процессом, и возможность ТИМ служить централизованным хранилищем данных способствует достижению прозрачности и подотчетности. Это же относится к влиянию ТИМ на управление энергопотреблением, сосредотачиваясь на том, как ТИМ можно применять для мониторинга и оптимизации использования энергии, способствуя устойчивому развитию соответствующей среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Применен смешанный метод, сочетающий качественный и количественный анализ. Информацию собирали в рамках серии кейс-исследований, включающих управляющие компании, внедрившие ТИМ в свою деятельность. Исследования проводились в период с 2022 по 2024 г. в ходе работы

[1] План мероприятий («дорожная карта») по использованию технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве объектов капитального строительства, а также по стимулированию применения энергоэффективных и экологичных материалов, в том числе с учетом необходимости их производства в Российской Федерации : утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.12.2021 № 3719-р.

над магистерской диссертацией, подготовленной в НИУ МГСУ, и включали анкетирование управляющих организаций, технического персонала и других заинтересованных сторон, участвующих в эксплуатации жилых зданий. Кейс-исследования предоставили подробную информацию о практическом применении ТИМ и их влиянии на оперативную эффективность.

Количественные данные были получены из эксплуатационных показателей, зафиксированных до и после внедрения ТИМ. В состав исследованных показателей входили время отклика на заявки по техническому обслуживанию, затраты на ремонт, уровень удовлетворенности жильцов и данные о потреблении энергии [7]. Эти метрики выбраны для создания комплексного представления об оперативной эффективности, охватывающего как финансовые, так и нефинансовые аспекты управления недвижимостью. Например, время отклика на заявки измерялось в часах, а уровень удовлетворенности собственников оценивался по шкале от 1 до 5. Сведения о потреблении энергии получены из систем управления зданием, интегрированных с ТИМ, что позволило выполнить мониторинг в реальном времени и анализировать исторические данные.

Качественные данные собраны в ходе углубленных интервью с ключевыми заинтересованными сторонами, имевших целью понять восприятие преимуществ и проблем, связанных с внедрением ТИМ в оперативное управление. Вопросы интервью фокусировались на таких аспектах, как изменения в эффективности рабочих процессов, улучшение коммуникации и общее влияние на удовлетворенность собственников. Дополнительно проводились обсуждения в фокус-группах с техническими командами для получения их отзывов о ТИМ-инструментах, включая удобство доступа к информации и влияние на повседневные задачи.

Аналитическая структура исследования включала статистический анализ количественных сведений и тематический анализ качественных данных интервью. Статистический анализ включал парные t-тесты для оценки значимости наблюдаемых изменений [8], а качественный анализ осуществлялся с использованием программного обеспечения NVivo для категоризации и интерпретации ответов на интервью. Смешанный подход обеспечил полное понимание как измеримых результатов, так и субъективных впечатлений, связанных с внедрением ТИМ [9]. Комбинация количественных и качественных данных позволила более детально оценить влияние ТИМ на операционную эффективность.

С целью повышения надежности данных была применена триангуляция, предполагающая использование нескольких источников информации или подходов для перекрестной проверки результатов, что способствует увеличению валидности полученных сведений. Объединив данные опросов, интервью и показатели эффективности, предпринимались усилия провести сбалансированный и обоснованный анализ результатов внедрения ТИМ. Кроме того, наблюдения собирали в ходе посещения объектов для лучшего понимания ежедневного использования ТИМ-инструментов техническим персоналом и управляющими. Эти наблюдения предоставили контекстуальную информацию, дополнившую количественные метрики и качественные интервью.

В составе методологии предусмотрено сравнение внедрения ТИМ с традиционными методами управления, охватывая контрольную группу управляющих организаций, которые еще не внедрили ТИМ. Это позволило создать более четкое представление о преимуществах и проблемах, связанных с применением ТИМ на этапе эксплуатации. Соответствующий сравнительный анализ помог выделить области, где ТИМ приносит наибольшие улучшения, а также области, где традиционные методы сохраняют определенные преимущества.

Отслеживая изменения на протяжении длительного периода, удалось зафиксировать тенденции и улучшения, которые могли быть неочевидны сразу. Такой подход также позволил создать представление об устойчивости преимуществ ТИМ, включая возможность сохранения или увеличения начальных улучшений в эффективности, экономии затрат и удовлетворенности собственников со временем. «Продольный» аспект исследования был важен для понимания динамики интеграции ТИМ и их долгосрочной перспективности как инструмента для оперативного управления.

Использование как качественных, так и количественных данных дало возможность провести триангуляцию, повышая надежность выводов. Смешанный подход также позволил выявить закономерности, которые могли быть неочевидны из одного источника данных (табл. 1). Например, в то время как количественные данные показали снижение затрат на обслуживание, качественные сведения выявили, что персонал технического обслуживания считал инструменты ТИМ полезными для более эффективного планирования и приоритизации задач.

Методология также исследовала использование геоинформационных систем (ГИС) в сочетании с ТИМ для усиления пространственного анализа объектов недвижимости. ГИС была интегрирована с моделями ТИМ для визуализации географического распределения потребностей в обслуживании и распределения ресурсов, обеспечивая более полное представление об операционном ландшафте. Эта интеграция позволила управляющим организациям оптимизировать логистику, такую как распределение команд технического обслуживания по различным локациям на основе пространственной близости и срочности задач.

Кроме того, в исследовании рассматривались процессы обучения и адаптации, необходимые

Табл. 1. Сводка источников данных и методов

Тип данных	Источник	Метод
Количественные	Записи о техобслуживании	Статистические тесты
Качественные	Интервью с заинтересованными сторонами	Тематический анализ
Смешанные	Опросы арендаторов	Описательная статистика

для успешного внедрения ТИМ. Детальные записи о сессиях обучения, включая отзывы участников и оценку навыков, проанализированы для понимания эффективности различных подходов к обучению. Этот анализ подчеркнул важность практического, сценарного обучения для того, чтобы персонал полностью осознал практические применения инструментов ТИМ в своих ежедневных задачах. Выводы показали, что хорошо структурированные программы обучения были ключевыми для преодоления сопротивления изменениям и обеспечения того, чтобы все члены команды приобрели компетенции в использовании технологий ТИМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внедрение ТИМ (рис. 1) значительно повышает эффективность операций по управлению объектами недвижимости.

Это подтверждают следующие основные результаты:

1. Сокращение времени отклика на заявки по обслуживанию. Способность ТИМ предоставлять актуальное и полное представление о состоянии активов здания привела к сокращению времени отклика примерно на 1/3, что соответствует полученным в работе [10] 35 % по сравнению с традиционными методами (рис. 2).

Это улучшение объясняется централизованным доступом к детализированной информации о системах здания, что позволяет техническому персоналу быстрее выявлять и устранять проблемы[2]. Кроме того, интеграция мобильных устройств с ТИМ-моделями предоставила командам технического обслуживания возможность получать и обновлять информацию непосредственно на месте, что также сократило время отклика. Сотрудники отметили, что доступ к данным о здании удаленно через планшеты или смартфоны стал значительным преимуществом, особенно в экстренных ситуациях.

ТИМ также предоставил командам техобслуживания доступ к историческим данным, которые помогли выявлению повторяющихся проблем и реализации долгосрочных решений. Такой проактивный подход к обслуживанию не только сократил время отклика, но и способствовал снижению общих затрат на обслуживание в результате уменьшения частоты повторных сбоев. Интеграция прогнозной аналитики еще больше повысила эффективность операций по обслуживанию, позволяя управляющим объектом предвидеть потенциальные отказы и планировать профилактическое обслуживание.

Цифровые возможности управления активами, предоставляемые ТИМ, также сыграли важную роль в оптимизации операций по обслуживанию. Поддерживая актуальный цифровой инвентарь компонентов здания, управляющие могли легко отслеживать состояние различных активов, таких как системы отопления, водоснабжения и водоотведения (ОВК), лифты и противопожарное оборудование. Соответствующий уровень детализации способствовал более эффективному планированию и распределению ресурсов, гарантируя, что критически важные компоненты получали необходимое внимание до того, как возникали серьезные проблемы. Кроме того, интеграция систем автоматизации зданий с ТИМ облегчила автоматический мониторинг

[2] BuildingSMART International. IFC Standards for BIM. 2020.

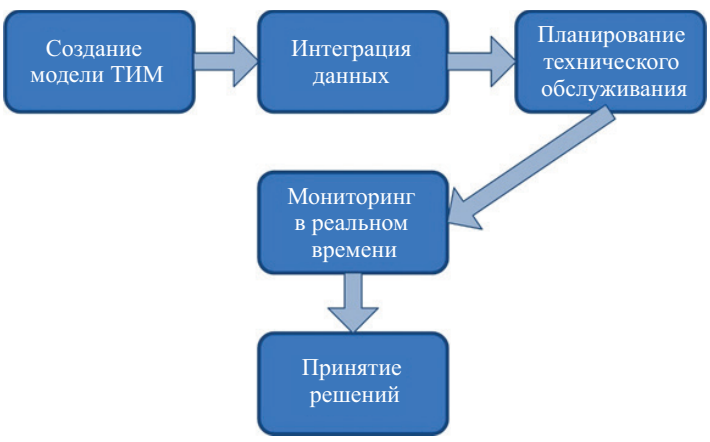

Рис. 1. Схема интеграции ТИМ в управление объектом недвижимости

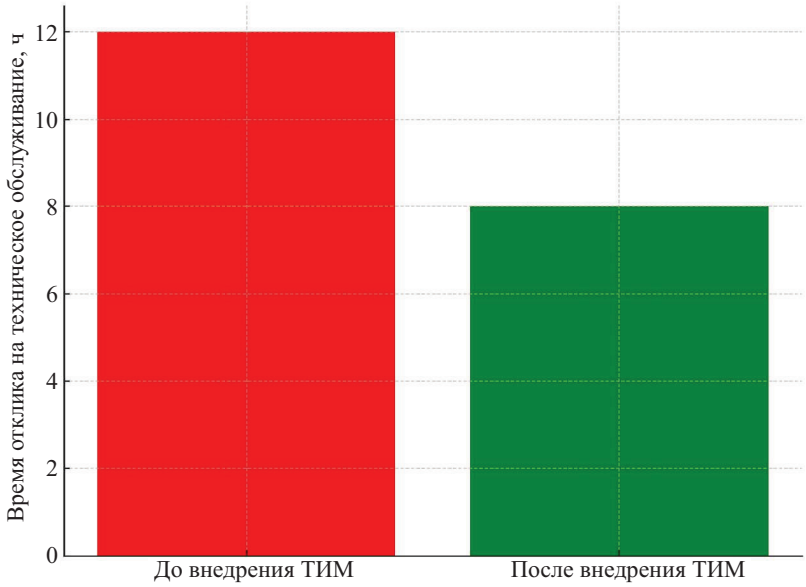

Рис. 2. Время отклика на обслуживание до и после внедрения ТИМ

и раннее выявление отклонений в работе, что значительно сократило время отклика.

2. Снижение затрат. Анализ показал 20%-ное сокращение эксплуатационных затрат благодаря более эффективному планированию обслуживания и оптимизации распределения ресурсов через ТИМ-модели (рис. 3). Прогнозирование потребностей в техническом обслуживании на основе исторических сведений и данных с датчиков помогает ТИМ минимизировать неожиданные поломки и дорогостоящие аварийные ремонты. Аналогичные результаты получены в исследовании [11].

Экономия средств также была достигнута благодаря улучшенному управлению энергопотреблением. ТИМ-модели, интегрированные с системами управления зданием, дали возможность управляющим в реальном времени контролировать потребление энергии, выявлять неэффективные зоны и внедрять целевые меры по экономии энергии. Например, автоматическое управление системами ОВК на основе данных о занятости помещений поможет снизить потери энергии в непиковые часы. Возможность моделировать различные сценарии повышения энергоэффективности в среде ТИМ позволила управляющим организациям принимать обоснованные решения по модернизации оборудования и обновлению инфраструктуры.

Экономия энергии также может быть достигнута благодаря интеграции систем возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с ТИМ-моделью. Солнечные панели и/или другие ВИЭ могут отслеживаться через ТИМ-модель, что позволит управляющим организациям оптимизировать их применение и снизить зависимость от электрической

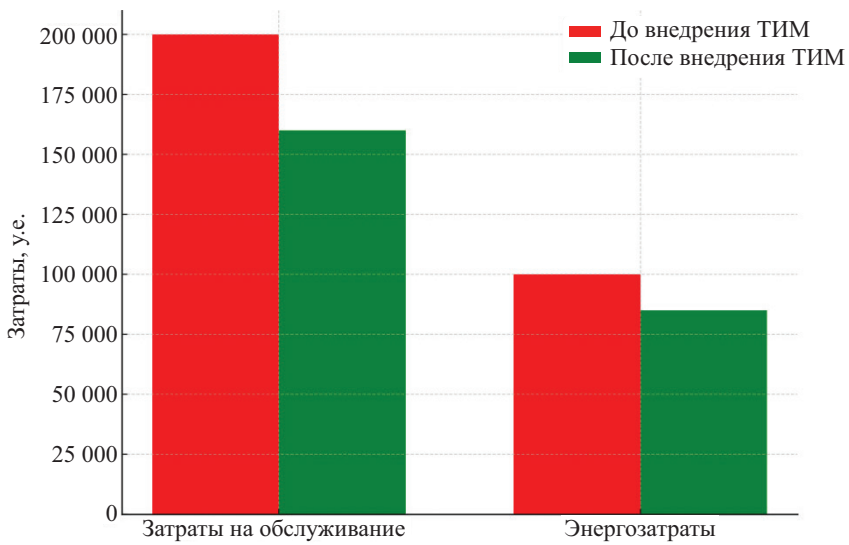

Рис. 3. Анализ затрат на оперативное управление

сети. ТИМ-модель обеспечит целостное представление о генерации, хранении и потреблении энергии, что будет способствовать более эффективному управлению энергетическими ресурсами. Эта интеграция не только способствует экономии затрат, но и поддерживает цели устойчивого развития, снижая углеродный след здания.

3. Повышение удовлетворенности жильцов. Опросы показали значительное улучшение удовлетворенности жильцов: 3/4 респондентов отметили более быстрое реагирование и улучшение коммуникации, что подтверждается (рис. 4) из исследования [12].

Применение ТИМ способствовало повышению прозрачности процессов технического обслуживания, поскольку собственники могли получать информацию о статусе ремонтных работ в реальном времени. Улучшенное взаимодействие между управляющими организациями и собственникам также содействовало повышению уровня доверия и восприятия качества услуг, как и отмечается в работе [13]. Отзывы собственников подчеркнули важность своевременных обновлений, и инструменты коммуникации, предоставляемые ТИМ, сыграли важную роль в удовлетворении этих ожиданий.

Помимо прозрачности в вопросах обслуживания, ТИМ также дают собственникам возможность взаимодействовать с управляющей организацией через цифровые платформы, такие как мобильные приложения, которые в реальном времени вносили обновления о состоянии систем здания, графиках обслуживания и энергопотреблении. Эти цифровые платформы позволяли жильцам напрямую сообщать о проблемах и отслеживать их решение, что повышало их вовлеченность и удовлетворенность услугами по управлению недвижимостью. Интеграция отзывов жильцов в ТИМ-модель также помогала управляющим более эффективно решать проблемы и адаптировать услуги под конкретные нужды собственников.

4. Повышение энергоэффективности. Интеграция ТИМ помогла сократить энергопотребление на 15 % за счет оптимизированного мониторинга и контроля систем ОВК [14] (результаты показаны на рис. 5).

Предоставляя детализированную цифровую модель энергетических систем здания, ТИМ позволили управляющим выявлять неэффективные участки и внедрять целевые меры. Возможность моделировать различные энергосберегающие сценарии в среде ТИМ также поддерживала обоснованное принятие решений, что способствовало дальнейшему повышению энергоэффективности. Аналогичные обоснования приводятся в европейском руководстве[3].

Экономия энергии также была достигнута посредством интеграции систем ВИЭ с ТИМ-моделью. Солнечные панели и другие ВИЭ отслеживались через ТИМ, что позволило управляющим оптимизировать их применение и снизить зависимость от электросети. ТИМ-модель обеспечила целостное представление о генерации, хранении и потреблении энергии, что способствовало более эффективному управлению ресурсами. Такая интеграция не только обеспечила экономию, но и поддерживала цели устойчивого развития, сокращая углеродный след здания.

[3] Federation of European Heating, Ventilation, and Air Conditioning Associations. Guide to BIM and Building Services. 2021.

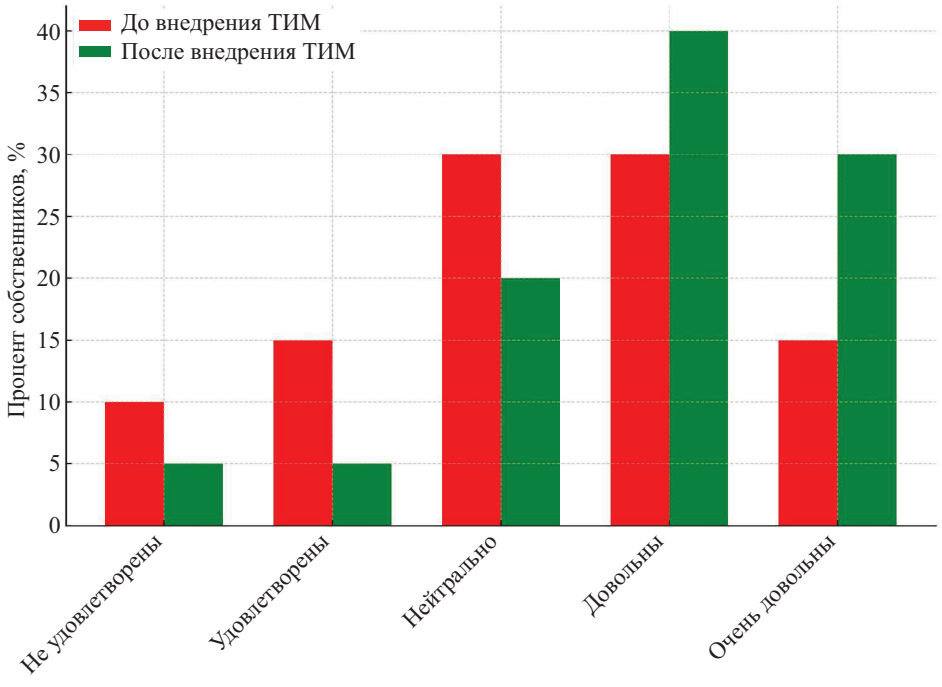

Рис. 4. Результаты опроса удовлетворенности собственников

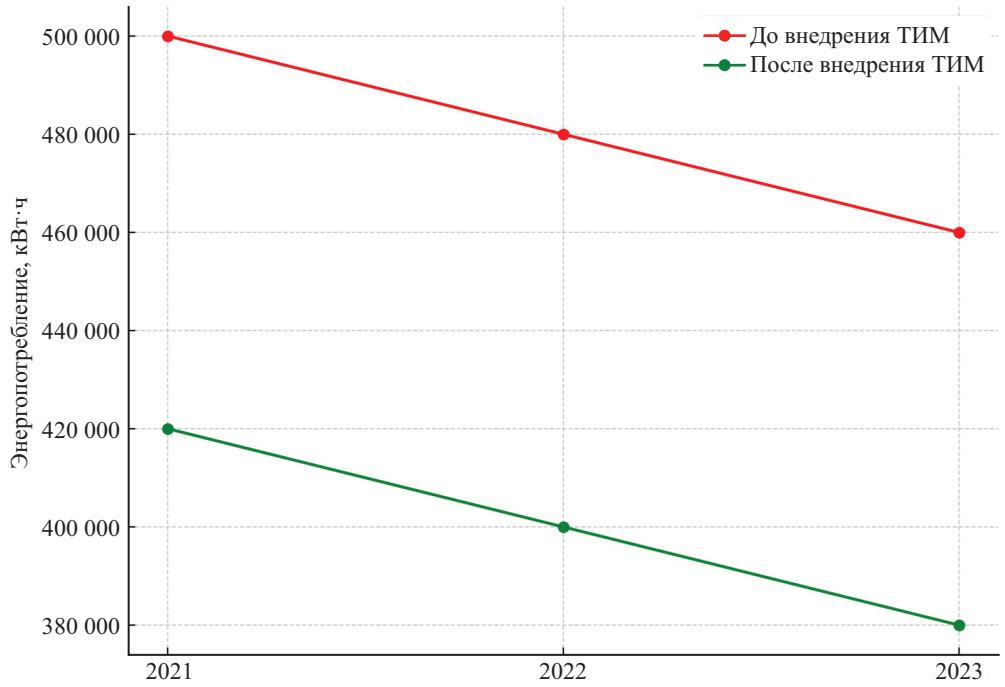

Рис. 5. Сравнение энергопотребления

Полученные результаты свидетельствуют, что ТИМ предоставляет значительные преимущества для оперативного управления (табл. 2), особенно в отношении сокращения времени отклика и снижении эксплуатационных затрат. Интеграция данных в реальном времени и прогнозной аналитики в модели ТИМ существенно улучшает способность управляющих принимать обоснованные решения, позволяя им быть более проактивными вместо последующей реакции на выявленные отказы.

Применение ТИМ также способствовало лучшему распределению ресурсов и управлению рабочей силой. Команды техобслуживания получают возможность более эффективно планировать свои графики на основе данных, предоставленных ТИМ-моделью, которая учитывает информацию о состоянии оборудования, истории технического обслуживания и предполагаемых потребностях. Этот уровень детализации позволяет управляющим выделять ресурсы туда, где они наиболее востребованы, сокращая простои персонала и повышая его производительность. Кроме того, интеграция цифровых контрольных списков и автоматических напоминаний обеспечивает своевременное выполнение плановых работ, что также способствует повышению операционной эффективности, это подтверждается и в исследовании [15].

Табл. 2. Основные преимущества внедрения ТИМ

Преимущество	Эффект
Время отклика на обслуживание	Сокращено на 35 %
Эксплуатационные затраты	Сокращены на 20 %
Удовлетворенность жильцов	Увеличена на 75 %
Потребление энергии	Снижено на 15 %

Интеграция сенсорных данных с моделями ТИМ облегчает прогнозное обслуживание, минимизируя вероятность поломок и продлевая срок службы компонентов здания. Об аналогичных результатах сообщается и в работах [16, 17].

На рис. 6 отображен поток информации в среде ТИМ в режиме реального времени, показывая, как управляющие недвижимостью используют данные для принятия решений в экстренных ситуациях и планирования текущего обслуживании.

На рис. 6 показаны:

1. База данных модели ТИМ как основной источник данных.
2. Блок аналитики и обработки данных, преобразующий «сырые» данные в полезную информацию.
3. Панель управления недвижимостью для доступа менеджеров к обновлениям и уведомлениям в реальном времени.
4. Интерфейс команды обслуживания с цифровыми контрольными списками и напоминаниями.
5. Отдельные потоки для задач планового обслуживания и экстренного реагирования для приоритизации работы на основе данных.

Роль ТИМ в содействии сотрудничеству между заинтересованными сторонами сложно переоценить. Предоставляя централизованную платформу для обмена информацией, ТИМ улучшают коммуникацию и координацию между управляющими, техническими командами, подрядчиками и жильцами. Указанный подход к сотрудничеству способствует обеспечению осведомленности всех сторон о текущей деятельности, созданию графиков пред-

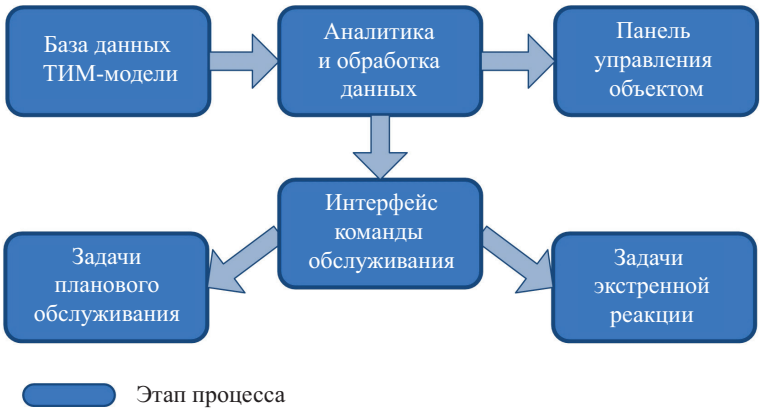

Рис. 6. Доступ к данным в реальном времени и процесс принятия решений в ТИМ

стоящего технического обслуживания и возможных затруднениях. В результате заинтересованные стороны оказываются лучше подготовлены и одновременно снижается вероятность конфликтов и недоразумений.

Интеграция ТИМ с другими технологиями, такими как IoT, еще больше расширяет возможности ТИМ. Например, датчики IoT, встроенные в системы здания, могут передавать данные в реальном времени в ТИМ-модель, позволяя управляющим контролировать параметры, такие как температура, влажность и состояние оборудования. Такая интеграция поддерживает прогнозное обслуживание, уведомляя управляющих о потенциальных проблемах до их серьезного возникновения. Сочетание ТИМ и IoT создает «умную» среду здания, где решения, основанные на данных, приводят к улучшению производительности и снижению эксплуатационных затрат.

Вместе с тем исследование выявило проблемы, связанные с внедрением ТИМ, включая высокие начальные затраты на реализацию и необходимость специализированного обучения персонала. Затраты на программное обеспечение, оборудование и первоначальную настройку могут оказаться препятствием для небольших управляющих компаний, о чем свидетельствуют также зарубежные исследования [18]. Кроме того, успешное внедрение ТИМ требует изменений в организационной культуре и процессах, что может быть трудно осуществить без сильного лидерства и четкого видения проблемы. Несмотря на это, долгосрочные выгоды от использования ТИМ, такие как улучшенное управление активами и повышенная удовлетворенность жильцов, перевешивают начальные инвестиции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанное исследование приводит к выводу, что интеграция ТИМ в оперативную работу управляющих организаций значительно повышает эффективность, снижает затраты и улучшает качество обслуживания. Преимущества внедрения ТИМ в оперативное управление очевидны: сокращение времени отклика на заявки по обслуживанию, экономия затрат и повышение энергоэффективности. Это подтверждается и выводами зарубежных исследователей [19, 20]. Несмотря на вызовы, связанные с начальными затратами и требованиями к обучению, долгосрочные выгоды делают ТИМ ценным вложением для управляющих организаций.

Будущие исследования должны сосредоточиться на разработке стандартизированных программ обучения для ТИМ и на изучении потенциала интеграции ТИМ с новыми технологиями, такими как IoT и искусственный интеллект, для дальнейшей оптимизации. Кроме того, дальнейшие исследования будут сопряжены с изучением масштабов применения ТИМ в небольших управляющих компаниях и с определением стратегии преодоления возможных барьеров внедрения. Интеграция расширенной аналитики и машинного обучения с ТИМ также представляет интересное направление для исследования, имея потенциал для дальнейшего повышения прогнозных возможностей и оптимизации эксплуатации зданий.

Развитие стандартов и лучших практик ТИМ будет иметь решающее значение для того, чтобы управляющие компании могли в полной мере реализовать потенциал этой технологии. Сотрудничество между представителями отрасли, академическими учреждениями и государственными органами сыграет ключевую роль в продвижении инноваций и установлении руководящих принципов, способствующих широкому внедрению ТИМ на этапе эксплуатации зданий. Внедряя ТИМ, управляющие организации могут создавать более эффективные, устойчивые и гибкие условия, отвечающие меняющимся потребностям жильцов и заинтересованных сторон.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Matveev D.A.* Implementation of BIM Technologies in the Management of Multi-Apartment Buildings During the Operation Phase // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2024. Vol. 20. Issue 2. Pp. 155–162. DOI: 10.22337/2587-9618-2024-20-2-155-162

2. *Ларионова Ю.В., Матвеев Д.А., Незаметдинов И.М.* Внедрение технологий информационного моделирования в управление многоквартирными домами // Недвижимость: экономика, управление. 2023. № 3S. С. 212–215. EDN DLQYUV.

3. *Ehab A., Mahdi M., El-Helloty A.* BIM Maintenance System with IoT Integration: Enhancing Building Performance and Facility Management // Civil Engineering Journal. 2024. Vol. 10. Issue 6. Pp. 1953–1973. DOI: 10.28991/CEJ-2024-010-06-015

4. *Edirisinghe R., Woo J.* BIM-based performance monitoring for smart building management // Facilities. 2021. Vol. 39. Issue 1/2. Pp. 19–35. DOI: 10.1108/F-11-2019-0120

5. *Pomè A.P., Signorini M.* Real time facility management: assessing the effectiveness of Digital Twin in the Operation and Maintenance phase of building life cycle // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1176. Issue 1. P. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1176/1/012003

6. *Alhammad M., Eames M., Vinai R.* Enhancing Building Energy Efficiency through Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Modeling (BEM) Integration : a Systematic Review // Buildings. 2024. Vol. 14. Issue 3. P. 581. DOI: 10.3390/buildings14030581

7. *Талапов В.В.* Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М. : LitRes, 2024. 394 с.

8. *Bevans R.* An Introduction to t Tests | Definitions, Formula and Examples // Scribbr. 2023.

9. *Ariffin E.Y., Mustafa N.E., Sapri M.* Perspective towards the Perceived Benefits and Challenges on Building Information Modelling — Facility Management (BIM-FM) Integration at an Early Stage of BIM Projects // International Journal of Real Estate Studies. 2023. Vol. 17. Issue 1. Pp. 70–82. DOI: 10.11113/intrest.v17n1.198

10. *Vishnivetskaya A., Mikhailova A.* Employment of BIM Technologies for Residential Quarters Renovation: Global Experience and Prospects of Implementation in Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 497. P. 012020. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012020

11. *Wang L., Zhou X.* Impact of BIM on Operational Efficiency // International Journal of Property Management. 2021. Vol. 36. Issue 2. Pp. 115–130.

12. *He Q., Zeng H., Tong I., Yao F.* Evaluation Index System for Resident Satisfaction in Urban Renewal and Reconstruction Based on Grounded Theory // Lecture Notes in Operations Research. 2024. Pp. 1815–1835. DOI: 10.1007/978-981-97-1949-5_127

13. *Fernandez R., Morales T.* Case Study: BIM in Multi-Apartment Buildings // Journal of Property Engineering. 2022. Vol. 29. Issue 5. Pp. 402–415.

14. *Kozlovská M., Petkanic S., Vranay F., Vranay D.* Enhancing Energy Efficiency and Building Performance through BEMS-BIM Integration // Energies. 2023. Vol. 16. Issue 17. P. 6327. DOI: 16. 6327. DOI: 10.3390/en16176327

15. *Городнова Н.В., Лемеза В.А.* Применение BIM-технологий в цифровой экономике: мировой опыт и российская практика // Экономика, предпринимательство и право. 2022. Т. 12. № 8. С. 2241–2260. DOI: 10.18334/epp.12.8.115082. EDN XSISOS.

16. *Chandu H.S.* Enhancing Manufacturing Efficiency: Predictive Maintenance Models Utilizing IoT Sensor Data // International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. 2024. Vol. 10. Issue 9.

17. *Saputra P.C., Prabowo H., Ramadhan A., Madyatmadja E.D.* Trends of Digital Transformation in the Property Management Industry : a Systematic Literature Review // IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). 2023. Pp. 552–557. DOI: 10.1109/SIST58284.2023.10223582

18. *Cheng J.C.P., Chen W., Chen K., Wang Q.* Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms // Automation in Construction. 2020. Vol. 12. P. 103087. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103087

19. *Alsamarraie M., Ghazali F.* Cost-benefit analysis of using BIM compared to traditional methods in Iraq's public construction projects // ASEAN Engineering Journal. 2023. Vol. 13. Issue 2. Pp. 107–114. DOI: 10.11113/aej.v13.18982

20. *Yang C.* Digital Application Objectives and Benefit Analysis of BIM Technology in Large-Scale Comprehensive Development Projects // Journal of World Architecture. 2024. Vol. 8. Issue 5. Pp. 24–28. DOI: 10.26689/jwa.v8i5.8741

Поступила в редакцию 12 февраля 2025 г.
Принята в доработанном виде 18 февраля 2025 г.
Одобрена для публикации 28 марта 2025 г.

Об авторах: **Павел Павлович Олейник** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский**

государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 399946, Scopus: 10043771900, ResearcherID: X-4463-2019, ORCID: 0001-8425-2974; cniomtp@mail.ru;

Дмитрий Александрович Матвеев — аспирант кафедры технологий и организация строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1192577, Scopus: 59207084100; ResearcherID: JKI-0449-2023, ORCID: 0000-0002-5057-6433; d.a.matveev@gmail.com.

Вклад авторов:

Олейник П.П. — научное руководство, формулирование концепции исследования и научное редактирование текста.

Матвеев Д.А. — идея, сбор материала, обработка материала, проведение исследования, итоговые выводы, написание и оформление статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Property management, particularly for residential buildings, is becoming an increasingly complex process that requires the integration of modern technologies to enhance efficiency and sustainability. The digitalization of housing and utilities (H&U) is one of the development priorities in the Russian Federation[1] [1, 2], as well as globally [3–5]. Building Information Modelling (BIM) represents a technological breakthrough capable of transforming traditional operational management methods [3]. The digitalization of H&U enables the integration of interaction processes and reporting at all management levels within a unified information environment. By providing a comprehensive digital representation of the built environment, BIM facilitates real-time decision-making, reduces information barriers, and improves coordination among stakeholders [4].

The implementation of BIM technologies is particularly relevant under increasing requirements for sustainability, energy efficiency, and optimized building functionality. BIM offers an integrated solution covering various aspects of property management, from maintenance and repairs to tenant interactions and energy consumption monitoring [5]. Additionally, BIM provides a platform for proactive maintenance, allowing management organizations to predict potential issues before they escalate, thereby reducing downtime and associated costs. Consequently, understanding the impact of BIM on operational efficiency is crucial for management organizations striving to maintain competitiveness in a rapidly evolving market.

The primary objective of this study is to assess the impact of BIM technologies on operational efficiency in property management. Specific tasks include evaluating the contribution of BIM to maintenance task optimization, improving resource allocation, and enhancing data accuracy. The research hypothesis posits that integrating BIM into property management activities can lead to more efficient decision-making and reduced operational costs. By analyzing both qualitative and quantitative data, the study aims to develop a comprehensive understanding of how BIM can enhance overall management processes and create tangible benefits for stakeholders [6].

Furthermore, the study examines the role of BIM in improving relationships among building operation stakeholders, including property managers, technical personnel, and residents. Effective interaction is essential for successful management, and BIM's ability to serve as a centralized data repository contributes to transparency and accountability. This also applies to the impact of BIM on energy consumption management, focusing on how BIM can be utilized to monitor and optimize energy use, promoting the sustainable development of the built environment.

MATERIALS AND METHODS

This study employs a mixed-method approach that combines qualitative and quantitative analysis. Data were collected through a series of case studies involving management companies that have implemented BIM in their operations. The research was conducted between 2022 and 2024 as part of a master's thesis prepared at NRU MGSU and included surveys of management organizations, technical personnel, and other stakeholders involved in residential building operation. The case studies provided detailed insights into the practical application of BIM and its impact on operational efficiency.

Quantitative data were obtained from operational performance indicators recorded before and after the implementation of BIM technologies. The analyzed indicators included response time to maintenance requests, repair costs, tenant satisfaction levels, and energy consumption data [7]. These metrics were selected to create a comprehensive view of operational efficiency, covering both financial and non-financial aspects of property management. For instance, response time to requests was measured in hours, while tenant

[1] Plan of Measures ("Roadmap") for the Use of Building Information Modelling Technologies in the Design and Construction of Capital Construction Projects, as well as for Stimulating the Use of Energy Efficient and Environmentally Friendly Materials, Including the Need for Their Production in the Russian Federation). Order from 20.12.2021 No. 3719 r.

Table 1. Summary of Data Sources and Methods

Data Type	Source	Method
Quantitative	Maintenance records	Statistical tests
Qualitative	Stakeholder interviews	Thematic analysis
Mixed	Tenant surveys	Descriptive statistics

satisfaction was assessed on a scale from 1 to 5. Energy consumption data were obtained from building management systems integrated with BIM, enabling real-time monitoring and historical data analysis.

Qualitative data were gathered through in-depth interviews with key stakeholders to understand perceptions of the benefits and challenges associated with BIM implementation in operational management. Interview questions focused on aspects such as changes in workflow efficiency, communication improvements, and overall impact on tenant satisfaction. Additionally, focus group discussions were conducted with technical teams to collect feedback on BIM tools, including ease of information access and influence on daily tasks.

The study's analytical framework included statistical analysis of quantitative data and thematic analysis of qualitative interview data. Statistical analysis involved paired t-tests to assess the significance of observed changes [8], while qualitative analysis was performed using NVivo software to categorize and interpret interview responses. The mixed-method approach ensured a comprehensive understanding of both measurable outcomes and subjective experiences related to BIM adoption [9]. The combination of quantitative and qualitative data allowed for a more detailed assessment of BIM's impact on operational efficiency.

To enhance data reliability, triangulation was applied, utilizing multiple data sources and approaches to cross-validate results, thereby increasing the validity of findings. By integrating survey data, interviews, and performance indicators, efforts were made to conduct a balanced and well-founded analysis of BIM implementation outcomes. Additionally, observational data were collected through site visits to better understand the daily use of BIM tools by technical personnel and management staff. These observations provided contextual information that complemented the quantitative metrics and qualitative interviews.

The methodology also included a comparison of BIM implementation with traditional management methods by analyzing a control group of management organizations that had not yet adopted BIM. This approach provided a clearer understanding of the benefits and challenges associated with BIM use in the operational phase. The comparative analysis helped identify areas where BIM delivered the most significant improvements, as well as areas where traditional methods retained certain advantages.

By tracking changes over an extended period, trends and improvements that may not have been immediately apparent were recorded. This approach also allowed for an assessment of the sustainability of BIM benefits, including the potential for maintaining or enhancing initial improvements in efficiency, cost savings, and tenant satisfaction over time. The longitudinal aspect of the study was crucial for understanding the dynamics of BIM integration and its long-term viability as a tool for operational management.

The use of both qualitative and quantitative data enabled triangulation, increasing the reliability of findings. The mixed-method approach also facilitated the identification of patterns that may not have been evident from a single data source (Table 1). For example, while quantitative data indicated a reduction in maintenance costs, qualitative data revealed that maintenance staff found BIM tools useful for more effective task planning and prioritization.

The methodology also examined the use of Geographic Information Systems (GIS) in conjunction with BIM to enhance the spatial analysis of real estate assets. GIS was integrated with BIM models to visualize the geographic distribution of maintenance needs and resource allocation, thereby providing a more comprehensive view of the operational landscape. This integration enabled management organizations to optimize logistics, such as deploying maintenance teams to various locations based on spatial proximity and task urgency.

Furthermore, the study considered the training and adaptation processes necessary for the successful implementation of BIM. Detailed records of training sessions — including participant feedback and skill assessments — were analyzed to assess the effectiveness of various training approaches. This analysis underscored the importance of practical, scenario-based training to ensure that personnel fully comprehend the real-world applications of BIM tools in their daily tasks. The findings indicated that well-structured training programs were essential for overcoming resistance to change and ensuring that all team members acquired the competencies required for effective use of BIM technologies.

RESULTS AND CONCLUSION

The results demonstrate that the implementation of BIM technologies (see Fig. 1) significantly enhances the operational efficiency of property management.

These findings are supported by the following key results:

1. Reduction in Response Time for Maintenance Requests. The ability of BIM to provide up-to-date and comprehensive information on building asset conditions resulted in a reduction of response time by approximate-

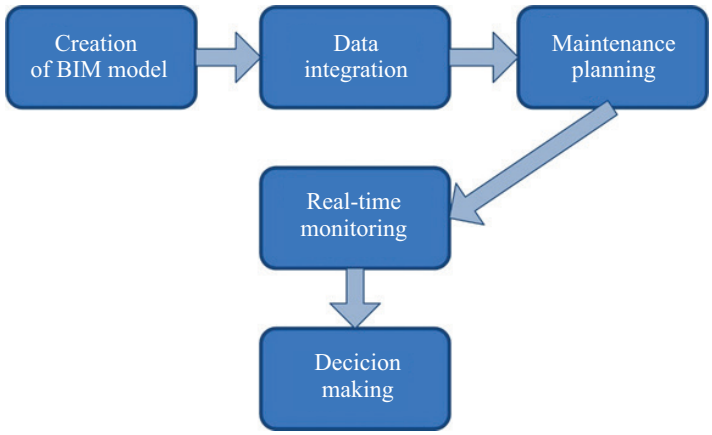

Fig. 1. BIM Integration Scheme in Property Management

ly one-third, which corresponds to a 35 % improvement compared to traditional methods [10] (see Fig. 2).

This improvement is attributed to the centralized access to detailed information about building systems, which enables technical personnel to identify and resolve issues more rapidly[2]. Moreover, the integration of mobile devices with BIM models allowed maintenance teams to access and update information on-site, further reducing response times. Staff reported that remote access to building data via tablets or smartphones was a significant advantage, particularly in emergency situations.

BIM also provided maintenance teams with access to historical data, which helped identify recurring issues and implement long-term solutions. This proactive maintenance approach not only reduced response times but also contributed to a decrease in overall maintenance costs by minimizing the frequency of repeated failures. The integration of predictive analytics further enhanced maintenance efficiency by enabling property managers to anticipate potential failures and schedule preventive maintenance.

The digital asset management capabilities provided by BIM also played a crucial role in optimizing maintenance operations. By maintaining an up-to-date digital inventory of building components, managers could easily monitor the condition of various assets, such as heating, water supply, and drainage systems (HVAC), elevators, and fire safety equipment. This level of detail facilitated more effective planning and resource allocation, ensuring that critical components received necessary attention before severe issues arose. Additionally, the integration of building automation systems with BIM enabled automatic monitoring and early detection of operational deviations, significantly reducing response times.

2. Cost Reduction. Analysis revealed a 20 % decrease in operational costs, attributed to more efficient

[2] BuildingSMART International. IFC Standards for BIM. 2020

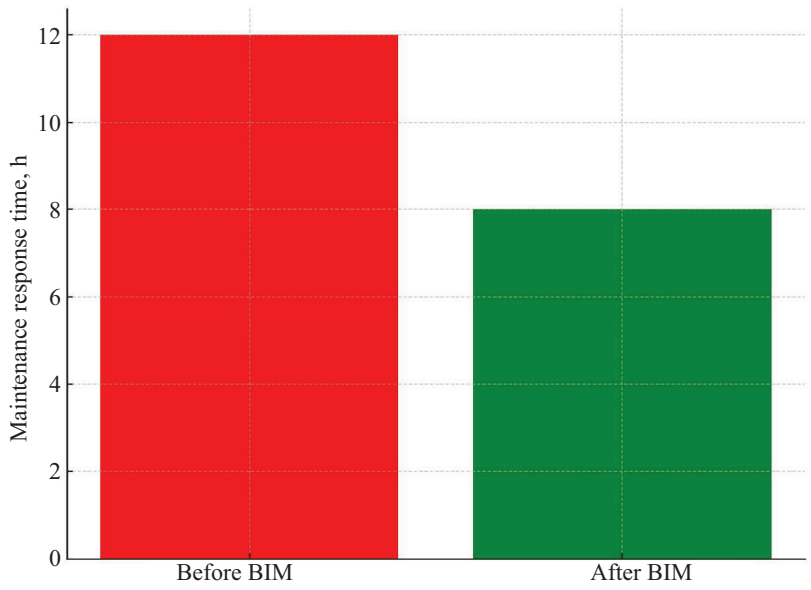

Fig. 2. Maintenance Response Time Before and After BIM Implementation

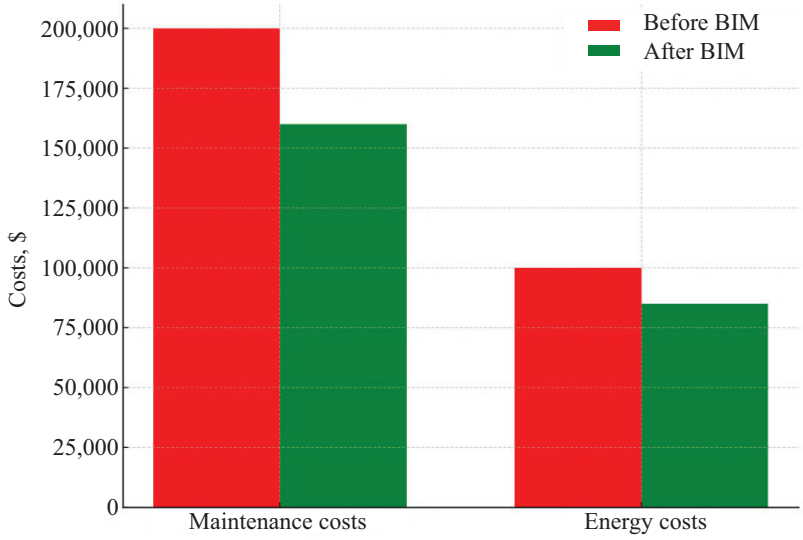

Fig. 3. Cost Analysis of Operational Management

maintenance planning and optimized resource allocation via BIM models (Fig. 3). Predictive maintenance, based on historical data and sensor information, enabled BIM to minimize unexpected breakdowns and costly emergency repairs. Similar results were reported in [11].

Cost savings were also achieved through improved energy management. BIM models integrated with building management systems allowed property managers to monitor energy consumption in real time, identify inefficient zones, and implement targeted energy-saving measures. For example, automatic control of HVAC systems based on occupancy data helped reduce energy losses during off-peak hours. The ability to simulate various energy efficiency scenarios within a BIM environment enabled management organizations to make informed decisions regarding equipment upgrades and infrastructure improvements.

Additionally, energy savings could be realized through the integration of renewable energy systems with BIM models. Solar panels and/or other renewable energy sources can be monitored via BIM, allowing management organizations to optimize their usage and reduce reliance on the electrical grid. The BIM model provides a comprehensive overview of energy generation, storage, and consumption, thereby facilitating more effective management of energy resources. This integration not only contributes to cost savings but also supports sustainability objectives by reducing the building's carbon footprint.

3. Enhanced Tenant Satisfaction. Surveys indicated a significant improvement in tenant satisfaction; approximately 75 % of respondents reported faster response times and improved communication, as confirmed by [12] (Fig. 4).

The use of BIM contributed to increased transparency in maintenance processes, as tenants were able to access real-time information on the status of repair work. Improved interactions between management organizations and tenants further enhanced trust and the perceived quality of services, as noted in [13]. Tenant feedback emphasized the importance of timely updates, and the communication tools provided by BIM played a key role in meeting these expectations.

In addition to transparency in maintenance issues, BIM also provides property owners with the ability to interact with the management organization through digital platforms, such as mobile applications, which update in real time on the status of building systems, maintenance schedules, and energy consumption. These digital platforms allow residents to directly report problems and track their resolution, increasing their engagement and satisfaction with property management services. Integrating resident feedback into the BIM model also helps managers more effectively address issues and tailor services to the specific needs of owners.

4. Improving Energy Efficiency. BIM integration helped reduce energy consumption by 15 % through optimized monitoring and control of HVAC systems (similar results are shown in Fig. 5 from [14]).

By providing a detailed digital model of the building's energy systems, BIM enabled managers to identify inefficient areas and implement targeted measures. The ability to model various energy-saving scenarios in the BIM environment also supported informed decision-making, further contributing to energy efficiency improvements. Similar justifications are provided in the European Guide[3].

Energy savings were also achieved by integrating renewable energy systems with the BIM model. Solar panels and other renewable energy sources were monitored through BIM, allowing managers to optimize their use and reduce dependence on the power grid. The BIM model provided a holistic view of energy generation, storage, and consumption, promoting more efficient resource management. This integration not only ensured savings but also supported sustainability goals by reducing the building's carbon footprint.

[3] Federation of European Heating, Ventilation, and Air Conditioning Associations. Guide to BIM and Building Services. 2021.

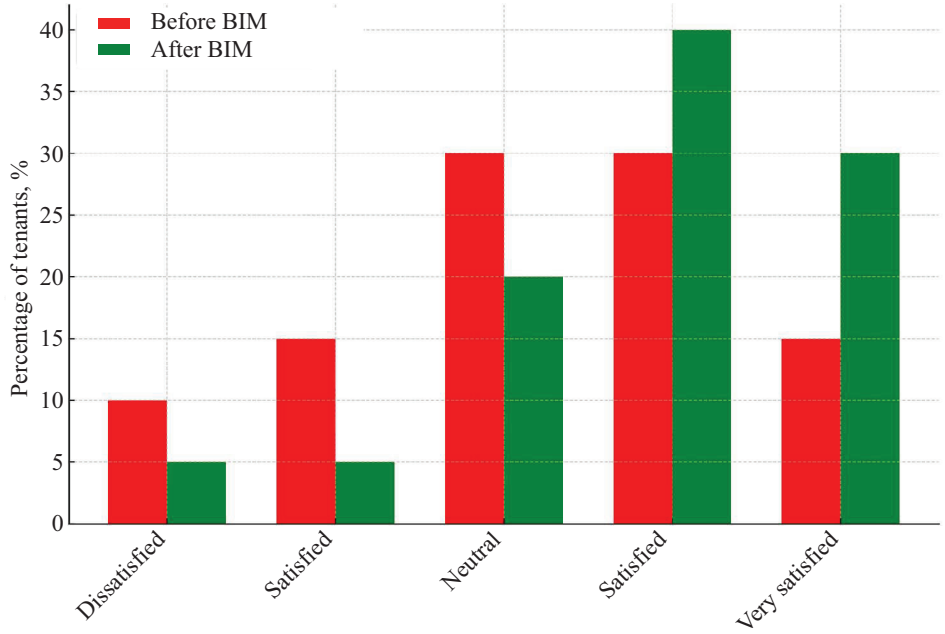

Fig. 4. Tenant Satisfaction Survey Results

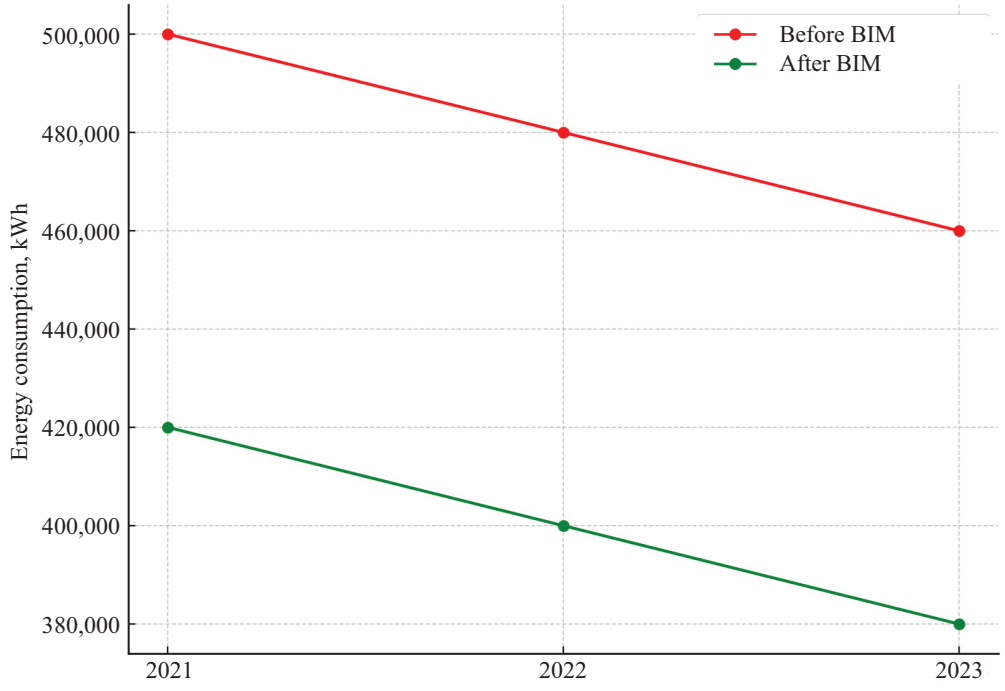

Fig. 5. Energy consumption comparison

Discussion the obtained results indicate that BIM provides significant advantages for operational management (Table 2), particularly in reducing response time and lowering operating costs. Real-time data integration and predictive analytics in BIM models significantly enhance managers' ability to make informed decisions, allowing them to be more proactive rather than reactive to identified failures.

BIM implementation also contributed to better resource allocation and workforce management. Maintenance teams gained the ability to plan their schedules more effectively based on data provided by the BIM model, which considers equipment status, maintenance history, and projected needs. This level of detail allows managers to allocate resources where they are most needed, reducing staff downtime and increasing productivity. Additionally, integrating digital checklists and automatic reminders ensures timely completion of scheduled work, further enhancing operational efficiency. This is also confirmed in [15].

Integrating sensor data with BIM models facilitates predictive maintenance, minimizing the likelihood

Table 2. Key benefits of BIM implementation

Benefit	Effect
Response time to service requests	Reduced by 35 %
Operating costs	Reduced by 20 %
Resident satisfaction	Increased by 75 %
Energy consumption	Reduced by 15 %

of failures and extending the lifespan of building components. Similar results are reported in [16, 17].

Fig. 6 illustrates the flow of information in a real-time BIM environment, showing how property managers use data for decision-making in emergencies and routine maintenance planning.

The figure depicts:

1. The BIM model database as the primary data source.

2. The data analytics and processing unit, converting raw data into useful information.

3. The property management dashboard for managers to access updates and real-time notifications.

4. The maintenance team interface with digital checklists and reminders.

5. Separate workflows for planned maintenance and emergency response to prioritize work based on data.

The role of BIM in facilitating collaboration among stakeholders cannot be overstated. By providing a centralized platform for information exchange, BIM enhances communication and coordination among managers, technical teams, contractors, and residents. This collaborative approach ensures that all parties are informed about ongoing activities, upcoming maintenance schedules, and potential issues. As a result, stakeholders are better prepared, and the likelihood of conflicts and misunderstandings is reduced.

The integration of BIM with other technologies, such as IoT, further expands BIM's capabilities. For example, IoT sensors embedded in building systems can transmit real-time data to the BIM model, allowing managers to monitor parameters such as temperature, humidity, and equipment condition. This integration supports predictive maintenance by notifying managers of potential problems before they escalate. The combination of BIM and IoT creates a "smart" building environment where data-driven decisions lead to improved performance and reduced operational costs.

At the same time, the study identified challenges associated with BIM implementation, including high initial costs and the need for specialized staff training. The expenses for software, hardware, and initial setup can be a barrier for smaller management companies, as also indicated by foreign researchers [18]. Additionally, successful BIM implementation requires changes in organizational culture and processes, which can be difficult to achieve without strong leadership and a clear vision. Despite these challenges, the long-term benefits of using BIM, such as improved asset management and increased resident satisfaction, outweigh the initial investment.

CONCLUSIONS

This study concludes that integrating BIM technologies into the operational work of management organizations significantly improves efficiency, reduces costs, and enhances service quality. The benefits of BIM implementation in operational management are evident: reduced response time for maintenance requests, cost savings, and increased energy efficiency. These conclusions are also supported by findings from international researchers, as reflected in [19, 20]. Despite the challenges related to initial costs and training requirements, the long-term advantages make BIM a valuable investment for management organizations.

Future research should focus on developing standardized BIM training programs and exploring the potential for integrating BIM with emerging technologies such as IoT and AI for further optimization. Additionally, future studies will need to examine the scope of BIM adoption in smaller management companies and determine strategies for overcoming possible implementation barriers. The integration of advanced analytics and machine learning with BIM also presents an intriguing avenue for further research, with the potential to enhance predictive capabilities and optimize building operations.

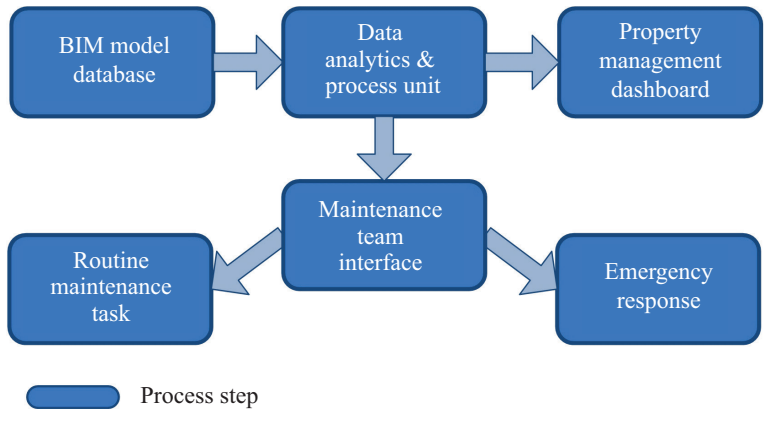

Fig. 6. Real-time data access and decision-making process in BIM

The development of BIM standards and best practices will be crucial for management companies to fully realize the potential of this technology. Collaboration among industry representatives, academic institutions, and government agencies will play a key role in driving innovation and establishing guidelines that promote the widespread adoption of BIM in building operations. By implementing BIM, management organizations can create more efficient, sustainable, and adaptable environments that meet the evolving needs of residents and stakeholders.

REFERENCES

1. Matveev D.A. Implementation of BIM Technologies in the Management of Multi-Apartment Buildings During the Operation Phase. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* 2024; 20(2):155-162. DOI: 10.22337/2587-9618-2024-20-2-155-162

2. Larionova Yu.V., Matveev D.A., Nezametdinov I.M. Implementation of information modeling technologies in the management of apartment buildings. *Real Estate: Economics and Management.* 2023; 3S:212-215. EDN DLQYUV. (rus.).

3. Ehab A., Mahdi M., El-Helloty A. BIM Maintenance System with IoT Integration: Enhancing Building Performance and Facility Management. *Civil Engineering Journal.* 2024; 10(6):1953-1973. DOI: 10.28991/CEJ-2024-010-06-015

4. Edirisinghe R., Woo J. BIM-based performance monitoring for smart building management. *Facilities.* 2021; 39(1/2):19-35. DOI: 10.1108/F-11-2019-0120

5. Pomè A.P., Signorini M. Real time facility management: assessing the effectiveness of Digital Twin in the Operation and Maintenance phase of building life cycle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2023; 1176(1):012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1176/1/012003

6. Alhammad M., Eames M., Vinai R. *Enhancing Building Energy Efficiency through Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Modeling (BEM) Integration : a Systematic Review. Buildings.* 2024; 14(3):581. DOI: 10.3390/buildings14030581

7. Talapov V.V. *Basics of BIM: An Introduction to Building Information Modeling.* Moscow, LitRes, 2024; 394. (rus.).

8. Bevans R. An Introduction to t Tests | Definitions, Formula and Examples. *Scribbr.* 2023.

9. Ariffin E.Y., Mustafa N.E., Sapri M. Perspective towards the Perceived Benefits and Challenges on Building Information Modelling — Facility Management (BIM-FM) Integration at an Early Stage of BIM Projects. *International Journal of Real Estate Studies.* 2023; 17(1):70-82. DOI: 10.11113/intrest.v17n1.198

10. Vishnivetskaya A., Mikhailova A. Employment of BIM Technologies for Residential Quarters Renovation: Global Experience and Prospects of Implementation in Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019; 497:012020. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012020

11. Wang L., Zhou X. Impact of BIM on Operational Efficiency. *International Journal of Property Management.* 2021; 36(2):115-130.

12. He Q., Zeng H., Tong I., Yao F. Evaluation Index System for Resident Satisfaction in Urban Renewal and Reconstruction Based on Grounded Theory. *Lecture Notes in Operations Research.* 2024; 1815-1835. DOI: 10.1007/978-981-97-1949-5_127

13. Fernandez R., Morales T. Case Study: BIM in Multi-Apartment Buildings. *Journal of Property Engineering.* 2022; 29(5):402-415.

14. Kozlovská M., Petkanic S., Vranay F., Vranay D. Enhancing Energy Efficiency and Building Performance through BEMS-BIM Integration. *Energies.* 2023; 16(17):6327. DOI: 16. 6327. DOI: 10.3390/en16176327

15. Gorodnova N.V., Lemeza V.A. BIM technologies in the digital economy: world experience and Russian practice. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law.* 2022; 12(8):2241-2260. DOI: 10.18334/epp.12.8.115082. EDN XSISOS. (rus.).

16. Chandu H.S. Enhancing Manufacturing Efficiency: Predictive Maintenance Models Utilizing IoT Sensor Data. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology.* 2024; 10(9).

17. Saputra P.C., Prabowo H., Ramadhan A., Madyatmadja E.D. Trends of Digital Transformation in the Property Management Industry : a Systematic Literature Review. *IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST).* 2023; 552-557. DOI: 10.1109/SIST58284.2023.10223582

18. Cheng J.C.P., Chen W., Chen K., Wang Q. Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction.* 2020; 12:103087. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103087

19. Alsamarraie M., Ghazali F. Cost-benefit analysis of using BIM compared to traditional methods in Iraq's public construction projects. *ASEAN Engineering Journal.* 2023; 13(2):107-114. DOI: 10.11113/aej.v13.18982

20. Yang C. Digital Application Objectives and Benefit Analysis of BIM Technology in Large-Scale Comprehensive Development Projects. *Journal of World Architecture.* 2024; 8(5):24-28. DOI: 10.26689/jwa.v8i5.8741

Received February 12, 2025.
Adopted in revised form on February 18, 2025.
Approved for publication on March 28, 2025.

BIONOTES: **Pavel P. Oleynik** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 399946, Scopus: 10043771900, ResearcherID: X-4463-2019, ORCID: 0001-8425-2974; cniomtp@mail.ru;

Dmitry A. Matveev — postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1192577, Scopus: 59207084100; ResearcherID: JKI-0449-2023, ORCID: 0000-0002-5057-6433; d.a.matveev@gmail.com.

Contribution of the authors:
Pavel P. Oleynik — scientific guidance, formulation of the research concept and scientific text editing.
Dmitry A. Matveev — idea, collecting material, material processing, conducting a study, final conclusions, writing and formatting of the article.
The authors declare that there is no conflict of interest.