

Разработка каталогов дефектов единичных строительных конструкций для эксплуатационных цифровых информационных моделей зданий

О. Н. Попова, А.С. Заостровская

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

Аннотация: Целью исследования является разработка каталогов дефектов единичных строительных конструкций для эксплуатационных цифровых информационных моделей зданий. Подчеркивается важность стандартизации описания дефектов для повышения эффективности управления жизненным циклом объектов капитального строительства. Проведено исследование существующих программных решений, выявлены их ограничения в контексте учета дефектов. Разработан каталог дефектов, включающий визуализацию и описание ключевых параметров, с использованием программного обеспечения Renga. Представленные результаты демонстрируют потенциал цифровизации процессов диагностики и планирования ремонта, а также необходимость дальнейшего развития функциональных возможностей ТИМ-инструментов для учета динамических изменений состояния конструкций.

Ключевые слова: эксплуатационная цифровая информационная модель, дефекты строительных конструкций, каталог дефектов, классификатор дефектов.

Введение

В условиях стремительного внедрения цифровых технологий в строительную отрасль, использование эксплуатационных цифровых информационных моделей (ЭЦИМ) становится важным инструментом для управления жизненным циклом зданий [1,2]. Однако, несмотря на достижения в области цифровизации, проблема учета и классификации дефектов остается недостаточно разработанной.

Эксплуатирующие организации и строительные подрядные организации, которые являются основными участниками процесса эксплуатации объекта капитального строительства (ОКС), достаточно часто сталкиваются с трудностями в унификации формулировок технического состояния на последовательных этапах эксплуатационного контроля и проектирования ремонта. Неопределенность в классификации и описании дефектов, а также отсутствие единого стандарта для их учета затрудняют процесс цифрового моделирования.

Целью исследования является разработка каталогов дефектов единичных строительных конструкций для эксплуатационных цифровых информационных моделей зданий.

Материалы и методы

Цифровая информационная модель, разрабатываемая на стадии проектирования и используемая в процессе строительства, включает совокупность статичных строительных элементов, чьи геометрические и физические параметры остаются неизменными и не учитывают процессы износа и повреждения на протяжении периода эксплуатации здания. Таким образом, моделирование дефектов является критически важным компонентом ЦИМ на этапе эксплуатации. Характеристика технического состояния постоянно изменяется как под воздействием динамического нарастания дефектов, так и за счет проведения ремонтно-восстановительных работ.

Однако на этапе эксплуатации ОКС выявляется существенный пробел, обусловленный отсутствием унифицированного классификатора дефектов. Нет строгих требований к проведению эксплуатационного технического контроля, в том числе отсутствует унифицированная форма дефектного акта, а также способы и формулировки описания дефектов являются сфантазированными. Эксплуатирующие организации используют собственные подходы к описанию дефектов (таблица № 1).

Это затрудняет процесс формирования ЭЦИМ. В связи с чем актуализируется задача разработки систематизированного подхода к унификации дефектов, который позволит создать каталог дефектов, который будет включать графическое отображение унифицированных дефектов на цифровых моделях объектов [3-5].

Таблица № 1

Оценка работы эксплуатирующей организации

№ п/п	Сравнительная характеристика	Установленные нормы и правила	Эксплуатирующая организация
1	Структура описания дефекта	Четкое указание на тип дефекта, его местоположение и категорию	Использование произвольных формулировок и неформального языка
2	Использование терминологии	Специализированная терминология, способствующая точности и однозначности	Использование общих и/или разговорных термины
3	Наличие стандартизации	Единые стандарты для описания дефектов	Не придерживаются единых стандартов для описания дефектов

Для создания динамически изменяющейся эксплуатационной ЦИМ предлагается выделять дефект не как атрибут конструктивного элемента, а как отдельный элемент модели [6-8]. Введение элемента «дефект» в структуру ЦИМ обеспечит точное моделирование процессов деградации и оперативное реагирование на изменения состояния конструкций [9,10].

Для разработки каталога дефектов проведен анализ функциональных возможностей современных программных комплексов для информационного моделирования ОКС на стадии проектирования (таблица № 2).

Таблица № 2

Сравнительная характеристика программных обеспечений

№ п/п	ПО	Сравнительные характеристики			
		Тип	Интеграция с другими системами	Использование в РФ	Фиксация дефектов
1	Tekla Structures	Для железобетонных и стальных конструкций	Поддерживает интеграцию с другими BIM-программами и CAD-системами	Запрещено	Отсутствует
2	Renga	Для архитектурного, строительного и инженерного проектирования	Поддерживает интеграцию с другими BIM-программами и CAD-системами	Разрешено	Отсутствует
3	Revit	Для архитектурного, строительного и инженерного проектирования	Поддерживает интеграцию с другими BIM-программами и CAD-системами	Запрещено	Отсутствует
4	NanoCAD СПДС	Для железобетонных и стальных конструкций	Ограниченная интеграция с другими BIM-программами и CAD-системами	Разрешено	Отсутствует

Все исследуемые программные обеспечения (ПО) не включают в свой функционал элемент, обозначаемый как «дефект», что свидетельствует об

отсутствии изначального проектного замысла, направленного на их использование в целях эксплуатации. Таким образом, недостаточная подготовленность программных решений для создания эксплуатационных цифровых моделей, включающих в себя элементы дефектов, подчеркивает необходимость дальнейших исследований и разработок в области интеграции таких функций в существующие ПО.

Учитывая актуальность задачи систематизации дефектов строительных конструкций на этапе эксплуатации, в частности разработка каталога дефектов, для ее реализации было выбрано программное обеспечение Renga в качестве базовой платформы проектирования. Данное ПО легализовано для использования на территории Российской Федерации и обладает функционалом, который в значительной степени соответствует требованиям, предъявляемым к разработке архитектурных и конструктивных решений.

Систематизация ключевых функциональных возможностей программного комплекса Renga, направленных на выявление, визуализацию и документирование дефектов в строительных конструкциях позволяет сделать следующие выводы (рис. 1):

1. Инструменты визуализации (панель «Инструменты») обеспечивают наглядное отображение дефектов (например, элементы «колонна» и «балка» могут служить для визуализации поперечных и продольных трещин);

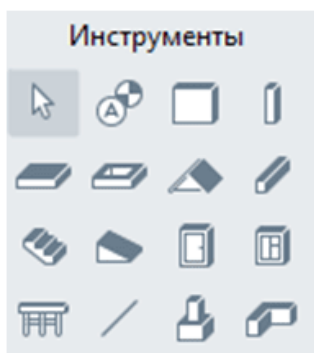
2. Детализация дефектов (панель «Свойства объекта») позволяет классифицировать несоответствия по типу, геометрическим параметрам и степени критичности – функционал для детализированного описания дефектов (например, классификационные характеристики (тип дефекта), геометрические параметры (линейные размеры);

3. Функционал построения чертежей («Тип обозначения») позволяет визуализировать дефекты в проектной документации – построения

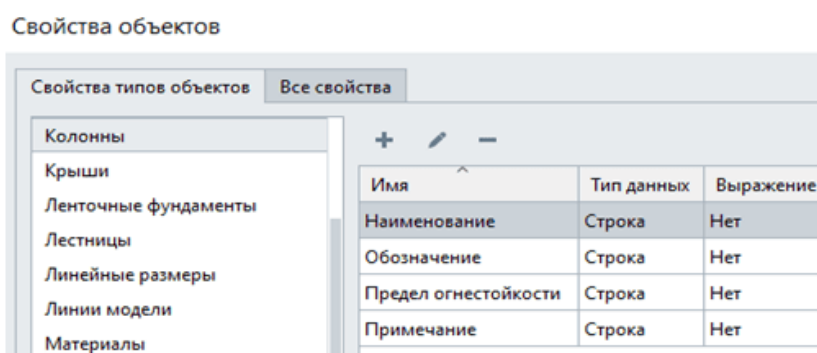
архитектурно-строительных чертежей, включая фасады и разрезы, что обеспечивает наглядное отображение дефектов в проектной документации

4. Автоматизированное формирование спецификаций упрощает процесс документирования дефектов – инструмент позволяет систематизировать выявленные дефекты, классифицируя их по заданным параметрам, и генерировать отчеты в стандартизированном формате.

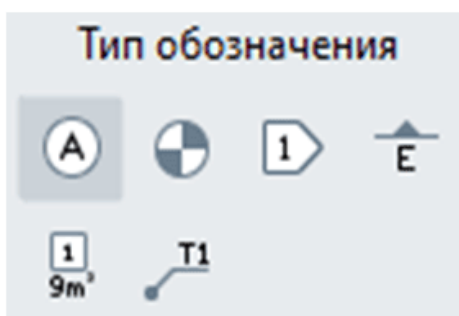
5. Экспорт в формат IFC обеспечивает межпрограммную совместимость, позволяя передавать данные в другие BIM-системы и расчетные комплексы, обеспечивает беспрепятственный обмен данными между различными программными платформами.



а) Панель «Инструменты»



б) Панель «Свойства объекта»



в) «Тип обозначения»

3D Вид × Обзорщик проекта × Новая спецификация × +					
Наименование	Обозначение	Конструктивный э.	Расположение	Номина	Ширина раск
Дефект "Трещина"					
Наименование	Обозначение	Конструктивный элемент	Расположение	Длина	Ширина раскрытия
Трещина	Тр-1	Кирпичная стена	В осях А-Б/1-2	427,19	1,5 мм

г) «Спецификация»

Рис. 1. – Функциональные возможности ПО Renga

Результаты

Унификация дефектов произведена на основе нормативно-технических документах (СП 454.1325800.2019; СП 368.1325800.2017, ВСН 53-86р и др.)

Унифицированный каталог дефектов содержит описание ключевых параметров, которые должны быть заданы для корректной идентификации дефектов, а также рассматривает методику их отображения с помощью стандартных инструментов Renga (рис. 2 и рис. 3). Однако применение каталога требует дополнительных методических решений для точной визуализации, а также разработки пользовательских шаблонов и библиотек.



Рис.2. – Пример ЭЦИМ ОКС с дефектами

Для полномасштабного применения представленных решений необходима разработка полного каталога унифицированных дефектов, свойственных различным видам конструкций. С другой стороны, значительное расширение и вариативность приведут к неудобству пользования, и этот метод не сможет быть реализован на практике. Таким образом, перспективной решаемой задачей должна являться разработка минимально полного, но максимально функционального каталога дефектов, который смог бы удовлетворить потребности как эксплуатирующих, так и подрядных строительных организаций.

Наименование дефекта	Характеристика дефекта	Визуальное отображение	Элемент создания в Renga	Сложности создания																		
Трещины	Свойства <table><tr><th>Свойство</th><th>Значение</th></tr><tr><td>Едизм.</td><td>м</td></tr><tr><td>Кол.</td><td></td></tr><tr><td>Конструктивный элемент</td><td>Стена кирпичная</td></tr><tr><td>Местоположение</td><td>в осях А/Б - 1/2</td></tr><tr><td>Наименование дефекта</td><td>Трещина</td></tr><tr><td>Обозначение</td><td>Тр-1</td></tr><tr><td>Примечание</td><td>Увеличенная расценка ГЭСН</td></tr><tr><td>Увеличенная расценка ГЭСН</td><td>ГЭСНр 53-01-013</td></tr></table>	Свойство	Значение	Едизм.	м	Кол.		Конструктивный элемент	Стена кирпичная	Местоположение	в осях А/Б - 1/2	Наименование дефекта	Трещина	Обозначение	Тр-1	Примечание	Увеличенная расценка ГЭСН	Увеличенная расценка ГЭСН	ГЭСНр 53-01-013		«Балка»	Трещины имеют сложную форму (зигзагообразные, ветвящиеся), которую сложно передать элементом
Свойство	Значение																					
Едизм.	м																					
Кол.																						
Конструктивный элемент	Стена кирпичная																					
Местоположение	в осях А/Б - 1/2																					
Наименование дефекта	Трещина																					
Обозначение	Тр-1																					
Примечание	Увеличенная расценка ГЭСН																					
Увеличенная расценка ГЭСН	ГЭСНр 53-01-013																					
Разрушение материалов кирпичной кладки стен	Свойства <table><tr><th>Свойство</th><th>Значение</th></tr><tr><td>Едизм.</td><td>м2</td></tr><tr><td>Кол.</td><td></td></tr><tr><td>Конструктивный элемент</td><td>Стена</td></tr><tr><td>Местоположение</td><td>В осях В/Г - 1/2</td></tr><tr><td>Наименование дефекта</td><td>Разрушение материалов кирпичной кладки стен</td></tr><tr><td>Обозначение</td><td>С-1</td></tr><tr><td>Примечание</td><td>Увеличенная расценка ГЭСН</td></tr><tr><td>Увеличенная расценка ГЭСН</td><td>ГЭСНр 53-01-015</td></tr></table>	Свойство	Значение	Едизм.	м2	Кол.		Конструктивный элемент	Стена	Местоположение	В осях В/Г - 1/2	Наименование дефекта	Разрушение материалов кирпичной кладки стен	Обозначение	С-1	Примечание	Увеличенная расценка ГЭСН	Увеличенная расценка ГЭСН	ГЭСНр 53-01-015		«Стена»	Разрушенная кладка часто имеет неровные края, отсутствующие фрагменты, но инструмент "Стена" в Renga создает ровные элементы
Свойство	Значение																					
Едизм.	м2																					
Кол.																						
Конструктивный элемент	Стена																					
Местоположение	В осях В/Г - 1/2																					
Наименование дефекта	Разрушение материалов кирпичной кладки стен																					
Обозначение	С-1																					
Примечание	Увеличенная расценка ГЭСН																					
Увеличенная расценка ГЭСН	ГЭСНр 53-01-015																					
Разрушение герметизации стыков и швов	Свойства <table><tr><th>Свойство</th><th>Значение</th></tr><tr><td>Едизм.</td><td>м</td></tr><tr><td>Кол.</td><td></td></tr><tr><td>Конструктивный элемент</td><td>Стена панельная</td></tr><tr><td>Местоположение</td><td>В осях Б/Г - 3/4</td></tr><tr><td>Наименование дефекта</td><td>Разрушение герметизации стыков и швов</td></tr><tr><td>Обозначение</td><td>ШВ-1</td></tr><tr><td>Примечание</td><td>Увеличенная расценка ГЭСН</td></tr><tr><td>Увеличенная расценка ГЭСН</td><td>ГЭСНр 53-21</td></tr></table>	Свойство	Значение	Едизм.	м	Кол.		Конструктивный элемент	Стена панельная	Местоположение	В осях Б/Г - 3/4	Наименование дефекта	Разрушение герметизации стыков и швов	Обозначение	ШВ-1	Примечание	Увеличенная расценка ГЭСН	Увеличенная расценка ГЭСН	ГЭСНр 53-21		«Колонна» «Балка»	Сложность в точном позиционировании колонны вдоль швов и стыков, особенно на криволинейных или наклонных поверхностях
Свойство	Значение																					
Едизм.	м																					
Кол.																						
Конструктивный элемент	Стена панельная																					
Местоположение	В осях Б/Г - 3/4																					
Наименование дефекта	Разрушение герметизации стыков и швов																					
Обозначение	ШВ-1																					
Примечание	Увеличенная расценка ГЭСН																					
Увеличенная расценка ГЭСН	ГЭСНр 53-21																					
Потеря целостности покрытия кровли	Свойства <table><tr><th>Свойство</th><th>Значение</th></tr><tr><td>Едизм.</td><td>м2</td></tr><tr><td>Кол.</td><td></td></tr><tr><td>Конструктивный элемент</td><td>Крыша плоская</td></tr><tr><td>Местоположение</td><td>В осях В/Г - 5/6</td></tr><tr><td>Наименование дефекта</td><td>Потеря целостности покрытия кровли</td></tr><tr><td>Обозначение</td><td>Кр-1</td></tr><tr><td>Примечание</td><td>Увеличенная расценка ГЭСН</td></tr><tr><td>Увеличенная расценка ГЭСН</td><td>ГЭСН 58-01-007</td></tr></table>	Свойство	Значение	Едизм.	м2	Кол.		Конструктивный элемент	Крыша плоская	Местоположение	В осях В/Г - 5/6	Наименование дефекта	Потеря целостности покрытия кровли	Обозначение	Кр-1	Примечание	Увеличенная расценка ГЭСН	Увеличенная расценка ГЭСН	ГЭСН 58-01-007		«Крыша»	На данный момент в Renga не реализован инструмент для отображения дефектов скатных кровель, что ограничивает применение системы в части документирования повреждений
Свойство	Значение																					
Едизм.	м2																					
Кол.																						
Конструктивный элемент	Крыша плоская																					
Местоположение	В осях В/Г - 5/6																					
Наименование дефекта	Потеря целостности покрытия кровли																					
Обозначение	Кр-1																					
Примечание	Увеличенная расценка ГЭСН																					
Увеличенная расценка ГЭСН	ГЭСН 58-01-007																					

Рис. 3. – Формирование дефектов в ПО Renga

Вывод

Проведенное исследование демонстрирует потенциал цифровизации процессов технического обслуживания и ремонтов зданий через эксплуатационную цифровую информационную модель. Предложенный

метод информационного моделирования дефектов здания и проведенная апробация на основе разработанного каталог позволили сформировать ЭЦИМ объекта, которая представляет не только пространственную характеристику проектных архитектурных и конструктивных решений, но и может динамически отражать техническое состояние объекта. Однако практическое внедрение каталога потребует дополнительных методических и программных решений.

Перспективы развития:

- Разработка пользовательских библиотек и шаблонов для расширения возможностей визуализации.
- Создание специализированных надстроек к Renga для автоматизации процессов классификации и документирования дефектов.
- Интеграция с системами мониторинга для динамического обновления данных о дефектах.

Предложенный подход позволит повысить точность оценки технического состояния зданий, оптимизировать планирование ремонтных работ за счет унификации данных, улучшить взаимодействие между участниками эксплуатационного процесса.

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. Mahmoodian M., Shahrivar F., Setunge F., Mazaheri S. Development of Digital Twin for Intelligent Maintenance of Civil Infrastructure // Sustainability. 2022. Vol.14. DOI: 10.3390/su14148664.
 4. 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.
 5. Lin Y.C., Chang J.X., Su Y.C. Developing construction defect management system using BIM technology in quality inspection // Journal of Civil Engineering and Management. 2016. Vol 22(7). pp. 903-914. DOI: 10.3846/13923730.2014.928362.
 6. Tang S., Shelden 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.
 7. Gao X., Pishdad-Bozorgi P. BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review // Advanced Engineering Informatics. 2019. Vol 39. pp. 227-247. DOI: 10.1016/j.aei.2019.01.005.
 8. Шеина С.Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037.
 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. 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.
-

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. Mahmoodian M., Shahrivar F., Setunge F., Mazaheri S. Sustainability. 2022. Vol.14. DOI: 10.3390/su14148664.
4. Hashim B., Sallehudin H., Safie Z., Hussain A., Nur Azaliah A.B., Fara Y., Ali I., Shaymaa Abdelghany S. Advances in Civil Engineering. 2022. DOI: 10.1155/2022/7886497.
5. Lin Y.C., Chang J.X., Su Y.C. Journal of Civil Engineering and Management. 2016. Vol 22(7). pp. 903-914. DOI: 10.3846/13923730.2014.928362.
6. Tang S., Sheldon 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.
7. Gao X., Pishdad-Bozorgi P. Advanced Engineering Informatics. 2019. Vol 39. pp. 227-247. DOI: 10.1016/j.aei.2019.01.005.
8. Sheina S.G., Vinogradova E.V., Denisenko Ju.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037.
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. Chen J., Lu W., Liu D. Journal of Intelligent Construction. 2024. Vol. 2. DOI: 10.26599/JIC.2024.9180008.

Дата поступления: 15.04.2025

Дата публикации: 25.06.2025