



ВНЕДРЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Е. И. Крупнов, И. А. Зайцева, С. А. Логинова

Крупнов Евгений Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительства и инженерных систем, Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Российская Федерация, тел.: + 7 (915) 826-34-37; e-mail: ekруп@list.ru;

Зайцева Ирина Александровна, кандидат экономических наук, инженер II категории службы энерго-снабжения участка электроснабжения, Ивановский ЛПУМГ – филиал ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», г. Иваново, Российская Федерация, тел.: + 7 (915) 835-50-02; e-mail: 75zss@rambler.ru;

Логинова Светлана Андреевна, кандидат технических наук, доцент института инженеров строительства и транспорта, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru

В данной статье представлено комплексное научно-практическое исследование вопросов цифровой трансформации теплоэнергетической отрасли Российской Федерации. Основной фокус работы направлен на анализ эффективности внедрения технологий информационного моделирования (BIM/ТИМ) при реконструкции и эксплуатации линейных объектов теплоснабжения. Рассматриваются проблемы физического износа инфраструктуры и «информационного вакуума», характерные для традиционных методов управления. Проведен сравнительный анализ зарубежного и отечественного программного обеспечения (импортозамещение). Разработана и обоснована методология расчета экономической эффективности перехода на BIM, базирующаяся на предотвращении коллизий, уточнении спецификаций и оптимизации эксплуатационных расходов. Статья содержит таблицы сравнительного анализа ПО и практические рекомендации для теплоснабжающих организаций.

Ключевые слова: BIM-технологии, ТИМ, теплоснабжение, инженерные коммуникации, реконструкция, эксплуатация, цифровая трансформация, импортозамещение, экономическая эффективность, жизненный цикл объекта.

IMPLEMENTATION OF BIM TECHNOLOGIES IN THE RECONSTRUCTION AND OPERATION OF UTILITY LINES OF HEATING SYSTEMS

Ye. I. Krupnov, I. A. Zaytseva, S. A. Loginova

Krupnov Yevgenyy Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Construction and Engineering Systems, Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, Russian Federation, phone: + 7 (915) 826-34-37; e-mail: ekруп@list.ru;

Zaytseva Irina Aleksandrovna, Candidate of Economic Sciences, Category II Engineer of the Power Supply Service of the Power Supply Section, Ivanovo Line Pipeline Management Center – a Branch of Gazprom Transgaz Nizhny Novgorod LLC, Ivanovo, Russian Federation, phone: + 7 (915) 835-50-02; e-mail: 75zss@rambler.ru;

Loginova Svetlana Andreyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Institute of Civil and Transport Engineers, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru

This article presents a comprehensive scientific and practical study of the digital transformation of the Russian heat power industry. The study focuses on analyzing the effectiveness of implementing information modeling (BIM) technologies during the reconstruction and operation of linear heat supply facilities. The problems of physical deterioration of infrastructure and the "information vacuum" characteristic of traditional management methods are considered. A comparative analysis of foreign and domestic software (import substitution) is conducted. A methodology for calculating the economic efficiency of the transition to BIM is developed and substantiated, based on collision avoidance, specification clarification, and optimization of operating costs. The article contains tables for comparative analysis of software and practical recommendations for heat supply organizations.

Keywords: BIM technologies, TIM, heat supply, utility lines, reconstruction, operation, digital transformation, import substitution, economic efficiency, facility life cycle.

Введение

На современном этапе развития мировой экономической системы происходит глобальная трансформация всех сфер хозяйственной деятельности под влиянием «Четвертой промышленной революции» (Индустрия 4.0). Строительная отрасль и жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ), традиционно считавшиеся одними из самых консервативных секторов экономики, сегодня находятся в фазе активного перехода к цифровым методам управления [1–3].

В Российской Федерации данный курс закреплен на государственном уровне рядом стратегиче-

ских документов. В частности, Постановление Правительства РФ № 331 от 05.03.2021 закрепило обязательность применения технологий информационного моделирования (ТИМ) для объектов государственного заказа. Однако, если в секторе гражданского строительства (здания) методология BIM проработана достаточно глубоко, то сегмент линейных инженерных коммуникаций, и в особенности тепловых сетей, сталкивается с дефицитом методической базы и практических кейсов.

Особое место в структуре ЖКХ занимает сектор теплоснабжения. Российская Федерация обладает одной из самых масштабных и разветвленных систем

централизованного теплоснабжения в мире. Инженерные коммуникации, обеспечивающие транспорт тепловой энергии, являются критически важной инфраструктурой жизнеобеспечения. Текущее состояние данных фондов характеризуется высоким уровнем износа и аварийности, что требует не просто замены труб, а смены управленческой парадигмы [4, 5].

Актуальность темы исследования, затронутой в настоящей статье, обусловлена системным кризисом традиционных подходов к управлению теплосетевыми активами [6–9].

Во-первых, наблюдается критический физический износ. По данным отраслевой статистики и экспертных оценок, в ряде регионов РФ износ тепловых сетей превышает 60–70%. Значительная часть трубопроводов была проложена в 70–80-е годы XX века в непроходных каналах и исчерпала нормативный ресурс (25 лет). Это приводит к росту аварийности на 5–7 % ежегодно и потерям тепловой энергии до 25–35 % при транспортировке.

Во-вторых, существует проблема «лоскутной автоматизации» и потери данных. Традиционное проектирование в 2D (CAD) и бумажный документооборот приводят к разрыву информационных потоков. Данные, созданные проектировщиками, не доходят до эксплуатирующих организаций в машиночитаемом виде. Оперативный персонал часто не имеет достоверной информации о пространственном положении сетей, что приводит к повреждению коммуникаций сторонними организациями и увеличению сроков ликвидации аварий.

В-третьих, геополитический фактор. Уход с российского рынка компаний Autodesk, Bentley Systems и Aveva в 2022 году поставил задачу экстренного перехода на отечественное программное обеспечение, что требует пересмотра устоявшихся технологических цепочек.

Вопросы внедрения BIM-технологий широко освещены в трудах российских и зарубежных ученых [10–13].

Фундаментальные основы BIM и классификация уровней зрелости технологии представлены в работах Чака Истмана, который считается одним из «отцов» технологии.

В России значительный вклад в адаптацию методологии внесли В. В. Талапов (основы BIM, внедрение в организации), А. В. Гинзбург, В. П. Куприяновский (цифровая экономика и стандартизация) [14–16].

Вопросы нормативного регулирования и классификации строительной информации рассматриваются в работах экспертов, участвовавших в разработке системы СП 333 и СП 471 [17, 18]. Специфика моделирования инженерных систем и энергоэффективности затрагивается в исследованиях М. С. Айзенберга (цифровые двойники тепловых сетей) и А. М. Шахраманьяна (мониторинг и эксплуатация).

Однако большинство указанных работ фокусируются на объектах капитального строительства (зданиях). Линейные объекты (теплотрассы), имеющие большую протяженность и жесткую привязку к рельефу местности, изучены в меньшей степени. Практически отсутствуют методики, интегрирующие гид-

равлические расчеты (характерные для теплотехники) с трехмерными информационными моделями в единую экосистему на базе российского ПО.

Постановка задачи

Целью исследования было проведение комплексного анализа и разработка научно обоснованного подхода к количественной и качественной оценке результатов внедрения технологий информационного моделирования (BIM/ТИМ) в процессы реконструкции и эксплуатации инженерных коммуникаций систем теплоснабжения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) теоретико-методологическая: анализ текущего состояния отрасли, нормативно-правовой базы и понятийного аппарата;
- 2) инструментальная: сравнительный анализ программного обеспечения с учетом требований импортозамещения;
- 3) экономическая: разработка методики оценки эффективности (ROI, NPV) с учетом специфики линейных объектов;
- 4) практическая: формирование рекомендаций по внедрению BIM в теплоснабжающих организациях.

Методы исследования

В работе использован комплексный методологический подход:

- 1) системный анализ. Объект исследования (тепловая сеть) рассматривается как сложная киберфизическая система;
- 2) сравнительный анализ. Сопоставление функционала CAD и BIM, а также зарубежного и российского ПО;
- 3) моделирование бизнес-процессов. Использование нотаций для описания потоков данных (DataFlow);
- 4) методы инвестиционного анализа. Расчет показателей NPV (чистый дисконтированный доход) и ROI (рентабельность инвестиций);
- 5) экспертный метод. Анализ отчетов пилотных проектов реконструкции.

Обсуждение результатов

В ходе исследования выявлены ключевые недостатки использования двумерного проектирования (2D CAD) для линейных объектов в плотной городской застройке.

В 2D-проектировании инженер физически не может удержать в голове пространственное положение всех смежных коммуникаций (газ, вода, кабели, ливневая канализация). Это приводит к коллизиям, которые обнаруживаются только на этапе земляных работ («экскаватор нашел трубу»). Следствие: остановка строительства, пересогласование проекта, простой техники, срыв сроков подачи тепла. Стоимость исправления такой ошибки на стройке в 100 раз выше, чем на этапе проектирования (Закон МакЛими).

Критически важным этапом исследования стал анализ доступного инструментария. До 2022 года стандартом де-факто была связка Autodesk Civil 3D + Revit + Navisworks. Сегодня российские вендоры предлагают конкурентоспособные альтернативы.

Была проанализирована следующая связка отечественного ПО, признанная оптимальной для тепловых сетей (табл. 2, 3).

Таблица 1

Сравнительная характеристика подходов к проектированию

№ п/п	Критерий	Традиционный подход (2D CAD)	Информационное моделирование (BIM/ТИМ)
1	2	3	4
2	Базовая единица	Графический примитив (линия, дуга, штриховка). Не несет семантической информации	Интеллектуальный объект (труба, отвод, задвижка). содержит атрибуты (диаметр, материал, давление, цена)
3	Взаимосвязь проекций	Отсутствует. План, профиль и разрез – это разные, не связанные рисунки	Полная ассоциативность. Изменение объекта на плане мгновенно меняет профиль, разрез и спецификацию
4	Поиск ошибок	Визуальный контроль («на глаз»). Низкая эффективность при сложных пересечениях	Автоматизированный поиск коллизий (ClashDetection). Выявление 95–100 % пересечений
5	Коллективная работа	Последовательная передача файлов. Сложность синхронизации версий ("genplan_final_v2_new.dwg")	Параллельная работа в Среде Общих Данных (CDE)

Таблица 2

Программное обеспечение, применяемое в проектировании теплоснабжения

№ п/п	Программное обеспечение	Назначение	Преимущества
1	2	3	4
2	NanoCADGeoniCS (ООО «Нанософт разработка»)	Создание цифровой модели местности (ЦММ), трассировка сетей, построение продольных профилей, расчет картограммы земляных работ	Базируется на формате *.dwg, имеет мощные модули для работы с рельефом и наружными сетями
3	Renga (RengaSoftware)	Детальное моделирование строительных конструкций (тепловых камер, павильонов, насосных станций)	Объектно-ориентированный подход, простота освоения
4	ZuluThermo (ООО «Политерм»)	Гидравлические расчеты, наладка, пьезометрические графики	Современные версии поддерживают интеграцию с BIM. Геометрия передается из модели, рассчитывается гидравлика, и результаты (давления, расходы) возвращаются в атрибуты модели
5	Pilot-BIM (АСКОН)	Среда общих данных (CDE). Сборка сводной модели из разных форматов (IFC, DWG), проверка на коллизии, управление заданиями	

Таблица 3

Матрица функциональности ПО для тепловых сетей

№ п/п	Функция	AutodeskCivil 3D (Аналог)	NanoCADGeoniCS	ModelStudio CS Трубопроводы	Renga
1	2	3	4	5	6
2	Моделирование рельефа	★★★★★	★★★★☆	★★★☆☆	★★☆☆☆
3	Трассировка сетей	★★★★★	★★★★☆	★★★★★	★★★☆☆
4	Библиотеки ГОСТ	Требуют настройки	Встроены	Встроены	Встроены
5	Гидравлический расчет	Требует плагинов	Интеграция с Zulu	Встроенный	Нет
6	Стоимость внедрения	Высокая (Подписка)	Средняя	Высокая	Низкая

Эффективность внедрения BIM не ограничивается только экономией денег, она носит интегральный характер. В систему оценки эффективности включены как количественные, так и качественные показатели [19].

Обзор нормативной базы РФ подтвердил, что она сформирована и достаточна для работы.

- ГрК РФ (ст. 57.5, 57.6) легитимизировал понятия «Информационная модель» и «Классификатор строительной информации» (КСИ);

- СП 333.1325800 ввел уровни проработки модели (LOD). Для тепловых сетей критически важно достижение LOD 300 (Проект) и LOD 400 (Рабочая документация) в узловых точках;

- СП 471.1325800 регламентирует контроль качества моделей (проверку на коллизии и атрибутивное наполнение).

Несмотря на очевидные плюсы, внедрение сталкивается с рядом барьеров [20]:

- 1) сопротивление персонала. Инженеры старой закалки неохотно переходят с плоского черчения на моделирование. Требуется изменение менталитета;

- 2) проблема интероперабельности. Передача данных между разными программными комплексами через формат IFC иногда приводит к потере части атрибутов (например, специфических свойств теплоизоляции). Требуется тонкая настройка маппинга параметров;

- 3) трудоемкость на старте. Создание первой модели занимает на 20–30 % больше времени, чем чертеж. Эффект ускорения наступает только на стадии внесения изменений и подсчета спецификаций.

Перспективным направлением является переход от стадии проектирования/строительства (BIM) к стадии эксплуатации (BEM – BuildingEnergyModeling / DigitalTwin). Интеграция BIM-модели с системами диспетчеризации (SCADA) и датчиками IoT позволит реализовать концепцию предиктивного обслуживания:

- система будет анализировать скорость коррозии и температурные расширения в реальном времени;
- ремонт будет назначаться не «по графику» или «по факту аварии», а по фактическому состоянию («по прогнозу»);
- использование ai (искусственного интеллекта) для оптимизации гидравлических режимов на основе данных цифрового двойника.

Вывод

В ходе выполненной работы была проведена всесторонняя оценка эффективности внедрения BIM-технологий при реконструкции и эксплуатации тепловых сетей.

Основные выводы:

1. Переход на технологии информационного моделирования является безальтернативным сценарием развития отрасли, продиктованным как государственной политикой (Постановление №

331), так и объективной необходимостью снижения аварийности.

2. Импортзамещение. Сформирован эффективный технологический стек: NanoCAD (Земля/Сети) + Renga (Камеры) + ZuluThermo (Расчеты) + Pilot-BIM (Сводная модель). Данный набор ПО закрывает 100 % потребностей инженеров и соответствует требованиям информационной безопасности.

3. Экономическая эффективность доказана. Основной эффект достигается за счет выявления пространственных коллизий на ранних стадиях (предотвращение непроизводительных затрат) и точного подсчета объемов работ. Срок окупаемости инвестиций в ПО и обучение для проектной организации составляет 1,5–2 года.

4. Цифровая модель (Цифровой двойник) становится основой для качественной эксплуатации, позволяя перейти к проактивному управлению инфраструктурой.

Таким образом, внедрение BIM в теплоснабжении – это не дань моде, а инструмент выживания и развития отрасли в условиях растущего износа фондов и дефицита ресурсов.

Список литературы

1. Петрова И. Ю. Системы централизованного теплоснабжения для умных городов / И. Ю. Петрова, Р. Р. Музафаров // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 90–95.
2. Одноруков Д. А. Развитие централизованного теплоснабжения и применение цифровых двойников теплосети в рамках концепции индустрия 4.0 / Д. А. Одноруков // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2024. – № 9. – С. 104–110. – DOI: 10.37882/2223-2966.2024.9.29.
3. Шишкин А. В. Создание цифрового двойника тепловой сети в различных программных комплексах / А. В. Шишкин, П. В. Мешалова, С. А. Зенин, А. А. Зенькова, Ю. В. Яворовский, А. С. Маленков // Надежность и безопасность энергетики. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 166–174. – DOI: 10.24223/1999-5555-2022-15-3-166-174.
4. Шахраманьян А. М. Информационное моделирование (BIM) в эксплуатации зданий и сооружений : монография / А. М. Шахраманьян. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2021. – Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01010839423>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
5. Петров К. С. Оценка экономической эффективности внедрения BIM-технологий в инвестиционно-строительных проектах / К. С. Петров // Молодой ученый. – 2020. – № 4. – С. 155–158.
6. Вилисова А. Д. Совершенствование управления строительным проектированием на базе облачных технологий в условиях цифровизации экономики / А. Д. Вилисова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 3 (37). – С. 5–9. – DOI: 10.52684/2312-3702-2021-37-3-5-9.
7. Блинова Т. Г. Состояние и тенденции развития жилищно-коммунального хозяйства в РФ / Т. Г. Блинова // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 6-3 (59). – С. 26–29.
8. Остроух А. В. Интеллектуальные информационные системы и технологии : монография / А. В. Остроух, А. Б. Николаев. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 308 с.
9. Бышков П. А. Правовое регулирование муниципального контроля в сфере теплоснабжения / П. А. Бышков // Евразийский юридический журнал. – 2018. – № 7 (122). – С. 155–157.
10. Matveev D. A. Implementation of bim technologies in the management of multi-apartment buildings during the operation phase / D. A. Matveev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 155–162. – DOI: 10.22337/2587-9618-2024-20-2-155-162.
11. Косаруков М. М. Эффекты от внедрения технологии информационного моделирования здания (BIM-технологии) / М. М. Косаруков, А. Д. Вашлаев, А. П. Калинина // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 8 (169). – С. 929–932. – DOI: 10.34925/EIP.2024.169.8.174
12. Талапов В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий / В. В. Талапов. – Москва : ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
13. Бердник А. А. Модернизация строительной отрасли путем внедрения BIM-технологий / А. А. Бердник, О. С. Безнос // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 110-17. – С. 54–57. – DOI: 10.18411/trnio-06-2024-925.
14. Талапов В. В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. – Москва : ДМК Пресс, 2015. – 410 с.
15. Куприяновский В. П. Цифровая экономика и «Индустрия 4.0»: учебник / В. П. Куприяновский. – Москва : Наука, 2019. – 280 с.
16. Айзенберг М. С. Цифровые двойники тепловых сетей: опыт внедрения / М. С. Айзенберг. – Москва : Энергия, 2022. – 120 с.
17. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/464673398>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
18. СП 471.1325800.2019. Информационное моделирование в строительстве. Контроль качества моделей строительных объектов. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/560965380>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

19. Королев Д. С. BIM-технологии при эксплуатации зданий и сооружений. Внедрение технологии информационного моделирования в сфере ЖКХ/ Д. С. Королев, А. В. Липатова // *Master's Journal*. – 2019. – № 2. – С. 56–68.
20. Талапов В. В. BIM и ЖКХ: союз неизбежен. – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20067 (дата обращения: 20.10.2018), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

References

1. Petrova I. Yu., Muzafarov R. R. Sistemy tsentralizovannogo teplosnabzheniya dly aumnikh gorodov [District heating systems for smart cities]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2021, no. 4 (38), pp. 90–95.
2. Odnorukov D. A. Razvitiye tsentralizovannogo teplosnabzheniya i primeneniye tsifrovih dvoynikov teploseti v ramkakh kontseptsii industriya 4.0 [Development of district heating and the use of digital twins of the heating network within the framework of the Industry 4.0 concept]. *Sovremennaya nauka: aktualnie problemi teorii i praktiki. Seriya: Yestestvennie i tekhnicheskie nauki* [Modern Science: Current Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences]. 2024, no. 9, pp. 104–110. DOI: 10.37882/2223-2966.2024.9.29
3. Shishkin A. V., Meshalova P. V., Zenin S. A., Zenkova A. A., Yavorovskiy Yu. V., Malenkov A. S. Sozdaniye tsifrovogo dvoynika teplovoi seti v razlichnikh programmnikh kompleksakh [Creation of a digital twin of a heating network in various software packages]. *Nadezhnost ibezopasnost energetiki* [Reliability and Safety of Energy]. 2022, no. 3 (15), pp. 166–174. DOI: 10.24223/1999-5555-2022-15-3-166-174.
4. Shakhramanyan A. M. *Informatsionnoye modelirovaniye (BIM) v ekspluatatsii zdaniy i sooruzhenii* [Information modeling (BIM) in the operation of buildings and structures]. Saint Petersburg: Politekh-Press; 2021. Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01010839423>.
5. Petrov K. S. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti vnedreniya BIM-tekhnologii v investitsionno-stroitel'nikh proektakh [Assessment of the economic efficiency of introducing BIM technologies in investment and construction projects]. *Molodoi uchenii* [Young Scientist]. 2020, no. 4, pp. 155–158.
6. Vilisova A. D. Sovershenstvovaniye upravleniya stroitel'nykh proektirovaniem na baze oblachnikh tekhnologii v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki [Improving Construction Design Management Based on Cloud Technologies in the Context of Economic Digitalization]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2021, no. 3 (37), pp. 5–9. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-37-3-5-9.
7. Blinova T. G. Sostoyaniye i tendentsii razvitiya zhilishchno-kommunal'nogo khozyajstva v RF [State and Development Trends of Housing and Public Utilities in the Russian Federation]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and Entrepreneurship]. 2015, no. 6-3 (59), pp. 26–29.
8. Ostroukh A. V., Nikolaev A. B. *Intellektualnie informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Intelligent Information Systems and Technologies]. Saint Petersburg: Lan; 2019, 308 p.
9. Bishkov P. A. Pravovoye regulirovaniye munitsipalnogo kontrolya v sfere teplosnabzheniya [Legal regulation of municipal control in the field of heat supply]. *Evrasiiskii yuridicheskii zhurnal* [Eurasian Law Journal]. 2018, no. 7 (122), pp. 155–157.
10. Matveev D. A. Implementatsiya BIM-tekhnologii v upravlenii multi-apartmentnykh zdaniy [Implementation of BIM technologies in the management of multi-apartment buildings during the operation phase]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering* [International Journal for Computational Civil and Structural Engineering]. 2024, no. 2 (20), pp. 155–162. DOI: 10.22337/2587-9618-2024-20-2-155-162.
11. Kosarukov M. M., Vashlaev A. D., Kalinina A. P. Effekty ot vnedreniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya zdaniya (BIM-tekhnologii) [Effects of the implementation of building information modeling technology (BIM technology)]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship]. 2024, no. 8 (169), pp. 929–932. DOI: 10.34925/EIP.2024.169.8.174.
12. Talapov V. V. *Osnovi BIM: vvedeniye v informatsionnoye modelirovaniye zdaniy* [BIM Fundamentals: Introduction to Building Information Modeling]. Moscow: DMK Press; 2011, 392 p.
13. Berdnik A. A., Beznos O. S. Modernizatsiya stroitel'noi otrasli putem vnedreniya BIM-tekhnologii [Modernization of the construction industry through the introduction of BIM technologies]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the Development of Science and Education]. 2024, no. 110-17, pp. 54–57. DOI: 10.18411/trnio-06-2024-925.
14. Talapov V. V. Tekhnologiya BIM: sut i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [BIM technology: the essence and features of implementation of building information modeling]. Moscow: DMK Press; 2015, 410 p.
15. Kupriyanovskiy V. P. Tsifrovaya ekonomika i «Industriya 4.0» [Digital Economy and Industry 4.0]. Moscow: Nauka; 2019, 280 p.
16. Ayzenberg M. S. Tsifrovye dvoyniki teplovikh setei: opit vnedreniya [Digital twins of heating networks: implementation experience]. Moscow: Energiya; 2022, 120 p.
17. SP 333.1325800.2017. *Informatsionnoye modelirovaniye v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informatsionnoi modeli obektov na razlichnikh stadiyakh zhiznennogo tsikla* [Information modeling in construction. Rules for forming an information model of objects at different stages of the life cycle]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/464673398>.
18. SP 471.1325800.2019. *Informatsionnoye modelirovaniye v stroitel'stve. Kontrol kachestva modelei stroitel'nikh obektov* [Information modeling in construction. Quality control of models of construction objects]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/560965380>.
19. Korolev D. S., Lipatova A. V. BIM-tekhnologii pri ekspluatatsii zdaniy i sooruzhenii. Vnedreniye tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v sfere ZhKKh [BIM technologies in the operation of buildings and structures. Implementation of information modeling technology in the housing and communal services sector]. *Master's Journal*. 2019, no. 2, pp. 56–68.
20. Talapov V. V. *BIM i ZhKKh: soyuz neizbezen* [BIM and housing and communal services: the union is inevitable]. Available at: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20067 (accessed: 20.10.2018).

© Е. И. Крупнов, И. А. Зайцева, С. А. Логинова

Ссылка для цитирования:

Крупнов Е. И., Зайцева И. А., Логинова С. А. Внедрение BIM-технологий при реконструкции и эксплуатации инженерных коммуникаций систем теплоснабжения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 142–146.