

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Железнова Максима Максимовича на диссертационную работу Долженко Александра Валериевича на тему «Управление жизненным циклом объекта строительства автоматизированной строительно-технической экспертизой плоских рулонных кровель», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства

На отзыв были представлены:

- диссертационная работа, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 171 источника и 3 приложений. Объем работы изложен на 168 страницах машинописного текста, включающего 18 таблиц, 57 рисунков, 15 формул;
- автореферат диссертации на 24 страницах.

Изучение и анализ представленных материалов позволил установить следующее.

Актуальность диссертационной работы

Управление жизненным циклом объекта строительства после завершения этапа строительства основывается на организации ресурсоэффективной и безопасной эксплуатации здания, чему способствуют своевременно проводимые и документируемые строительно-технические экспертизы здания и его элементов. В рассматриваемой работе цифровая экспертиза строится на инструментах и технологиях автоматизированной строительно-технической дефектоскопии (АСТД), сегментации дефектов и их квалиметрии, оценке текущего и прогнозного технического состояния объекта и разработке на этой основе оптимальных управленческих решений по организационным и экономическим критериям.

В работе формулируются и решаются актуальные задачи реализации эффективной технологии АСТД плоской рулонной кровли, основанной на применении беспилотных авиационных систем (БАС) и нейросетевой обработке получаемых изображений дистанционного зондирования. Значимы для отрасли исследуемые в работе вопросы совершенствования используемого терминологического аппарата и проведения ретроспективного анализа влияния дефектов объекта на его состояние.

Актуальность работы также подтверждается исследованиями автора в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ №FZWN 2024-0011, государственного задания Минобрнауки РФ №FZWN 2025-0003, проекта программы развития «Приоритет-2030» БГТУ им. В.Г. Шухова №СП2-2/2-2024.

Общая характеристика работы

Во введении обоснована актуальность, представлена степень разработанности, определены предмет и объект, сформулированы цель и задачи исследования, описана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту. Дано обоснование достоверности полученных результатов, приведены сведения об их апробации и внедрении, публикациях основных положений работы, личном вкладе автора, структуре и объеме работы. Указано соответствие области исследования пунктам паспорта научной специальности 2.1.14.

В первой главе описывается анализ проблемной области строительно-технической экспертизы на этапах жизненного цикла объекта строительства. Автор обобщает ряд современных представлений о структуре жизненного цикла, предлагает агрегированную схему этапов, в реализации которых применимы результаты диссертационного исследования.

Автором выделены и проанализированы факторы, влияющие на периодичность и качество производства строительно-технической экспертизы, анализ научных трудов по теме исследования, который подтвердил исходную гипотезу о математической взаимосвязи технического состояния объекта исследования, элемента здания и количественных параметров текущего состояния и развития дефектов плоской рулонной кровли. На этой основе строится приводимая в дальнейшем авторская технология автоматизированной дефектоскопии, позволяющая устанавливать параметры технического состояния элемента, являющиеся основой принятия рациональных управленческих решений.

Автором выполнен критический анализ, с примерами правовых и организационных коллизий, действующей нормативно-правовой и методологической баз производства строительно-технических экспертиз. Анализ позволил наметить пути совершенствования нормативного законодательства и методологии в предметной области, в первую очередь в направлении применения и развития бесконтактных инструментов дефектоскопии, в частности, базирующихся на БАС, в значительной степени преодолевающих трудности ручного производства экспертиз и недоступности прямого исследования объекта. Автором обоснован выбор объекта исследования – плоские рулонные кровли, дефектное поле которых характеризуется типичностью, прямолинейностью перемещений при наблюдении, преимущественной плоскостностью визируемых поверхностей, конечным числом визуально диагностируемых дефектов.

Немаловажным аспектом исследования, затрагиваемым автором, является проблематика метрологического обеспечения предлагаемой технологии дефектоскопии. В развитии предложений по его совершенствованию автором предложены основные подходы к организации и

производству необходимых поверочных и калибровочных мероприятий для применяемых средств измерений.

Вторую главу исследователь посвящает рассмотрению методов и инструментов исследований, решающих поставленные в работе теоретические и прикладные задачи. Рассматривается визуальное обследование зданий как способ производства экспертизы, не утрачивающий свое практическое значение и содержащий существенный потенциал развития, главным образом, за счет применения технологии машинного зрения.

Цифровая модель детектируемого дефекта плоской рулонной кровли строится с использованием методов и инструментов параметрического моделирования. С этой целью в работе размещен вводный материал об инструментах и методах, представлены примеры успешной параметрической реализации ряда прототипов элементов строительной среды, уделено внимание обоснованию организационно-экономической эффективности использования параметрических моделей и языковой среды моделирования.

Значительное внимание уделено практическому рассмотрению ключевого инструмента автоматизированной экспертизы – беспилотным авиационным системам и их аппаратно-программному оснащению. Также в главе приведен краткий методический обзор технологий нейросетевого анализа и сегментации технических изображений. Автором рассматриваются общие принципы организации построения и обучения нейросетей, предлагаются варианты их реализации для задач исследования, делается вывод о наилучшем соответствии глубоких сверточных нейросетей.

Третья глава исследования посвящена рассмотрению теоретических основ производства автоматизированной строительно-технической экспертизы плоских рулонных кровель. Автором вносятся новые практически значимые предложения к совершенствованию терминологической базы отрасли. Субъективностью и ограниченностью охвата методов оценки традиционных физического износа и технического состояния элемента здания, отсутствием унифицированной классификации дефектов, недостатком комплексности подхода к технической оценке многоэлементных объектов строительства, сложностью проведения факторного анализа причин и трудностью интеграции разноформатных потоков информации при анализе состояния здания автором обосновывается предлагаемый термин «состояния функционального соответствия» (СФС). Термин раскрывается в контексте плоской рулонной кровли как универсальный и обобщенный категорийный контейнер, иерархически структурированный вводимыми в его состав четыремя эксплуатационными состояниями кровли, оцениваемыми качественно и количественно.

Интегральную оценку СФС автор выстраивает на основании частных оценок эксплуатационных состояний, определяемых на основании диагностируемых параметров каждого из классифицированных дефектов кровли. В работе предложен алгоритм количественной оценки состояния, включающий этапы частных оценок влияния на эксплуатационные состояния,

интеграцию частных оценок в общую оценку СФС и интеграцию СФС по участкам в состояние кровли в целом.

Рассматриваются авторские предложения по упрощению и ускорению процедуры экспертного оценивания, используемые при определении удельных весов влияния дефектов на отдельные эксплуатационные состояния и значимости состояний в общей оценке СФС. Численным экспериментом автором обоснованы и предложены рациональные параметры организации оценивания методом анализа иерархий, что повысило эффективность метода в строительной экспертизе и обеспечило исследование достоверным количественным материалом для апробации.

Четвертая глава посвящена рассмотрению и обоснованию применения нейросетевого алгоритма в строительной дефектоскопии кровель. Автоматическое обнаружение дефектов на фотоизображениях является технически сложной задачей сегментации, поскольку на внешний вид дефектов и возможность их достоверной идентификации влияет масса сторонних факторов. Эти трудности преодолеваются автором выбором и обучением нейросети приемлемых архитектур, к которым относятся сверточные нейросети.

Автором реализован процесс обучения полностью сверточной нейросети, строящийся на собственном количественном параметре оценки качества сегментации, увеличении объема обучающей выборки приемами аугментации, одноканальной бинаризации изображений дефектов пороговым RGB-HSV преобразованием, отыскании на бинаризованном изображении 8-связных областей использованием двухпроходного алгоритма, квалитметрии, ранжировании и архивации актуализированных масок дефектов в их информационных моделях. Интересным и практически значимым результатом исследования является авторское приложение, разработанное в среде python, обеспечивающее поликритериальную диагностику и количественную оценку классифицированных дефектов кровли как при обучении, так и при полевой работе эксперта.

Нейросеть выбранной полностью сверточной архитектуры обучается автором в рамках предлагаемого каталога дефектов, систематизированных по оцениваемым параметрам и уровню воздействия на слои кровли, при этом детализация изображений обосновывает рациональность использования навесного оборудования БАС. Приемлемыми величинами меры качества распознавания автор обосновывает рациональность числа эпох, оптимизатора и скорости обучения, обеспечивающих бесперебойную, комфортную работу эксперта с обученной нейросетью и достоверность получаемого результата.

Для бесшовной интеграции технологии АСТД в экспертную, изыскательскую и проектную ТИМ-деятельность автором предлагается и апробируется классификация дефектов кровли в формате, комплементарном принятому на практике классификатору строительной информации, для чего проводится критический анализ ряда зарубежных и отечественных форматов классификации и предлагается методический подход к построению

иерархического классификационного обозначения для дефектов кровли в наиболее рациональном из них.

Пятая глава посвящена практическим аспектам апробации и реализации предлагаемой технологии управления жизненным циклом объекта строительства автоматизированной строительно-технической дефектоскопией плоских рулонных кровель. Автором анализируются этапы и предлагается усовершенствованный алгоритм подготовки полетного задания БАС, включающей параметрическую настройку навесного оборудования, и параметры наилучшей реализации задания в натурном обследовании кровли, рассматриваются штатные и расширенные инструменты управления исполнением задания в комплектующем БАС ПО, приводится и анализируется ряд технических аспектов операторской работы в приложении АСТД и документирования результатов экспертизы для самостоятельного использования или кроссплатформенного обмена информацией в среде общих данных информационной модели.

Автором разработан стандарт организации на производство АСТД кровли, применяемый в том числе при апробации результатов исследования на 11 эксплуатируемых объектах капитального строительства на территории кампуса БГТУ им. В.Г. Шухова, 7 эксплуатируемых муниципальных объектах г. Белгорода и Белгородской области, а также 11 объектах г. Самары. Приводятся сведения о том, что технология АСТД кровли прошла нормативную апробацию в органах государственного управления в составе методического обеспечения при внедрении аппаратно-программного комплекса обнаружения дефектов кровель зданий и сооружений (аэродефектообследование) в Министерстве строительства Белгородской области.

Успешная апробация работы подтверждается представленными фрагментами сопровождающей внедрение технологии документации – полетного задания БАС, дефектной ведомости АСТД, параметрической модели Rhino+Grasshopper, документирующей количественные параметры геотегированных дефектов, перечня установленных технологических несовершенств и эксплуатационных дефектов обследованной кровли. Представленная документация, в полном объеме выполняемая в натурных обследованиях зданий, составляет основной результат строительно-технической экспертизы кровли, установленный требованиями действующих норм и сложившейся практикой отрасли.

Автором детально представлен и рассмотрен ход и порядок производства АСТД кровли на одном из объектов апробации с приведенными техническими сведениями об объекте строительства, частными и общими оценками СФС его плоской рулонной кровли, выполненными в табличном и графическом представлении для использования, соответственно, в аналитической части исследования и в составе информирующей и советующей систем управления жизненным циклом объекта строительства.

Рационализация состава и содержания ремонтно-восстановительных мероприятий реализуется автором решением оптимизационной задачи, включающей матрицу управляющих воздействий (проектных решений, порядка и перечня ремонтируемых участков кровли), варьируемых в пределах альтернативных вариантов ремонтно-восстановительных мероприятий. Состав мероприятий рационально выполняемого объема формируется из набора типовых технологических карт.

Автором предложены методические основы количественной организационно-экономической оценки рациональности оптимизируемых ремонтно-восстановительных мероприятий. Оценка, осуществленная по показателям снижения площади ремонтируемой кровли, стоимости и сроков проведения ремонта, наглядно демонстрирует более чем 20% экономию времени и ресурсов, а приведенные результаты постремонтного мониторинга СФС свидетельствуют о стабилизировавшемся состоянии кровли, что позволило автору рекомендовать увеличенный межремонтный промежуток для обследуемой кровли, дополнительно снижая ресурсоемкость ее нормальной эксплуатации.

В заключении приводятся результаты диссертационного исследования, подтверждающие выдвинутую гипотезу и являющиеся решением поставленных задач, сформулированы основные выводы, даны рекомендации по прикладному использованию технологии АСТД и определены направления дальнейших исследований.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и научная новизна

Теоретическими основами исследования стали труды отечественных и зарубежных ученых в области организации эксплуатации и обследования технического состояния объектов недвижимости, строительно-технической экспертизы, информационного моделирования, нейросетевого анализа, организации возведения и обследования плоских рулонных кровель. Методологической основой работы являлись нормативные регламенты по осуществлению экспертиз технического состояния и оценке физического износа кровель. Методической базой для планирования и осуществления инструментальных исследований являлись строительные правила по эксплуатации зданий и сооружений, стандарт организации по эксплуатации и техническому обслуживанию крыш с кровлями из рулонных и мастичных материалов, указания по технической эксплуатации крыш зданий с рулонными, мастичными и стальными кровлями, технологии их ремонта и нанесения защитно-отделочных составов. Методической основой анализа изображений в дефектоскопии кровель стали методики обучения глубоких (полностью) сверточных нейронных сетей на представительной выборке цифровых результатов изысканий (датасете).

Основные выводы, представленные в заключении и в автореферате диссертации, в достаточной степени отражают содержание работы и ее ключевые научные и практические результаты, степень решения поставленных в работе научных и исследовательских задач является полной.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений и выводов диссертационной работы обусловлена использованием современных методов исследований, апробацией и верификацией полученных результатов, их непротиворечивостью сложившейся отраслевой практике и исследованиям сторонних авторов. Результаты внедрения подтвердили актуальность и востребованность авторского решения важной отраслевой задачи – производства автоматизированной строительно-технической дефектоскопии плоских рулонных кровель, сформулированных теоретических, методологических и системотехнических подходов к мониторингу и управлению состоянием функционального соответствия элемента в управлении жизненным циклом объекта строительства. Выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, прошли положительную апробацию и внедрение в практику деятельности управляющих компаний гг. Белгорода и Самары, Министерства строительства Белгородской области, где использовались при организации, производстве и анализе результатов мониторинга состояния кровель обслуживаемых зданий.

Научная новизна диссертационной работы заключается в выполненной автором классификации дефектов плоской рулонной кровли; предложении, содержательном наполнении и алгоритме оценки понятия состояния функционального соответствия кровли, дополняющего и расширяющего теоретические представления о показателях технического состояния и физического износа элемента здания при выборе рационального состава ремонтно-восстановительных мероприятий в эксплуатации объекта. Предложен и апробирован научно-методический подход к совершенствованию информационной модели объекта строительства иерархическим классом дефектов плоской рулонной кровли, расширяющим инструментарий цифрового управления жизненным циклом здания. Осуществлена программная реализация методики обучения глубокой (полностью) сверточной нейронной сети, сегментирующей дефекты элемента здания на технических изображениях; предложено аппаратно-программное обеспечение беспилотных авиационных систем, информационно обеспечивающее технологию производства автоматизированной строительно-технической дефектоскопии кровель, что позволяет существенно снижать ресурсоемкость и сроки производства экспертиз. Предложены, научно-методически обеспечены и экспериментально обоснованы принципы управления безопасной и ресурсоэффективной эксплуатацией кровли, интегрирующие автоматизированную диагностику состояния ее функционального

соответствия и параметрическое моделирование дефектов, снижающие стоимость владения кровлей и объектом строительства в целом.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретические научные положения о цифровом представлении дефектов плоской рулонной кровли как иерархического класса информационной модели объекта строительства позволяют расширить эксплуатационные и аналитические возможности в цифровом управлении жизненным циклом здания. Практически значимые положения представленной технологии получения, документирования и использования в информационной модели цифрового результата автоматизированной строительно-технической дефектоскопии обеспечивают количественную оценку эффективности принимаемых управленческих решений в технической эксплуатации кровель и объекта строительства в целом по критерию минимизации лимитированных затрат на безопасную и функциональную эксплуатацию. Основные положения разработанного и предложенного автором усовершенствованного состава аппаратно-программного обеспечения цифровой экспертизы позволяют обогатить практический инструментарий строительного эксперта технологиями производства периодического обследования, количественной оценки, документирования и прогнозирования развития дефектов кровли в режиме реального времени, что существенно упрощает и повышает эффективность ведения и контроля управленческой деятельности на этапах жизненного цикла здания. Методические положения по оптимизации состава и содержания ремонтно-восстановительных мероприятий, предварительная оценка организационно-экономической эффективности в 20% и более позволяют прогнозировать широкое практическое использование технологии АСТД в управлении жизненным циклом объекта строительства.

Оценка публикаций автора

Основные положения работы изложены в 12 публикациях, в том числе 6 – в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ; 4 – в изданиях, индексируемых международной базой данных Scopus. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Публикации и результаты интеллектуальной деятельности в полном объеме отражают основные положения диссертационной работы.

Замечания

1. В п. 2.3 автором детально рассмотрена возможная инструментальная база производства строительно-технической экспертизы с применением беспилотных авиационных систем, при этом в явном виде рекомендаций к выбору рационального состава аппаратной части не представлено.

2. Составляющие авторского понятия «состояния функционального соответствия» (п. 3.1, стр. 72-73) не полностью характеризуют параметры кровли, оказывающие влияние на ее физический износ и техническое состояние, например, нет сведений о текущем состоянии кровельного пирога и фактических свойствах его материалов.

3. Автором рекомендуется и в численном эксперименте определяется критерием отсечения величина ошибки согласованности суждений МАИ в 10% (стр. 83), каковы обоснования этой величины?

4. Чем обосновано и как влияет на результаты обучения расширение обучающего датасета аугментацией (стр. 91-92), а не натурными изображениями дефектов?

5. В тексте работы содержится ряд неточностей. Так, в выводах к главе 4 (стр. 113-114) отмечается эффективность полностью сверточной нейросети (ПСНС), тогда как в самой главе 4 (п. 4.1, 4.2) автором упоминается глубоко сверточная нейросеть (ГСНС). Перечень классифицированных дефектов ПРК в табл. 10 (стр. 98) и в табл. 15 (стр. 112) не совпадает. Изменение площади ремонтируемой ПРК (табл. 18, стр. 137) между плановым и предложенным вариантом указано в 23%, тогда как по цифрам составляет $750/520 - 1 = 44\%$.

Представленные замечания не носят принципиального характера и не снижают общую положительную оценку диссертационного исследования.

Заключение

Ознакомление с авторефератом и диссертацией позволяет сделать вывод о том, что Долженко А.В. проделана объемная, качественная научно-исследовательская работа, представляющая профессиональный интерес для специалистов строительной отрасли и сферы технической эксплуатации зданий и сооружений.

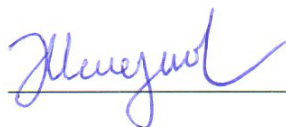
Диссертационная работа Доженко А.В. является завершенной самостоятельной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, имеющие научную новизну и практическую значимость. Работа характеризуется содержательностью, лаконичностью и последовательностью изложения, терминологически и стилистически выдержана, в должной степени сочетает эмпирические, численные и экспериментальные методы исследования.

Учитывая актуальность, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа на тему «Управление жизненным циклом объекта строительства автоматизированной строительно-технической экспертизой плоских рулонных кровель» соответствует критериям пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. в действующей редакции), которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор,

Долженко Александр Валериевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук по специальности 05.26.02 – Безопасность в чрезвычайных ситуациях (транспорт), доцент, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»



**Железнов
Максим Максимович**

« ____ » _____ 2025 г.

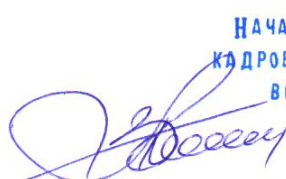
Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку



М.М. Железнов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26,
Телефон: +7 (495) 781-80-07
e-mail: kanz@mgsu.ru

Подпись М.М. Железнова заверяю


**НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗ-
ВОДСТВА УРП
А.В. ПИНЕГИН**

