

Цифровое моделирование технического состояния зданий для целей технического обслуживания и ремонта

О. Н. Попова, А. С. Заостровская

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,
Архангельск*

Аннотация: Статья посвящена применению эксплуатационной цифровой модели для повышения эффективности технического обслуживания и ремонта объектов капитального строительства. Рассмотрены этапы жизненного цикла объектов с акцентом на эксплуатацию, проведен анализ процессов обслуживания и классификация дефектов. Выявлены ограничения традиционных дефектных актов, которые не содержат количественных и пространственных данных, что снижает их ценность для планирования ремонтов. Предложена цифровая модель для оптимизации управления техническим состоянием зданий, повышения точности оценок, определения объемов работ и улучшения взаимодействия управляющей и подрядной организаций. На примере учебно-лабораторного корпуса Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова описан процесс создания модели и ее преимущества, включая снижение затрат и повышение качества эксплуатации.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, эксплуатационная цифровая модель, дефект, дефектная ведомость, техническое состояние.

Введение

Существующая практика обследования технического состояния зданий, включающая полевое обследование, фотофиксацию дефектов и составление актов, характеризуется низкой эффективностью и периодичностью из-за трудоёмкости и субъективности визуального контроля.

Интеграция технологий информационного моделирования меняет эту парадигму, позволяя формализовать и структурировать данные о дефектах, обеспечивая их объективное представление и беспрепятственный обмен между участниками процесса [1-3]. Реальные дефекты отображаются в цифровой модели как пространственные объекты с атрибутами, такими как тип, размер, степень повреждения и необходимый объём ремонтных работ [4].

Эксплуатационная цифровая информационная модель, наследующая данные с предыдущих этапов жизненного цикла объекта, обеспечивает

участников актуальной и детальной информацией, упрощая планирование и оптимизацию технического обслуживания на основе анализа эксплуатации и динамике развития дефектов.

Цель исследования – разработка и применение методов цифрового моделирования при оценке технического состояния объектов капитального строительства с последующей оптимизацией процессов технического обслуживания и ремонта. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности управления объектами на этапе эксплуатации посредством внедрения современных цифровых технологий.

Материалы и методы

Техническая эксплуатация зданий – это совокупность мероприятий, направленных на обеспечение надлежащего технического состояния объекта и на оптимизацию его функциональных характеристик [5]. В рамках исследования процесс технической эксплуатации рассматривается как система, состоящая из трех ключевых стадий (рис. 1).

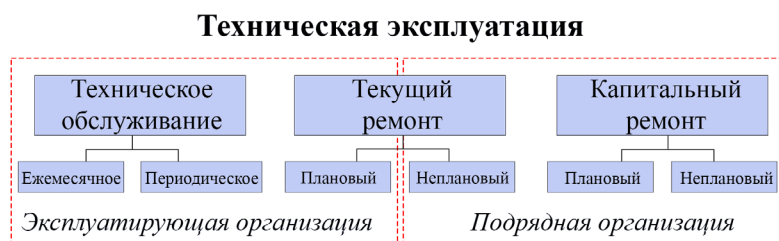


Рис. 1. – Техническая эксплуатация

Анализа (рис.1) показывает, что ключевыми участниками процесса эксплуатации ОКС являются эксплуатирующая организация и подрядная ремонтно-строительная организация. Эксплуатирующая организация отвечает за устранение незначительных неисправностей и мониторинг технического состояния ОКС, в то время как подрядная организация выполняет функции, связанные с проведением капитального и текущего ремонта.

Основные организационно-технологические процессы технической эксплуатации ОКС включают:

1. Обследование зданий и сооружений, включающее:
 - 1.1. Формирование дефектных ведомостей (ответственность эксплуатирующей организации – управляющей компании).
 - 1.2. Составление ведомости объемов работ (ответственность ремонтно-строительной организации – подрядчика).
2. Определение сметной стоимости ремонтных работ.
3. Разработка ПСД для проведения ремонтных работ.

На начальном этапе эксплуатирующая организация проводит обследование ОКС и формирует дефектную ведомость (рис.2). Однако данный документ ограничивается перечнем выявленных дефектов, без количественной и пространственной привязки к объекту, что снижает его практическую ценность для последующего организационно-технологического проектирования ремонтно-строительных работ.

№ п/п	Номера фотографий дефекта	Описание дефекта, количественная характеристика, возможные причины возникновения и развития дефекта	Перечень мероприятий по устранению дефекта
Дефекты межпанельных швов			
1	6, 12, 16, 18, 20, 23, 24	Разгерметизация швов стеновых панелей. Данный дефект вызван многочисленными факторами: воздействие атмосферных осадков, перепады температуры, нарушение технологических норм при строительстве, неравномерная усадка здания. Данный дефект приводит к проникновению в квартиры наружного воздуха и влаги, образованию конденсата. Наблюдается на площади до 50 % всех швов.	Выполнить капитальный ремонт межпанельных швов со строгим соблюдением технологии работ и нормативных документов (вскрытие стыков швов, очистка граней и фасок панелей от старых герметизирующих материалов, очистка швов, герметизация стыка с нагнетанием монтажной пены и укладкой уплотнительных прокладок из вспененного полиэтилена, заполнение герметизирующей мастикой стыков с заглаживанием мастики и приданием формы шву)
2	8, 11, 18, 20, 23, 24	Дефекты, вызванные конструктивными недостатками: <ul style="list-style-type: none">- применение некачественных материалов в процессе заделки устья стыков швов (пахла, войлок), не обладающих необходимыми свойствами и не способными на долгое время обеспечить герметичность шва;- отсутствие теплоизоляционной прокладки в межпанельных швах в отдельных местах;- некачественная герметизация межпанельных швов цементным раствором.	
3	11	Растрескивание, выветривание раствора из швов карнизных плит. Наблюдается на площади до 50 % всех швов.	

Рис. 2. – Пример фрагмента дефектной ведомости

Отсутствие детализированной информации о локализации и масштабах дефектов приводит к необходимости повторного обследования, уточнения объемов работ и разработки недостающей документации подрядчиком.

Формирование дефектных ведомостей требует пересмотра и внедрения более структурированных и информативных методов документирования.

Применение современных ТИМ, в частности цифровой информационной модели, способно изменить процесс взаимодействия между участниками [6, 7]. Как показано на рис. 3, использование ЦИМ позволяет интегрировать все данные об объекте в единую цифровую среду.

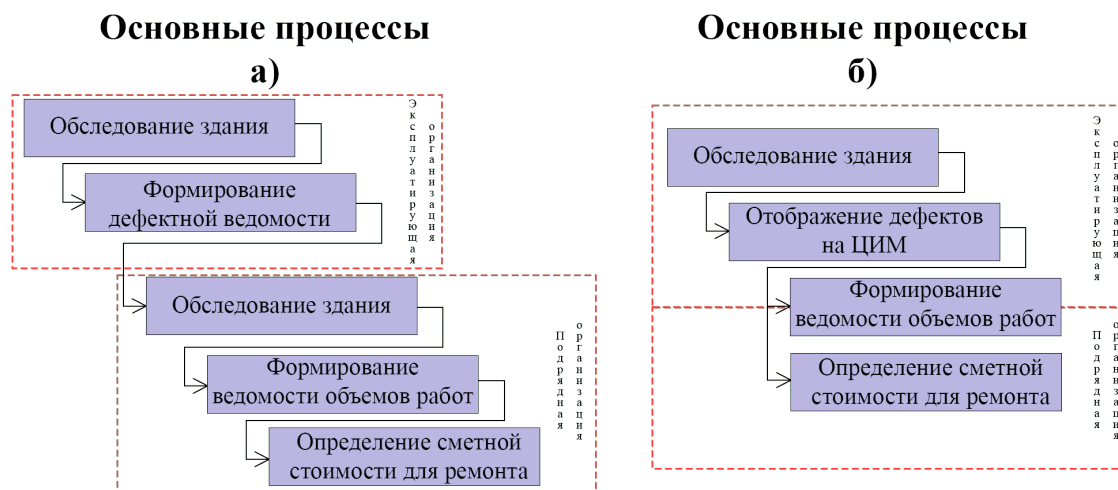


Рис. 3. – а) техническая эксплуатация без использования ЦИМ, б) техническая эксплуатация с использованием ЦИМ

После обследования здания подрядной организации предоставляется сформированная ведомость объемов работ, созданная с применением технологий информационного моделирования [8, 9]. Ведомость включает в себя частичную привязку к проекту производства ремонтных работ, что позволяет подрядной организации приступать к разработке более детализированного и проработанного проекта выполнения работ.

Результаты

В рамках настоящего исследования для оценки технического состояния был выбран учебно-лабораторный корпус № 20 Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, расположенный по адресу: г. Архангельске пр-кт Ленинградский, д. 322.

Процесс формирования, ведения и использования эксплуатационной цифровой информационной модели (ЭЦИМ) объектов капитального строительства (ОКС) был организован в соответствии с ключевыми этапами технического обследования [10].

1. Сбор исходных данных.

На данном этапе выполнено детальное обследование здания, включающее визуальный осмотр, инструментальные измерения и фотофиксацию выявленных дефектов. Собранные данные послужили основой для дальнейшего моделирования и анализа.

2. Работа с эксплуатационной цифровой информационной моделью в программном обеспечении Renga.

2.1. Определение параметров и характеристик элементов.

Заданы параметры дефектов, такие как геометрические размеры, материалы, степень износа и другие характеристики, необходимые для точного их отображения.

2.2. Визуализация дефектов на модели.

Выявленные дефекты были нанесены на цифровую модель с использованием графических и текстовых аннотаций, что обеспечило наглядное представление их локализации и масштаба.

3. Формирование спецификации.

На основе данных, полученных в ходе обследования и моделирования, была составлена спецификация. Документ содержит перечень дефектов, объемы работ, необходимые материалы и служит основой для формирования ведомости объемов ремонтных работ.

4. Составление сметной документации.

В рамках традиционного подхода процесс проектирования капитального ремонта завершается формированием сметной документации, которая включает в себя перечень работ и их объемы. Но в виду

использования эксплуатационной цифровой модели, появляется еще один этап.

5. Разработка проекта производства работ (ППР) для проведения ремонта.

Существующая практика свидетельствует о том, что разработка полноценных проектов для отдельных объектов строительства происходит относительно редко. Наличие ЭЦИМ, фактически представляющей собой завершённый проект, открываются возможности для её адаптации и трансформации в проект производства работ.

Схема, отражающая структуру и последовательность описанного процесса, представлена на рисунке 4.

Данный подход обеспечивает системность в обследовании и планировании ремонтно-восстановительных мероприятий, что повышает эффективность и качество выполнения работ.

Эксплуатационная цифровая информационная модель, разработанная в рамках исследования, представляет собой динамическую платформу не только для описания, но и количественной оценки выявленных дефектов. В рамках модели дефекты классифицируются на две основные категории:

1. Дефекты, определяемые количественными параметрами. К данной категории относятся дефекты, которые могут быть измерены и выражены в численных значениях, таких как площадь повреждения, объем разрушенных материалов, степень износа конструкций и другие метрики, необходимые для расчета объемов ремонтных работ.

2. Дефекты, определяемые качественными параметрами. Дефекты этой категории, характеризуются качественными показателями, такими как микроклиматические условия (температура, влажность, воздухообмен), визуальными характеристиками (трещины, коррозия, деформации) и др.

Визуализация количественных и качественных характеристик дефектов значительно упрощает формирование ведомостей объемов работ и

обеспечивает пространственную привязку дефектов. Визуализация дефектов в контексте общего плана здания позволяет точнее определить их локализацию и степень воздействия на характеристики объекта.

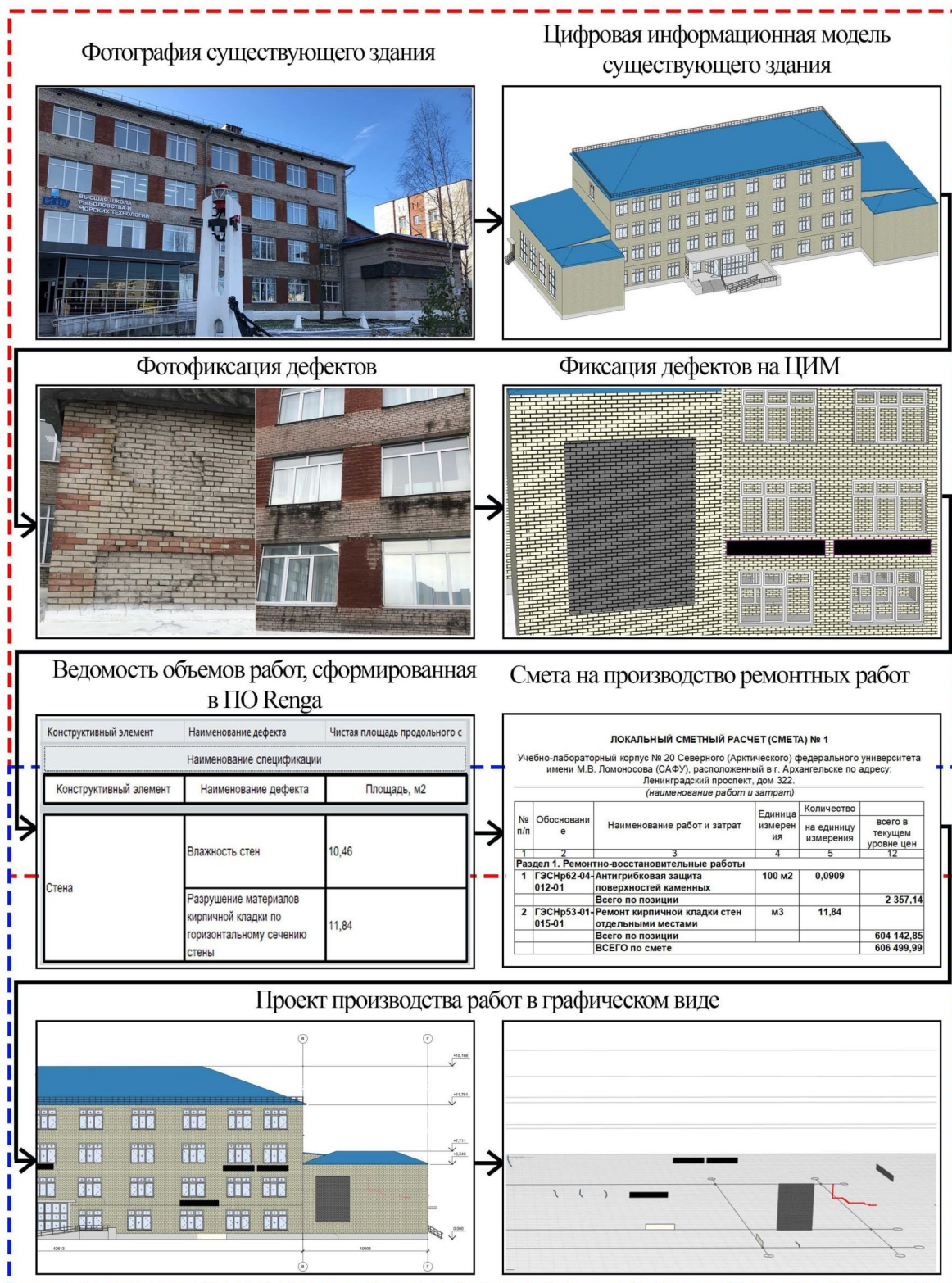


Рис. 4. – Последовательность формирования эксплуатационной ЦИМ

Вывод

Переход к цифровым методам документирования и управления данными об объектах капитального строительства на этапе эксплуатации способствует снижению трудовых и финансовых затрат за счет оптимизации взаимодействия между эксплуатирующей и подрядной организациями. Использование цифровой информационной модели снижает затраты на повторное обследование объекта и дублирование работ, улучшает планирование и контроль за выполнением ремонтно-строительных работ. Это позволяет эксплуатирующей организации эффективно выполнять первичную стадию технической эксплуатации, улучшая качество выявления дефектов и реализации ремонтных работ, что в целом повышает прозрачность и эффективность процессов, оптимизирует взаимодействие между эксплуатирующей и подрядной организациями.

Литература

1. Чернявский И. А., Ларин Н. С. Цифровизация процессов на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства // Инженерный вестник Дона. 2023. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8354.
2. Абрамян Г.С., Бурлаченко О.В., Оганесян О.В., Соболева Е.Д., Бурлаченко А.О., Плешаков В.В. К вопросу о стадиях жизненного цикла строительных систем в контексте принципов информационного моделирования // Инженерный вестник Дона. 2022. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7743.
3. Черникова, А. А. Информационное моделирование на стадии эксплуатации здания // Молодой ученый. 2022. №49. С. 66-68. URL: moluch.ru/archive/444/97392/.
4. Chen J., Lu W., Liu D. Built environment defect mapping, modeling, and management (D3M): A BIM-based integrated framework // Journal of Intelligent Construction. 2024. Vol. 2. DOI: 10.26599/JIC.2024.9180008.

5. Кузнецов С.В., Князева Н.В. Применение информационного моделирования для решения задач технического обслуживания и ремонта зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. №3. С. 34-45. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-34-45.

6. Hashim B., Sallehudin H., Safie Z., Hussain A., Nur Azaliah A.B., Fara Y., Ali I., Shaymaa Abdelghany S. Building Information Modeling and Internet of Things Integration in the Construction Industry: A Scoping Study // Advances in Civil Engineering. 2022. DOI: 10.1155/2022/7886497.

7. Tang S., Sheldon D. R., Eastman C. M., Pishdad-Bozorgi P., Gao X. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: present status and future trends // Automation in Construction. 2019. Vol. 101. pp. 127-139. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.01.020, 2-s2.0-85060885881.

8. Pinti L., Codinhoto R., Bonelli S. A Review of Building Information Modelling (BIM) for Facility Management (FM): Implementation in Public Organisations // Applied Sciences. 2016. Vol. 20. №3. pp. 85. DOI: 10.3390/app12031540.

9. Che-Ani A. I., Johar S., Tawil N. M., Razak M., Hamzah N., Building Information Modeling (BIM)-based building condition assessment: a survey of water ponding defect on a flat roof // Jurnal Teknologi. 2015. Vol. 75, №9. DOI: 10.11113/jt.v75.5222.

10. Попова О.Н., Заостровская А.С., Юдина А.Ф. Проблемы и задачи построения цифровой информационной модели зданий для реализации программ капитального ремонта жилищного фонда // Жилищное строительство. 2024. №1-2. С. 80-86. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-1-2-80-86.



References

1. Chernjavskij I. A., Larin N. S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8354.
2. Abramjan G.S., Burlachenko O.V., Oganessian O.V., Soboleva E.D., Burlachenko A.O., Pleshakov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7743.
3. Chernikova, A. A. Molodoj uchenyj. 2022. №49. pp. 66-68. URL: moluch.ru/archive/444/97392/.
4. Chen J., Lu W., Liu D. Journal of Intelligent Construction. 2024. Vol. 2. DOI: 10.26599/JIC.2024.9180008.
5. Kuznecov S.V., Knjazeva N.V. Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2023. №3. pp. 34-45. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-34-45.
6. Hashim B., Sallehudin H., Safie Z., Hussain A.H., Abu Bakar N.A., Yahya F., Ali I., Abdelghany S. Advances in Civil Engineering. 2022. DOI: 10.1155/2022/7886497.
7. Tang S., Shelden D. R., Eastman C. M., Pishdad-Bozorgi P., Gao X. Automation in Construction. 2019. Vol. 101. pp. 127-139. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.01.020, 2-s2.0-85060885881.
8. Pinti L., Codinhoto R., Bonelli S. Applied Sciences. 2016. Vol. 20. №3. Pp. 85. DOI: 10.3390/app12031540.
9. Che-Ani A. I., Johar S., Tawil N. M., Razak M., Hamzah N. Jurnal Teknologi. 2015. Vol. 75, №9. DOI: 10.11113/jt.v75.5222.
10. Popova O.N., Zaostrovskaja A.S., Judina A.F. Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2024. №1-2. pp. 80-86. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-1-2-80-86.

Дата поступления: 12.02.2025

Дата публикации: 25.04.2025