Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2024, Том 16, № 6 / 2024, Vol. 16, Iss. 6 https://esj.today/issue-6-2024.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/64SAVN624.pdf

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Наумов, А. Е. Теоретические основы управления жизненным циклом дефекта наружных ограждающих конструкций высотного объекта капитального строительства / А. Е. Наумов, М. О. Суворова, Г. А. Лесовик, К. С. Поддубровская // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 6. — URL: https://esj.today/PDF/64SAVN624.pdf

For citation:
Naumov A.E., Suvorova M.O., Lesovik G.A., Poddubrovskaya K.S. Theoretical bases of defect life cycle management of external building envelope structures. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(6): 64SAVN624. Available at: https://esj.today/PDF/64SAVN624.pdf. (In Russ., abstract in Eng.)

Работа выполнена в рамках проекта «Технологическое и кадровое обеспечение технологии совершенствования информационной модели здания для управления его техническим состоянием» программы Приоритет 2030 БГТУ имени В.Г. Шухова

УДК 69.04

Наумов Андрей Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Заведующий кафедрой «Экспертизы и управления недвижимостью»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: kafeun@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8162-1946
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=683551
WoS: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/K-1704-2018
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56448117200

Суворова Мария Олеговна
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Доцент кафедры «Экспертизы и управления недвижимостью»
Кандидат технических наук
E-mail: marykrutilova@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7423-6866
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=811292
WoS: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAC-4403-2019
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57196246833

Лесовик Галина Александровна
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Доцент кафедры «Строительного материаловедения, изделий и конструкций»
Кандидат технических наук
E-mail: galina.lesovik@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3831-7647
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=669996

Поддубровская Ксения Сергеевна
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Инженер-исследователь
E-mail: Korshikova00@mail.ru

Теоретические основы управления жизненным циклом дефекта наружных ограждающих конструкций высотного объекта капитального строительства

Аннотация. Объекты строительства в течение жизненного цикла и в результате различных факторов, возникающих в процессе эксплуатации, простоев недостроенных объектов, климатических, техногенных и иных воздействий, подвергаются различного рода повреждениям и деформациям, что существенно влияет на надежность конструкций, срок службы объекта, комфортные условия для дальнейшей эксплуатации. Ограждающие конструкции играют ключевую роль в обеспечении безопасности объектов, являясь при этом достаточно дефектоёмким конструктивным элементом здания. В связи с чем проведение оценки технического состояния и оценки управления жизненным циклом дефекта наружных ограждающих конструкций объекта капитального строительства является актуальным направлением. На сегодняшний день строительный сектор не располагает готовыми отечественными решениями, которые бы соответствовали требованиям форм и методов проверки соответствия объектов строительства проектной документации, а также нормам и техническим регламентам. Тем не менее, предпринимаются активные усилия для устранения этой проблемы, в том числе создаются цифровые системы мониторинга за строительством объектов капитального строительства. В процессе работы был проведен обзор дефектов, возникающих на основных этапах жизненного цикла, в аспекте возникновения и развития дефектов, анализа и способов управления ими. Стоит отметить, что управление дефектом в течение жизненного цикла является многогранной задачей, требующей комплексного подхода и использования современных технологий, применяемых на всех этапах. Комплексный подход позволит оперативно и своевременно принимать решения о необходимости выполнения ремонтов или реконструкций объектов.

Ключевые слова: управление жизненным циклом объекта строительства; информационное моделирование; наружные ограждающие конструкции; дефект; техническая эксплуатация; мониторинг; оценка состояния конструкций

Под жизненным циклом (ЖЦ) объекта капитального строительства (ОКС) принято понимать совокупное время от момента возникновения инвестиционного замысла до завершения «жизни» объекта в результате сноса. ЖЦ ОКС характеризуется необходимостью вложения значительных временных и материальных ресурсов, и, как следствие, высокой сложностью принятия технических, экологических, экономических и управленческих решений на всех его этапах [1]. ЖЦ ОКС схематично представлен на рисунке 1.

Рисунок 1. *Концептуальная схема жизненного цикла ОКС (составлено авторами)*

ЖЦ ОКС включает в себя 5 основных этапов, на которых могут возникать различного рода дефекты. Рассмотрим основные этапы и возможные проблемы, возникающие на каждой стадии [2]:

Таблица 1

Возможные дефекты, возникающие в течение этапов ЖЦ ОКС, и управление ими на различных этапах

№ п/п	Стадия ЖЦ ОКС	Возможные дефекты	Управление дефектами
1	Концептуальная стадия	— Некорректное определение инвестиционных затрат, и как следствие ошибочное распределение ресурсов; — Низкая структурированность информации	Использование цифровой информационной модели (ЦИМ) объекта строительства позволит предоставить точную информацию об объекте, внести изменения, наглядно обсудить варианты проектных решений и полученные технико-экономические данные проекта.
2	Проектирование	— Нехватка или недостоверность исходных сведений: технических, экологических, экономических и правовых; — Ошибки проектировщика; — Геометрические коллизии; — Ошибки в расчетах (неподходящие расчётные схемы и непринятие во внимание всех действующих на конструкцию нагрузок)	Свести к минимуму данные ошибки позволяет эффективное применение технологий информационного моделирования. Программные комплексы позволяют проверить модель на наличие коллизий, провести профильным специалистам анализ для выявления нелогичных проектных решений, которые могут повлиять на безопасность здания.
3	Строительство	— Нарушение технологии строительства и организации работ; — Использование некачественных материалов и оборудования	Основные мероприятия по управлению дефектами: 1. Анализ проектной документации на соответствие установленным стандартам. 2. Контроль точности переноса координат на местность. 3. Проверка используемых строительных материалов требованиям ГОСТ, ТУ и другой документации, обозначенной проектом. 4. Мониторинг качества выполняемых работ.
4	Эксплуатация	— Трещины; — Деформация конструктивных элементов; — Механический износ конструкций; — Деградация свойств материалов; — Коррозия, коррозионно-механические повреждения	Проведение технических проверок здания, регулярного мониторинга за состоянием конструкций при использовании цифровых инструментов позволит своевременно обнаруживать дефекты и избежать аварийных ситуаций.
5	Редевелопмент	— Нарушение технологии строительства и организации работ; — Использование некачественных материалов и оборудования	Для управления дефектами рекомендуется: 1. Провести обследование технического состояния всех конструкций, деталей и узлов. 2. Контролировать качество строительных материалов и выполненных работ. 3. Использовать ЦИМ, позволяющую снизить затраты на устранение ошибок на этапе строительно-монтажных работ. 4. Применять технологии дополненной и виртуальной реальности.

Составлено авторами

Управление дефектами на различных этапах ЖЦ — это процесс контроля и устранения недостатков, возникающих на этапах проектирования, изготовления, транспортировки, монтажа, наладки, эксплуатации, модернизации и ремонта оборудования. Этот процесс направлен на повышение надёжности и долговечности оборудования, снижение рисков. Все виды дефектов негативно влияют на целостность, устойчивость и несущие параметры конструкций. Согласно ГОСТ 15467-79 [3] стоит отметить, что по угрозе конструкциям и эксплуатационным характеристикам объектов дефекты принято делить на три группы: критические, значительные и малозначительные. Критические дефекты необходимо устранять сразу же после обнаружения, т. к. они имеют большое влияние и могут привести к аварийной ситуации. Вторая группа ослабляет конструктивные элементы и наравне с третьей группой влияет на эксплуатационные качества объекта [4].

Появление дефектов в конструкциях существенно снижают несущую способность и долговечность конструкций, а также надежность возводимого здания в целом. Недостатки в строительных системах уменьшают срок службы объекта, оказывая негативное воздействие на их прочность и надежность в эксплуатации. В некоторых случаях могут вызвать аварийную ситуацию и привести к значительным финансовым затратам [5].

Методы и инструменты управления жизненным циклом дефектизации, направленные на идентификацию, анализ, устранение и предотвращение дефектов представлены в таблице 2 [6].

Таблица 2

Методы и инструменты управления жизненным циклом дефектизации

№ п/п	Метод, инструмент	Краткое описание
1	Прогнозирование и диагностика	Обследование включает в себя три этапа: 1. Подготовка к проведению обследования. 2. Визуальное обследование. 3. Инструментальное обследование. С помощью диагностики специалисты по характеру поведения конструкций прогнозируют возможные отклонения от проектных значений для предотвращения аварийных ситуаций. Также осуществляется поверочный расчёт, в котором учитывают геометрические параметры конструкций, фактическую прочность используемых материалов и грунтов основания, действующие нагрузки, уточнённую расчётную схему с учётом имеющихся дефектов и повреждений.
2	Оценка состояния ограждающих конструкций	При проведении оценки для высотных зданий применяют беспилотные летательные аппараты (БПЛА). По полученным изображениям специалисты проводят визуальную оценку, определяют тип дефекта, анализ его появление, оценку технического состояния и дальнейшие рекомендации по эксплуатации. Тепловизионный контроль позволяет определить широкий спектр дефектов, которые влияют на потери тепла и дисбаланс микроклимата внутри здания.
3	Современные технологии мониторинга	К современным технологиям мониторинга можно отнести акустические и вибрационные мониторинги, волоконно-оптические датчики, специальные программные обеспечения, а также использование лазерных сканеров и БПЛА. Акустический мониторинг основан на регистрации звуковых волн, вибрационный — на регистрации вибраций, которые возникают при воздействии внешних факторов на ограждающие конструкции. Данные методы позволяют оценить как герметичность и звукоизоляцию, так и прочность и устойчивость конструкций. Использование лазерных сканеров позволяет получить изображения высокой четкости для обнаружения и оцифровки трещин, а также для детализации крупных деталей. Применение БПЛА позволяет составлять карты обширных территорий, которые служат основой для высокоточных трехмерных моделей. Кроме того, БПЛА позволяют следить за безопасностью на строительных площадках. Волоконно-оптические датчики позволяют контролировать не только деформации, но и изменения нагрузок, температуры, влажности, вибраций строительных конструкций. С помощью программ Trimble 4D Control, Leica GeoMoS, «Циклоп» можно проводить мониторинг в автоматизированном режиме.
4	Управление рисками и предотвращение дефектов	Для грамотного управления рисками и предотвращения дефектов следует проводить регулярный осмотр и мониторинг состояния конструктивных элементов, проводить профилактические мероприятия, обследования для своевременного обнаружения и устранения дефектов. Одним из перспективных способов для совершенствования подходов нахождения и классификации дефектов является использование нейросетевого обучения.

Составлено авторами

Наружные ограждающие конструкции играют важную роль в обеспечении комфорта и энергоэффективности зданий.

Однако иногда в процессе строительства или эксплуатации могут возникать дефекты, которые снижают качество и надёжность конструкций.

Классификация возникающих дефектов наружных ограждающих конструкций приведена на рисунке 2.

Рисунок 2. *Классификация дефектов наружных ограждающих конструкций (составлено авторами)*

64SAVN624
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Самые распространенные дефекты, возникающие у наружных ограждающий конструкции приведены на рисунке 3. Явные ошибки обычно относительно легко устранить, в то время как скрытые обычно влекут за собой дополнительные работы [6].

Наружные ограждающие конструкции должны быть надежными и устойчивыми к различным видам нагрузок и воздействий окружающей среды, должны поддерживать необходимые температурно-влажностные условия в помещениях, обеспечивать звукоизоляцию, а также другие характеристики, соответствующие их функциональному назначению.

Когда система ограждающих конструкций ОКС выходит из строя, в результате получается менее энергоэффективная конструкция, которая с большей вероятностью будет пропускать влагу и демонстрировать признаки разрушения снаружи.

Рисунок 3. *Основные дефекты наружных ограждающих конструкций (составлено авторами)*

Прочностные характеристики и несущая способность ограждающих конструкций напрямую влияют на их устойчивость к воздействию нагрузок и внешних факторов. Однако элементы ОКС зачастую подвергаются повреждениям, дефектам и износу, что характерно влияет на уязвимость элементов [7; 8].

Под уязвимостью конструкций понимаем степень ее незащищенности, характеризующая возможность нанесения системе повреждений любой природы силы или факторами. Данный параметр напрямую связан с «живучестью» конструкции, однако авторы [9] предлагают ввести дополнительную характеристику «мобилизованность», которая показывает, как элемент конструкции готов к временному (импульсному) воздействию. При оценивании риска элементов конструктивных систем целесообразно провести ранжирование по уровню уязвимости, степени риска и последствиям разрушения. Использование многокритериального программирования с использованием метода анализа иерархий позволяет принимать решения в сложных условиях, когда при определении приоритетности и выборе альтернатив или проектов учитывается множество переменных или критериев. [10]. Согласно оценкам специалистов [11] вероятность отказа зданий и сооружений составляет примерно 0,001 для предельных состояний второй группы и 0,00001 для состояний первой группы с катастрофическими последствиями. Основные причины уязвимости ограждающих конструкций авторы привели на рисунке 4.

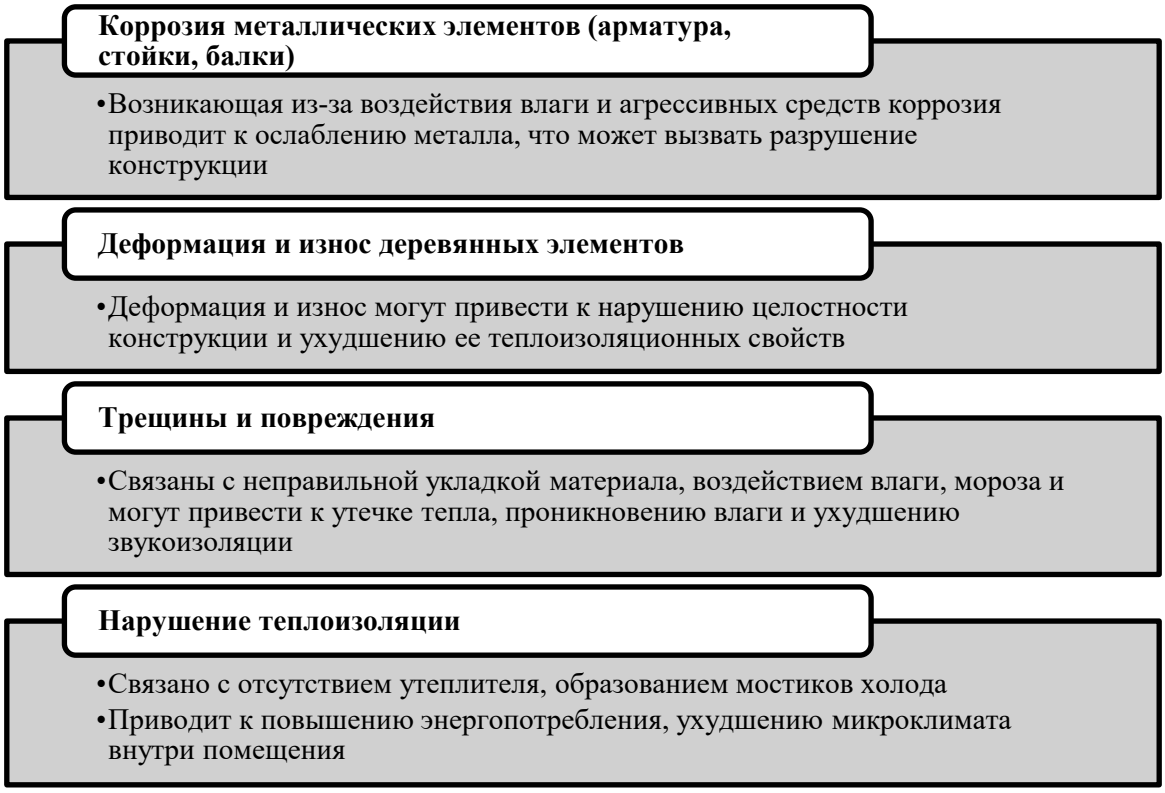

Рисунок 4. *Уязвимости ограждающих конструкций и их причины (составлено авторами)*

Анализ имеющейся литературы показывает, что наибольшую долю в возникновении дефектов строительных конструкций играет воздействие окружающей среды, которое приводит к коррозиям, преждевременному износу, разрушениям конструкций, что в результате приводит к ключевому последствию — снижение несущей способности элемента здания [12]. Поэтому на этапе эксплуатации необходимо с определенной периодичностью проводить мониторинг и обследование строительных конструкций, чтобы в случае возникновения какого-либо дефекта на начальном этапе определить характер поведения, спрогнозировать его развитие, риски и возможные последствия, а также определить пути устранения возникшей проблемы. Своевременное усиление конструкций по результатам проведенных исследований позволит продлить срок службы объекта и избежать аварийных ситуаций. Например, усиление ограждающих конструкций железобетонными или стальными обоймами применимо, когда необходимо сдерживать поперечные усилия, а устройство контрфорсов позволит снизить внутренние усилия в стенах, однако данный метод используют лишь при возведении зданий небольшой этажности [13]. Как показывает практика, в настоящий момент существует множество способов и технологий для устранения дефектов, усиления элементов, влияния на работоспособность конструкций, но при этом приоритетным направлением является проведение объективной и грамотной оценки состояния объекта.

Ключевые дефекты и повреждения ограждающих конструкций могут быть представлены параметрическими моделями дефектов, вносимыми в информационную модель здания с фиксацией не только пространственного положения дефекта, но и параметров его развития во времени [14; 15]. Авторами был представлен пример моделирования дефекта ограждающих конструкций здания на основе количественного представления о характере развития и параметрах документирования в строительно-технической экспертизе трещин наружных стен. Моделирование дефекта осуществлялось в среде GDL ТИМ-программы Archicad, используемой как инструмент информационного моделирования зданий как на стадии проектирования, так управления строительством и эксплуатацией объекта (рис. 5).

Длина, мм; толщина, мкм, участка	[10][2]
Число участков	4
Угол поворота участка, град	[10]
Толщина конструкции	300
Угол поворота трещины (0 - вертик., 90 - гориз.)	0,00°
Масштаб	1
Цвет	Краска - Антрацит
Выступ за поверхность стены	1
Максимальная ширина раскрытия, мкм	1000
Максимальная длина, мм	1000
Округлять длину до..., мм	100

Рисунок 5. *Параметры моделируемого дефекта трещины (разработано авторами)*

Моделируемыми параметрам и дефекта, обеспечивающими количественное информационное представления о его текущем и перспективной состоянии в модели здания явились следующие:

- Длина, мм; толщина, мкм, участка — массив данных максимум из 10 строк (участков трещины) в двух столбцах (1 — длина участка трещины, мм; 2 — толщина участка трещины в мкм (10^{-3} мм)). Параметр при документировании дефекта не задается вручную, а создается графически, растяжением каждого участка в длину по мере визуального сходства с моделируемым реальным дефектом.
- Число участков — целое число от 2 до 10, устанавливающее количество участков (сегментов ломаной) создаваемой траектории трещин.
- Угол поворота участка, град — массив данных максимум из 10 строк (участков трещины) с углами поворота участков относительно вертикали. Параметр при документировании дефекта не задается вручную, а создается графически, поворотом каждого участка в длину по мере визуального сходства с моделируемым реальным дефектом.
- Толщина конструкции — глубина проникновения трещины в конструкцию, ширины ломаной полосы. Параметр при документировании дефекта устанавливается равной ширине конструкции, если трещина пересекает ее насквозь.
- Угол поворота трещины (0 — вертик., 90 — гориз.) — угол поворота полосы трещины, 0 или 90 град. — трещина в вертикальных ограждающих конструкциях (стены), 90 град. — в горизонтальных (плиты).
- Масштаб — число (масштабный коэффициент), на которое умножается ширина трещины для более контрастного ее изображения (с намеренно увеличенной шириной), необходимое для взаимной визуальной оценки ширины трещин, выделении наиболее раскрывшихся, приспосабливания ширины показываемых трещин к возможностям отображения на экране. Изначально установлен 1, при этом трещины близки к реальным по своему внешнему виду. В дальнейшем все трещины на участке временно изменяются масштабом, при анализе состояния конструкции, затем возвращаются в исходный масштаб.

- Цвет — один из доступной библиотеки покрытий проекта цвет (текстура), которым окрашиваются трещины в модели. Преимущественно монотонный темный (черный), наиболее контрастный и близкий к действительности.
- Выступ за поверхность стены — расстояние, на которое торцевые поверхности трещины выходят за грани объекта, в котором установлены. Необходимо для визуального выделения трещин на поверхности конструкции, обычно, небольшая величина 1 мм.
- Максимальная ширина раскрытия, мкм — вводимая и актуализируемая величина ширины трещины по всем участкам.
- Максимальная длина, мм — вводимая и актуализируемая общая длина всех участков траектории трещины. Оба параметра при документировании дефекта позволяют осуществлять количественный и качественный визуальный ретроспективный анализ динамики его развития.
- Округлять длину до …, мм — величина, до которой округляется выводимая длина трещины, обеспечивающая совместимость модели с корпоративными стандартами представления информации в экспертной отчетной документации.

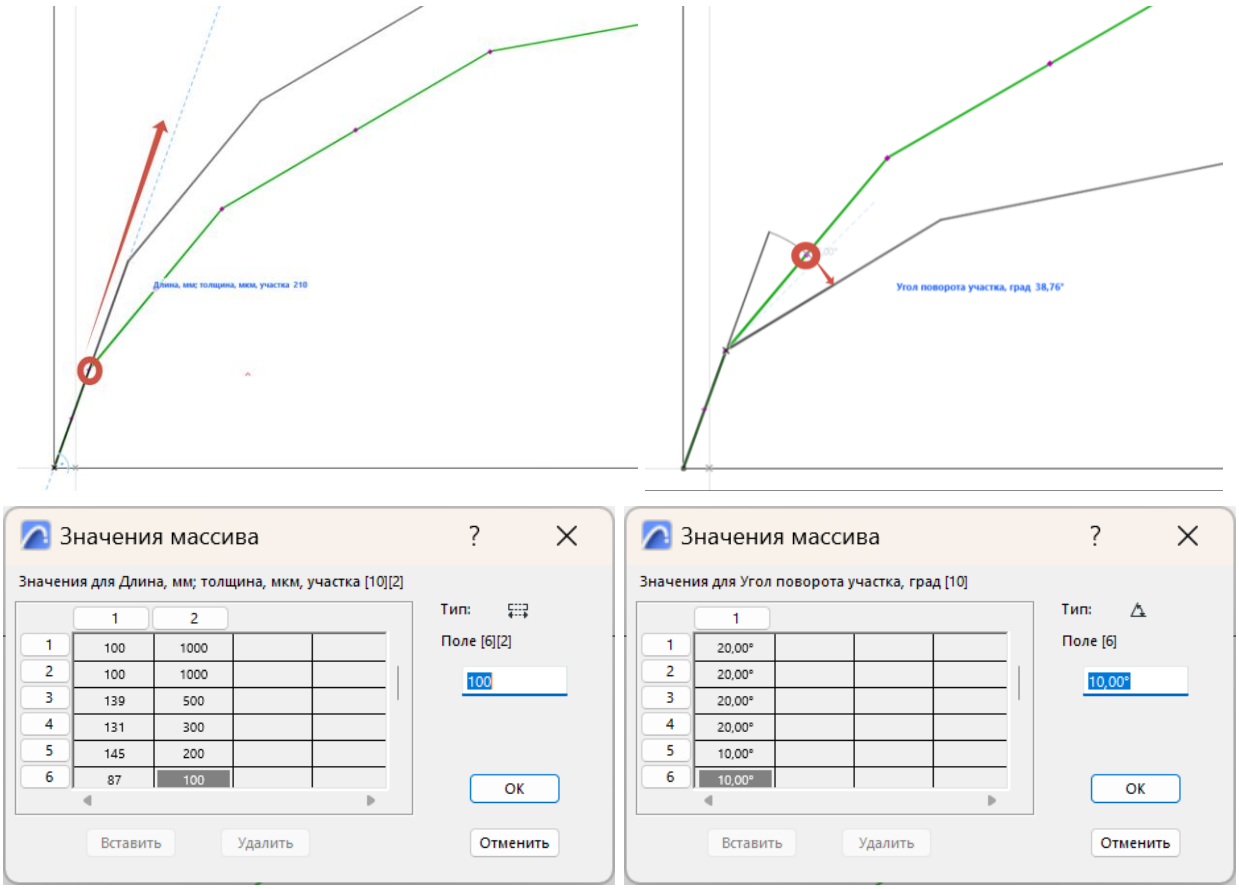

Рисунок 7. *Инструменты автоматизации первичного документирования и последующей периодической актуализации положения и развития дефекта (разработано авторами)*

В процессе документирования дефекта используются подвижные маркеры, позволяющие удлиняют и поворачивают каждый из участков трещины, добиваясь нужной ее траектории, максимально визуально схожей с реально наблюдаемым дефектом поврежденной конструкции, что существенно упрощает и автоматизирует процесс первичного

документирования и последующей периодической актуализации положения и развития дефекта. На рисунке 7 авторами изображены инструменты автоматизации первичного документирования и последующей периодической актуализации положения и развития дефекта: подвижные маркеры, позволяющие удлиняют и поворачивают каждый из участков трещины; массив данных с количественными характеристиками участков дефектов, используемый при ретроспективном анализе его развития.

Информационные модели зданий в части диагностируемых и исследуемых ограждающих конструкций снабжаются таким образом эффективными графическими инструментами визуализации и цифрового сопровождения параметров развития дефектов, что позволяет выполнять ретроспективный анализ динамики дефекта, оценивать ключевые характеристики и моделировать цикл его развития, экстраполировать установленные динамики на перспективный момент времени, оценивая негативный эффект каждого из установленных дефектов и ранжируя дефекты по степени предполагаемой деструктивности, что определяет ряд перспективных направлений совершенствования методики управления жизненным циклом здания с дефектами и повреждениями по критерию минимизации затрат на его техническую эксплуатацию [16].

Заключение

В течение ЖЦ ОКС конструктивные элементы системы подвергаются различным воздействиям, таким как эксплуатационные нагрузки, изменения климата, заложенные по проекту нагрузки от окружающей среды. Но кроме запланированных нагрузок на элементы оказывают воздействие незапланированные (техногенные) факторы, исходящие от окружающей среды и внешней инфраструктуры, включая аварийные ситуации. Появление различных деформаций и повреждений несущих и защитных конструкций ОКС указывает на отклонения от параметров, установленных на этапе проектирования для нормального функционирования системы. Чтобы избежать возникновения аварийных ситуаций, связанных с прогрессирующими повреждениями конструкций, необходимо проведение детального обследования конструкций, исследование причин появления дефектов и последствий для технического состояния конструкций.

Для предотвращения возникновения дефектов на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства необходимо проводить тщательный контроль качества работ, использовать качественные материалы и оборудование, а также соблюдать все нормативные требования и рекомендации специалистов. Эпоха цифровых решений создает потребность в более актуальных решениях и продуктах, которые соответствуют сложным требованиям строительной отрасли. В связи с этим, разработка новых методов проведения обследования зданий и сооружений будет продолжать развиваться в будущем. Применение БПЛА с реализацией нейросетевых технологий инструментальной оценки физического износа, инструментов информационного моделирования дефектов и повреждений конструкций здания имеют огромный потенциал, открывая новые возможности и перспективы для строительной индустрии. Теоретические основы управления жизненным циклом дефекта наружных ограждающих конструкций являются базовым пунктом в проблематике совершенствования методов и инструментов проведения технической экспертизы наружных ограждающих конструкций высотных зданий, которой будут посвящены дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никулина Ю.А. Проблемно-ориентированный подход к цифровой трансформации систем управления жизненным циклом объектов капитального строительства / Ю.А. Никулина // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 5. — URL: https://esj.today/PDF/07SAVN523.pdf.
2. Josephson, P.E. and Hammarlund, Y. The causes and costs of defects in construction: a study of seven building projects. Automation in construction 8(1999). Pp. 681–687.
3. Bolotov T.T., Bekbolotov T.B. Inspection of the technical condition of a non-residential building // The herald of KSUCTA. — 2019. — № 4(66). — pp. 628–633. DOI: 10.35803/1694-5298.2019.4.628-633.
4. Petrov Ivan, Hakimov Almaz. Digital technologies in construction monitoring and construction control // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2019. — № 497(1):012016. — pp. 1–9. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012016.
5. Лазарева, Н. Комплекс мер по развитию информатизации и автоматизации строительно-технических экспертиз / Н. Лазарева, А. Зиновьев, Л. Опарина // Русский инженер. — 2021. — № 2(71). — С. 45–48.
6. Совершенствование методики цифровой оценки физического износа плоских рулонных кровель / В.В. Строкова, Р.В. Лесовик, А.Е. Наумов [и др.] // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15, № 6. — URL: https://esj.today/PDF/111SAVN623.pdf.
7. Интеллектуализация технологических процессов строительно-технической экспертизы / А.Е. Наумов, Д.А. Юдин, А.В. Долженко [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова. — 2022. — № 12. — С. 28–38. — DOI 10.34031/2071-7318-2022-7-12-28-38.
8. Захарова, М.Ю. Мониторинг коррозионных процессов строительных конструкций / М.Ю. Захарова, А.В. Долженко // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. Том 2. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, 2023. — С. 91–94.
9. Ferreira, C., Silva, A., de Brito, J., Flores-Colen, I. (2023). Maintainability of Buildings' Envelope. In: Maintainability of Building Envelope Elements. Springer Series in Reliability Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14767-8_4.
10. Yudin D., Naumov A., Dolzhenko A., Patrakova E. Software for roof defects recognition on aerial photographs // Journal of Physics: Conference Series. — 2018. — № 1015(3):032152. — pp. 1–9. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032152.
11. Ricardo Viana Vargas, Ipma-B Pmp Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to Select and Prioritize Projects in a Portfolio // PMI Global Congress. — Washington — 2010. — Pp. 1–23.
12. Assessment of defects at construction and occupancy stages. / Chong, Wai Kiong; Low, Sui Pheng. // Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 19, No. 4, 01.11.2005, p. 283–289.

13. Meor Hasan, M.I., Abd Razak, N.N., Endut, I.R., Abu Samah, S.A., Mohd Ridzuan, A.R., & Saaidin, S. (2016). Minimizing defects in building construction project. Jurnal Teknologi, 78(5-2). doi: 10.11113/jt.v78.8494.

14. Alencastro, J., Fuertes, A. and De Wilde, P. The relationship between quality defects and the thermal performance of buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 81, Pp. 883–894.

15. Выявление и классификация дефектов строительных конструкций по установленным критериям эксплуатационного износа / В.Я. Мищенко, С.Г. Шеина, Ю.Д. Сергеев [и др.] // Инженерный вестник Дона. — 2024. — № 2(110). — С. 520–535.

16. Гинзбург, А.В. Организационно-технологическая надежность строительных систем / А.В. Гинзбург // Вестник МГСУ. — 2010. — № 4-1. — С. 251–255.

Naumov Andrey Evgenevich
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: kafeun@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8162-1946
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=683551
WoS: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/K-1704-2018
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56448117200

Suvorova Maria Olegovna
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: marykrutilova@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7423-6866
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=811292
WoS: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAC-4403-2019
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57196246833

Lesovik Galina Alexandrovna
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: galina.lesovik@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3831-7647
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=669996

Poddubrovskaya Kseniya Sergeevna
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: Korshikova00@mail.ru

Theoretical bases of defect life cycle management of external building envelope structures

Abstract. The structure of almost all construction projects, over time and as a result of operation, downtime of unfinished projects, climatic, man-made and other impacts, is subject to various types of damage and deformation, which significantly affects the reliability of the structures, the service life of the facility, and comfortable conditions for further operation. Building envelopes being a highly defect-intensive structural element of a building are of great importance in ensuring the safety of objects. In this regard, the assessment of the technical condition of the building and the assessment of defect life cycle management of the external envelope structures of a high-rise building is an actual direction. To date, the Russian construction industry does not have ready-made solutions that would meet the requirements of forms and methods of verifying the compliance of a construction project with design documentation, as well as technical regulations. Nevertheless, active efforts are being made to eliminate this problem, including the creation of digital systems for monitoring of the construction project.

In this article, was conducted a review of defects occurring at the main stages of the life cycle of a construction project in the aspect of defect occurrence and development, defect analysis and defect management techniques. It is worth noting that defect life cycle management is a multifaceted task that requires an integrated approach and the use of modern technologies at all stages of the life cycle of the construction project. The integrated approach will allow to make prompt and timely decisions on the need to perform repairs or reconstruction of facilities.

Keywords: building life cycle management; building information modeling; exterior envelope structures; defect; technical operation; monitoring; assessment structural condition