

На правах рукописи



Гневанов Максим Владимирович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТНО-
СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ КАК ЭЛЕ-
МЕНТА УПРАВЛЕНИЯ ИХ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ**

2.1.14 – Управление жизненным циклом объектов строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет»

- Научный руководитель:** **Опарина Людмила Анатольевна**, доктор технических наук, профессор, советник РААСН
- Официальные оппоненты:** **Зильберова Инна Юрьевна**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»
- Попова Ольга Николаевна**, кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова», заведующий кафедрой «Автомобильные дороги и строительное производство»
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород

Защита состоится «18» сентября 2026 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.300.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000, Иваново, пр. Шереметевский, 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановского государственного политехнического университета (www.ivgpu.ru).

Автореферат разослан «____» августа 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Касьяненко Наталья Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Современный подход к управлению строительными объектами основан на управлении их жизненными циклами (ЖЦ). Наиболее продолжительным этапом жизненного цикла является этап эксплуатации, в ходе которого основное внимание уделяется поддержанию объектов в работоспособном состоянии. Для этого осуществляется мониторинг ключевых показателей состояния здания, а также планирование и организация ремонтно-строительных работ (РСР) как отдельных проектов, влияющих на эффективность управления объектом на основных этапах его жизненного цикла.

Особенности общественных зданий заключаются в многофункциональности помещений, значительном количестве инженерных систем, высокой интенсивности эксплуатации. Для таких объектов характерны повышенные требования к безопасности, надежности, а также к соблюдению санитарных, противопожарных и архитектурных норм. Это обуславливает необходимость ремонтов, а также применение более гибких и технологичных методов управления ремонтно-строительными проектами.

В настоящее время управление жизненным циклом зданий, построенных после 2021 года и попадающих под действие Постановления Правительства РФ от 5 марта 2021 г. № 331, осуществляется с использованием информационной модели объекта капитального строительства. РСР для таких зданий реализуются на основе информационной модели, что позволяет сократить сроки и повышает эффективность управления их жизненным циклом. Однако подавляющее большинство зданий в России построено до внедрения технологий информационного моделирования (ТИМ), и в настоящее время они находятся на различных стадиях эксплуатационного этапа их жизненного цикла и, соответственно, требуют проведения различного вида ремонтно-строительных работ. Отличительными особенностями общественных зданий, построенных до внедрения ТИМ, являются отсутствие информационных моделей, низкий уровень оцифровки технических паспортов, журналов осмотров, а также возможное отсутствие отчетов о проводимых осмотрах и документации о ранее выполненных работах. С учетом сложности, многоаспектности и масштабности обозначенной проблемы, акцент в диссертационном исследовании сделан на реализацию ремонтно-строительных проектов общественных зданий как важный элемент управления их жизненным циклом.

В связи с развитием цифровой экономики, широким внедрением ТИМ, искусственного интеллекта, требуются разработка новых и совершенствование существующих методов организации РСР. Эффекты от цифровизации уже сейчас порождают коренные изменения в областях науки и техники. Одной из прогрессивных и нарастающих цифровых технологий является анализ больших данных, позволяющий формировать и принимать наиболее рациональные решения о составе, объемах, продолжительности выполнения работ, а также о затратах на их реализацию. Это, в свою очередь, повышает эффективность организационно-технологических решений, направленных на устранение дефектов ремонтируемого здания, и, как следствие, обеспечивает повышение эффективности управления его жизненным циклом.

Степень разработанности исследуемой проблемы

Теоретическим и практическим вопросам организации ремонтно-строительных работ посвящены исследования ряда ученых, к которым следует отнести Король Е.А., Олейника П.П., Попову О.Н., Порывай Г.А., Ройтмана А.Г., Шрейбера А.К., Шрейбера К.А и других. Тема повышения и обеспечения организационно-технологической надежности отражена в трудах известных ученых, таких как Гинзбург А.В., Гусаков А.А., Зильберова И.Ю., Седых Ю.И., Чулков В.О., Шалягин Г.Л. и других. Большое внимание вопросам управления жизненным циклом объектов капитального строительства уделено в научных трудах Волкова А.А., Карелина Д.В., Лапидуса А.А., Мищенко В.Я., Федосова С.В., Наумова А.Е., Опариной

Л.А., Петрухина А.Б., Римшина В.И., Суворовой М.О., Сулеймановой Л.А., Топчего Д.В., Челышкова П.Д. и других учёных.

Несмотря на большое количество исследований, вопрос организации ремонтно-строительных проектов как элемента управления жизненным циклом общественных зданий остается недостаточно разработанным. Мало изучены подходы, интегрирующие принципы системотехнического и проектного управления с технологиями анализа данных и цифровой поддержки управленческих решений. Кроме того, практически отсутствуют исследования, в которых управление ремонтно-строительными проектами рассматривается как один из ключевых аспектов, влияющих на управление жизненным циклом объектов.

Научно-техническая гипотеза состоит в том, что возможно повысить эффективность управления жизненным циклом общественных зданий путём организации ремонтно-строительных проектов в условиях ограниченных ресурсов на основе применения технологии анализа больших данных.

Целью исследования является разработка научно обоснованного метода организации ремонтно-строительных проектов общественных зданий для управления их жизненным циклом на основе применения технологии анализа больших данных.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Исследование состояния проблемы, систематизация научных подходов к управлению ремонтно-строительными проектами в течение жизненного цикла общественных зданий с учётом их специфики.
2. Оценка влияния ремонтно-строительных работ на продолжительность этапов жизненного цикла объекта строительства.
3. Анализ существующих методов машинного обучения как инструмента анализа больших данных с целью их применения при организации ремонтно-строительных проектов.
4. Разработка блок-схемы организации ремонтно-строительных работ общественных зданий.
5. Разработка структуры взаимосвязанных классификаторов для организации ремонтно-строительных проектов и управления ими: классификатора общественных зданий, классификатора элементов зданий и классификатора дефектов.
6. Создание математической модели оценки вероятности выполнения ремонтно-строительных работ в заданные сроки и алгоритма формирования рациональных решений при организации ремонтно-строительных проектов, основанного на анализе больших данных.
7. Разработка программного комплекса, реализующего предложенный метод, и внедрение результатов исследования.

Объектом диссертационного исследования являются общественные здания, находящиеся на эксплуатационном и последующих этапах их жизненного цикла, в отношении которых осуществляется организация ремонтно-строительных проектов.

Предметом диссертационного исследования является процесс организации ремонтно-строительных работ и реализации ремонтно-строительных проектов в рамках управления жизненным циклом общественных зданий.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем: разработан научно обоснованный метод организации ремонтно-строительных проектов общественных зданий как элемент управления их жизненным циклом, а именно:

1. Разработана блок-схема организации ремонтно-строительных работ общественных зданий, включающая методы цифрового анализа данных и прогнозирования трудоёмкости работ, а также установленные на основе экспертных оценок факторы, влияющие на их выполнение, что отличает её от существующих подходов и обеспечивает возможность эффективного управления жизненным циклом зданий.

2. Предложена структура классификатора элементов и классификатора дефектов зданий, обеспечивающая возможность интеграции в единую систему хранения и анализа данных, формируемых в течение их жизненного цикла.

3. Создана математическая модель оценки вероятности выполнения ремонтно-строительных работ в заданные сроки, отличающаяся от существующих моделей учетом влияния неструктурированных факторов, которые являются ключевым элементом анализа больших данных, и позволяющая учитывать их изменчивость в условиях неопределенности и ограниченной доступности ресурсов, характерных для ремонтно-строительных проектов.

4. Предложен алгоритм формирования рациональных решений при реализации ремонтно-строительных проектов, основанный на технологии анализа больших данных и позволяющий учитывать влияние неструктурированных факторов при принятии управленческих решений в условиях неопределённости и ограниченной доступности ресурсов в течение жизненного цикла зданий.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в развитии теоретических знаний в области реализации ремонтно-строительных проектов: определены основные процедуры, формирования организационно-технологических и управленческих решений, принимаемых в течение жизненного цикла общественных зданий. Также выявлены неструктурированные факторы, влияющие на продолжительность выполнения работ в рамках реализации ремонтно-строительных проектов.

Практическая значимость работы состоит в:

- возможности применения разработанной методики в деятельности управляющих и девелоперских компаний, а также организаций, выполняющих ремонтно-строительные работы общественных зданий с целью повышения их организационно-технологической надёжности и продления их жизненного цикла;
- возможности по результатам заполнения информации об общественном здании получать достоверную информацию о зданиях-аналогах по типам зданий и перечням дефектов;
- возможности при управлении ремонтно-строительным проектом обратиться к информационной базе, содержащей рекомендации по устранению того или иного дефекта;
- разработке рекомендаций по организации и проведению ремонтно-строительных работ в общественных зданиях в рамках управления ремонтно-строительным проектом за счет корректировки календарного плана посредством учета трудоемкости отдельных видов работ и численности трудового ресурса;
- наполнении классификатора дефектов описаниями типовых дефектов для различных видов зданий и способов их устранения.

Методология и методы исследования

Теоретической и методологической основой данной работы служат результаты фундаментальных и прикладных исследований в области проведения ремонтно-строительных работ зданий, а также научные подходы к управлению проектами в течение жизненного цикла зданий. В исследовании использованы методические материалы, посвящённые вопросам организации и планирования работ, а также современные подходы к анализу данных с использованием методов машинного обучения. В работе применялись системный анализ, теория вероятностей, математическое моделирование, экспертные оценки, методы анализа больших данных, математическая статистика. Информационной базой исследования являются данные организаций Москвы и Московской области о проводимых ремонтно-строительных работах в общественных зданиях.

Личный вклад автора заключается в активном участии во всех этапах исследования, включая сбор, анализ и систематизацию теоретических данных, личном проведении всех экспериментов, самостоятельном формулировании положений, представленных на защиту, формулировании научной новизны и выводов. Все результаты диссертационного исследования получены автором лично.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная блок-схема организации ремонтно-строительных работ в рамках управления ремонтно-строительным проектом общественных зданий в течение их жизненного цикла.
2. Разработанная система взаимосвязанных классификаторов: классификатора элементов и классификатора дефектов зданий.
3. Математическая модель оценки вероятности выполнения ремонтно-строительных работ в заданные сроки, позволяющая учитывать их изменчивость в условиях неопределенности и ограниченной доступности ресурсов, характерных для ремонтно-строительных проектов.
4. Разработанный алгоритм формирования рациональных решений при организации ремонтно-строительных проектов для обеспечения организационно-технологической надежности.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена использованием принципов системного подхода, теории организационно-технологической надёжности, сходимостью данных, полученных в результате проведенных исследований, со статистическими данными, представленными организациями, занимающимися ремонтно-строительными работами.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертации были изложены на следующих международных научно-практических конференциях: «Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности» (2019 г., Самара); «Чистая наука» как парадигма технико-технологического прогресса (2020 г., Стерлитамак); «Проблемы методологии и опыт практического применения синергетического подхода в научных исследованиях» (2020 г., Самара); «Инструменты и механизмы устойчивого инновационного развития» (2022 г., Уфа); «Эффективное управление инновационными процессами в условиях цифровой трансформации» (2022 г., Уфа); X Международная научно-практическая конференция кафедр организационно-технологического профиля строительных вузов и технических университетов, (2024 г., Москва), национальная научно-техническая конференция: «ПОИСК» (2024 г., 2026 г., Иваново).

Публикации. Основное содержание работы по теме диссертации изложено в 19 научных работах, в их числе 3 публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий по научной специальности 2.1.14, и 3 работы в научном издании, входящем в международную реферативную базу Scopus.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, основной части, включающей 4 главы, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 155 страниц, работа содержит 45 рисунков, 24 таблицы и 6 приложений. Список литературы насчитывает 156 наименований.

Содержание диссертации соответствует п.п. 4, 5, 7 паспорта научной специальности 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит актуальность темы исследования, научную новизну, степень разработанности. Обоснована необходимость и значимость исследования в контексте развития теории и методов управления жизненными циклами объектов капитального строительства. Определена цель и задачи, направленные на совершенствование организационно-технологических механизмов управления ремонтно-строительными проектами с использованием цифровых инструментов и анализа данных. Уточнены объект и предмет исследования, описаны методы, практическая и теоретическая значимость работы, апробация результатов и сведения о научных публикациях и структуре работы.

В первой главе исследования проведен анализ научных материалов в области управления жизненным циклом объектов капитального строительства. Установлено, что организация РСП становится одной из ключевых задач для достижения цели исследования (рис. 1). Управление жизненным циклом объекта капитального строительства осуществляется через реализацию ряда взаимосвязанных проектов, каждый из которых имеет собственную структуру и последовательность стадий. Эффективность их реализации определяет уровень надежности и устойчивого функционирования объекта в течение ЖЦ.

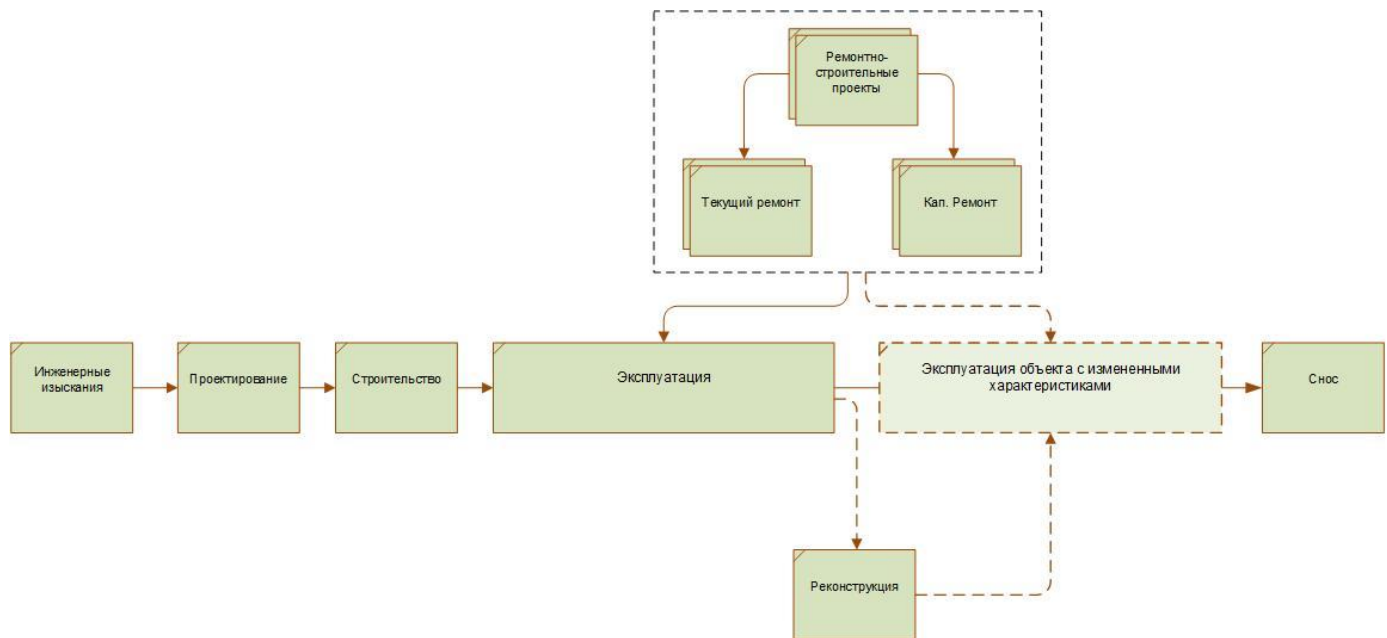


Рисунок 1 – РСП как элемент управления ЖЦ объекта недвижимости

Во второй главе выявлены особенности ремонтно-строительных проектов общественных зданий, определены основные задачи в рамках каждого из этапов управления ими. Рассмотрены инструменты реализации РСП и подходы к ним, включая особенности календарного планирования и цифрового моделирования производственных процессов в условиях неопределенности и риска. Проанализированы подходы и инструментарии по определению технического состояния здания как элементы цифрового управления их ЖЦ. Обоснована необходимость разработки нового подхода к повышению эффективности управления ЖЦ общественных зданий на основе интеллектуальной поддержки принятия решений, включая анализ больших данных.

РСП являются ключевым элементом продления сроков службы здания. Влияние РСП на жизненный цикл здания может быть количественно выражено формулой:

$$T_{\text{нов}} = T_{\text{исх}} + \Delta T_{\text{РСП}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{нов}}$ – прогнозируемый остаточный ресурс объекта (или элемента) после реализации РСП;

$T_{\text{исх}}$ – остаточный ресурс объекта (или элемента) на момент начала реализации РСП;

$\Delta T_{\text{РСП}}$ – прирост остаточного ресурса (или межремонтного периода), полученный в результате реализации РСП.

Значительная часть ремонтно-строительных организаций специализируется на выполнении определённых видов работ, что требует систематизации данных о дефектах и элементах зданий и формирования цифровой классификационной базы, дающей возможность описания широкого спектра методов их устранения.

В рамках исследования проведён экспертный опрос специалистов в области ремонтно-строительного производства. Целью опроса было выявление факторов, влияющих на трудоёмкость выполнения работ, в результате было определено десять ключевых факторов. После чего оценён вклад каждого фактора по величине ранга, который специалист отдал данному фактору при ранжировании всех факторов. Наименьший ранг (1) присвоен фактору, который эксперт считает наиболее значимым. На основе метода априорного ранжирования определены наиболее значимые факторы.

Для определения согласованности мнений экспертов рассчитан коэффициент конкордации Кендалла:

$$\mathcal{W} = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)}, \quad (2)$$

где: S – сумма квадратов отклонения суммы рангов от средней арифметической суммы рангов, полученных в результате балльной оценки экспертов по методу консенсуса;

m – количество экспертов;

k – количество исследуемых параметров (факторов).

$$\mathcal{W} = \frac{12 \cdot 179620}{3600 \cdot 990} \approx 0,61 \quad (3)$$

Так как $\mathcal{W} \geq 0,5$, то доказана согласованность мнений экспертов.

В результате метода априорного ранжирования восемь факторов были определены как значимые, среди них: квалификация рабочих, опыт работы бригады, трудовая дисциплина рабочих в бригаде, наличие необходимых материалов, уровень стесненности, погодные условия, уровень сложности работы, качество и современность оборудования. Для преобразования качественных значений факторов в количественную оценку применен принцип шкалы Харрингтона. В таблице 1 представлено количественное описание на примере трех факторов.

Для повышения управляемости и прогнозирования трудоёмкости предложено использовать технологию анализа больших данных как инструмент цифровой интеллектуальной поддержки принятия решений.

В рамках исследования акцент сделан не на объем данных, а на возможность обработки неструктурированной и разнородной информации и интеграции для моделирования параметров РСП. В результате проведенного анализа была выбрана множественная линейная регрессия как основной элемент анализа больших данных.

Таблица 1 – Количественное описание на примере трех факторов

Фактор	Наименование	Значения
Квалификация рабочих	Низкая квалификация (недостаточно навыков, требуется постоянный контроль)	(0-0,33]
	Средняя квалификация (выполнение типовых задач, требуется периодический контроль)	(0,33-0,66]

Фактор	Наименование	Значения
	Высокая квалификация (уверенное выполнение задач, минимальный контроль)	(0,66-1,0]
Трудовая дисциплина рабочих в бригаде	Систематические нарушения, требуется постоянный контроль, отклонения от графика	(0-0,33]
	Периодические нарушения, локальные отклонения от графика	(0,33-0,66]
	Устойчивое соблюдение регламента, отклонения минимальны или отсутствуют	(0,66-1,0]
Уровень стесненности	Высокая стесненность (существенные пространственные ограничения, снижение производительности, затрудненный доступ, повышенные риски)	(0-0,33]
	Средняя стесненность (локальные ограничения доступа, возможны периодические замедления, но отсутствуют серьезные простои в работе)	(0,33-0,66]
	Низкая стесненность (благоприятные условия, ограничения минимальные или отсутствуют, влияние на темп выполнения минимально)	(0,66-1,0]

Третья глава диссертационного исследования посвящена разработке метода организации ремонтно-строительных проектов общественных зданий как элемента управления их жизненным циклом с применением анализа больших данных. Метод основан на цифровом моделировании параметров производственных процессов выполнения работ и включает математическую модель оценки вероятности их выполнения в заданные сроки, с учетом показателей трудоемкости и численности трудовых ресурсов. Критерием обеспечения ОТН является качественное выполнение работ в срок при ограниченной доступности ресурсов и действии факторов неопределенности и риска. В основе метода лежит блок-схема организации ремонтно-строительных работ общественных зданий, включающая в себя пять этапов (рис. 2). На «нулевом» этапе проверяется наличие информационной модели здания, которая служит основой цифрового управления его жизненным циклом (если она есть, то реализация РСР производится в соответствии с данными цифровой модели).

На первом этапе информация о здании вносится в информационную базу, в которой хранятся данные об объектах ремонта, формируемые в течение их жизненного цикла. Данная база позволяет проводить сравнительный анализ объектов по ряду критериев. Далее производится выделение элементов в соответствии с классификатором «элементы здания», определяется вид элемента. Например, элемент «стеклянный фасад здания» может иметь тип «стоечно-ригельный», «структурный», «полуструктурный», «блочный».

После этого определяется перечень работ, исходя из ресурсов и возможностей ремонтно-строительной организации формируются организационно-технологические решения, и на завершающем пятом этапе производится оценка уровня ОТН. Применение блок-схемы организации РСР общественных зданий в управлении жизненным циклом объекта недвижимости показано на рисунке 3.

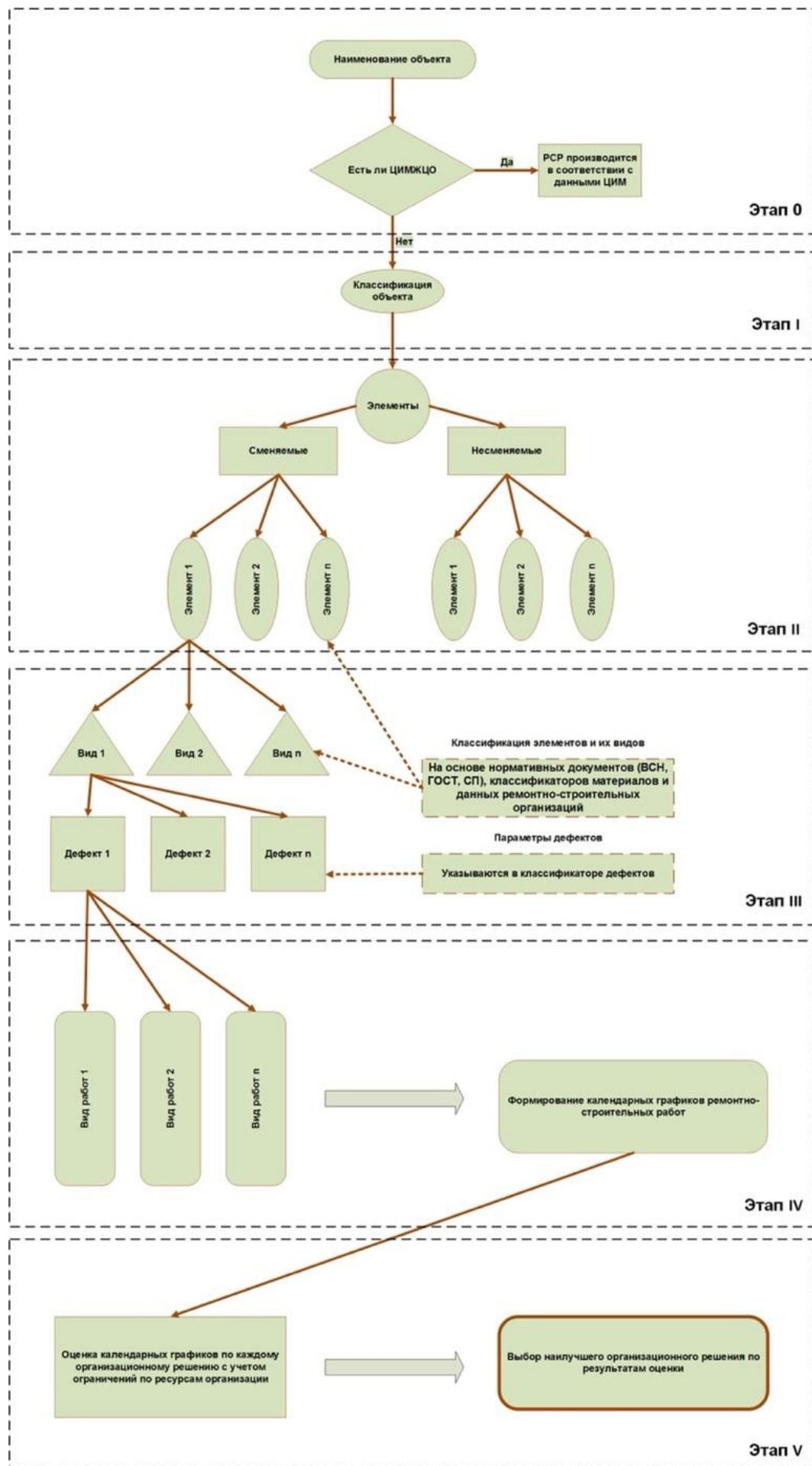


Рисунок 2 – Блок-схема организации ремонтно-строительных работ общественных зданий

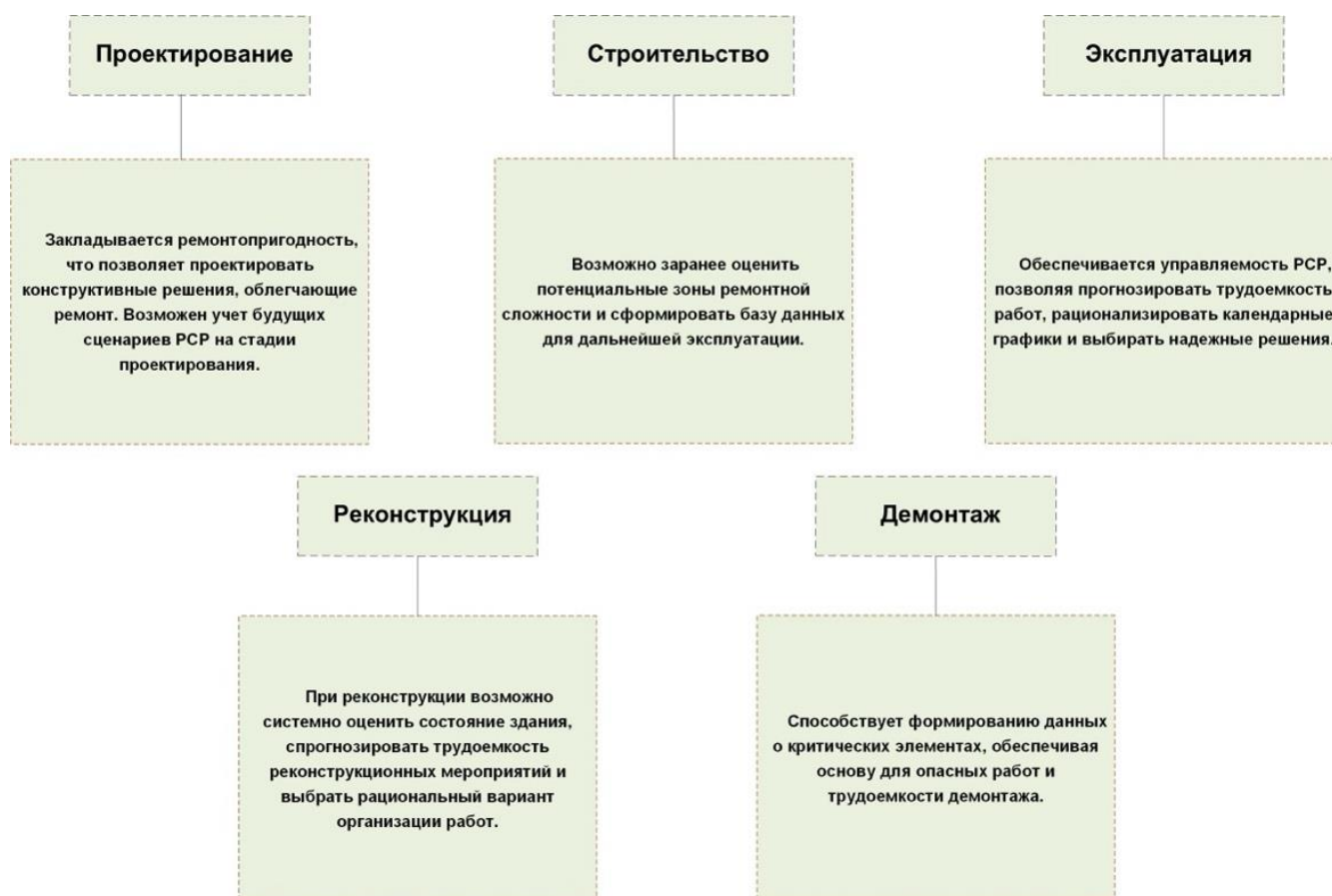


Рисунок 3 – Применение блок-схемы организации РСР общественных зданий в управлении жизненным циклом объекта

Представленная блок-схема обладает элементами научной новизны, так как включает использование методов цифрового анализа данных и прогнозирования трудоёмкости работ, что отличает её от существующих подходов. Она становится важным элементом для обоснования проектных и организационно-технологических решений на стадии проектирования и строительства, повышения уровня надежности при эксплуатации объекта, определения целесообразности при реконструкции и демонтаже объекта. Это обеспечивает возможность более эффективного управления жизненным циклом зданий на всех его стадиях.

Для получения представления о рекомендуемых видах работ в рамках исследования разработана система взаимосвязанных классификаторов элементов и их дефектов, представленная на рисунках 4 и 5. Первостепенной задачей классификатора дефектов на начальных уровнях является определение степени «критичности» дефекта. Далее необходимо выяснить, реально ли устранить дефект проведением ремонтных работ или же поврежденный элемент необходимо заменять. Помимо этого, классификатор хранит перечень работ по устранению того или иного дефекта.

Ключевой особенностью классификатора является включение в цифровую среду управления ЖЦ, обеспечивающую накопление, хранение и анализ информации о значениях показателей трудоёмкости: нормативная трудоёмкость, средняя фактическая трудоёмкость (реальная), трудоёмкость, прогнозируемая на основании анализа больших данных.

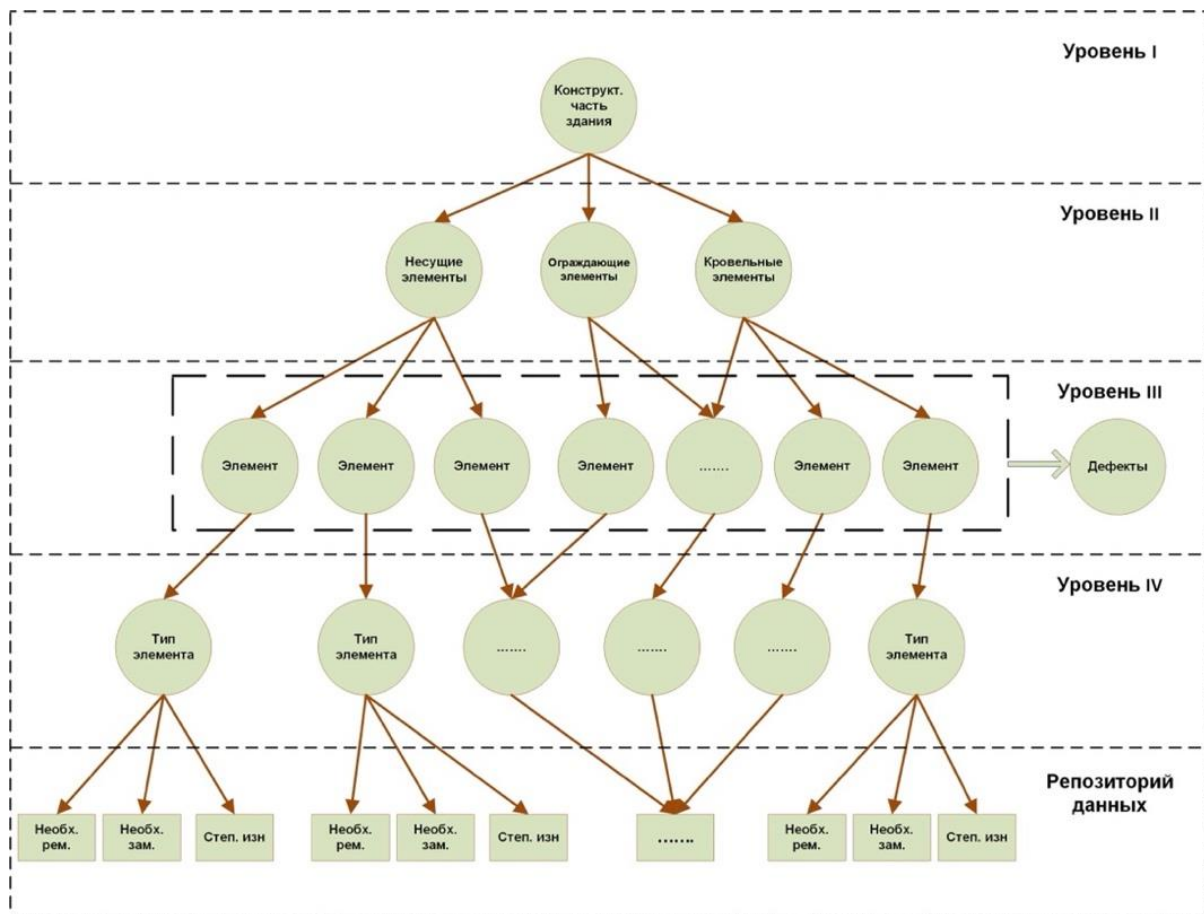


Рисунок 4 – Обобщенная структура классификатора элементов

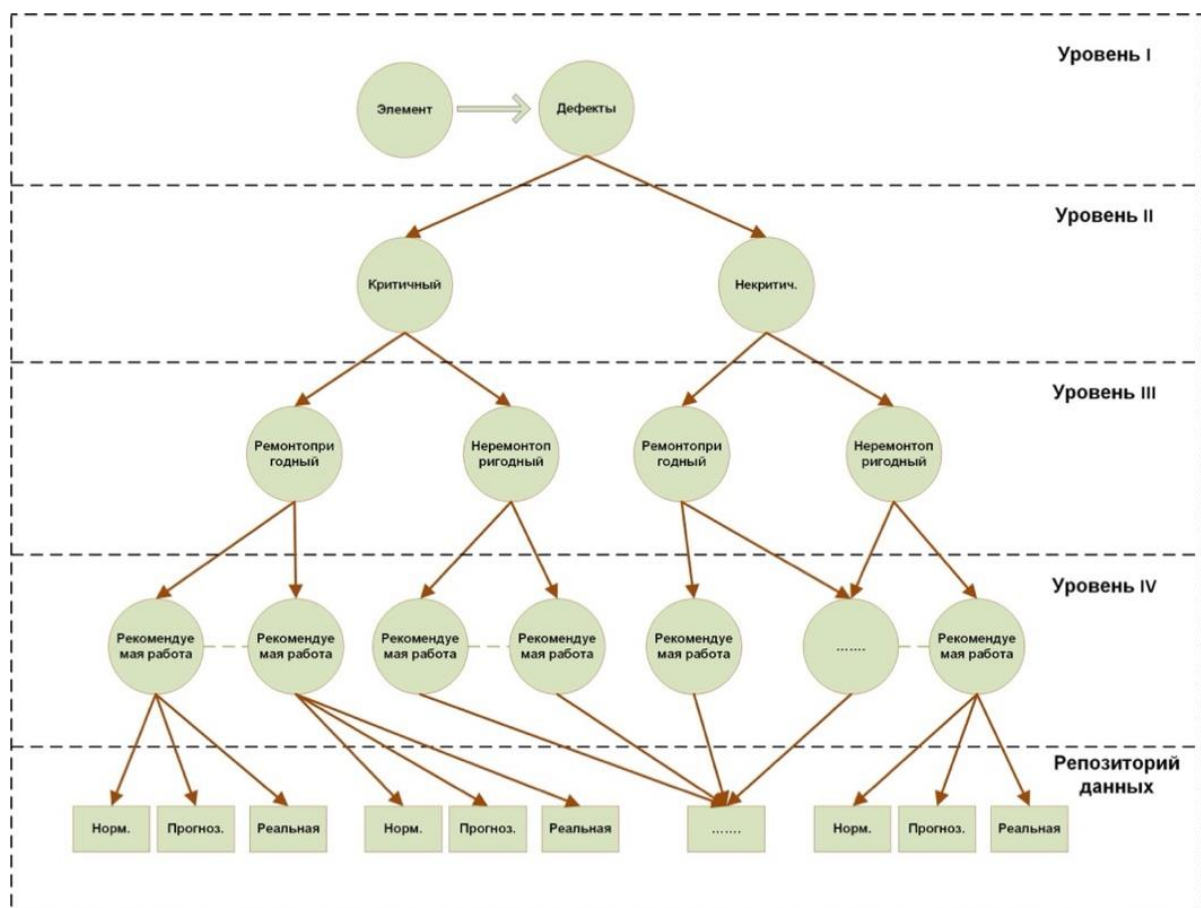


Рисунок 5 – Обобщенная структура классификатора дефектов

Использование классификаторов в управлении жизненным циклом объекта недвижимости показано на рисунке 6.



Рисунок 6 – Использование классификаторов в управлении жизненным циклом объекта

На стадии проектирования и строительства дефекты документируются и хранятся в единой системе данных, обеспечивая прозрачность на последующих этапах ЖЦ и повышая точность при проектировании. На стадии эксплуатации возможно оперативно получать полную картину состояния объекта и формировать отчёты о необходимом ремонте. По мере накопления данных возможно строить обоснованные сценарии реконструкции, проводить сравнения вариантов их реализации на схожих объектах, ускоренным образом определять материалы для захоронения и переработки на этапе демонтажа объекта. Таким образом, возникает необходимость оценки трудоемкости работ для определения сроков их выполнения.

Если по какому-либо виду работы нет статистики о реальной трудоёмкости, тогда трудоёмкость рассчитывается исходя из нормативных документов. В рамках исследования разработана математическая модель оценки вероятности выполнения РСП в заданные сроки. Модель представляет собой систему взаимосвязанных формул (4)-(7), позволяющих прогнозировать продолжительность работ с учетом влияния разнородных факторов.

В основу расчета продолжительности выполнения работ положена формула:

$$t_j = \frac{V_j \cdot Y_j}{Q_j}, \quad (4)$$

где t_j – продолжительность j -ой работы;

j – вид работы;

Y_j – показатель трудоёмкости j -ой работы, (чел.-дн./ед.изм.);

V_j – общий объем j -ой работы (ед.изм. работы);

Q_j – количество трудового ресурса (чел.).

Для прогнозирования величины Y_j (в конкретном случае i), являющейся случайной величиной, в рамках разработанной методики применяются технологии анализа больших данных. Прогнозирование Y_j осуществляется по входящим значениям параметров, исходя из статистических данных по отдельным видам работ j , хранящимся в информационной базе.

Для анализа данных применяется множественная регрессия как механизм анализа больших данных, реализующий принципы цифровой поддержки принятия управленческих решений:

$$\hat{Y} = a_0 + b_1 a_1 X_1 + b_2 a_2 X_2 + \dots + b_j a_k X_k + \varepsilon_j, \quad (5)$$

где $X_1, X_2, \dots, X_k$ – признаки (входные переменные), характеризующие особенности конкретной работы и оказывающие влияние на её трудоёмкость;

$a_1, a_2, \dots, a_k$ – коэффициенты (веса) параметров;

$b_1, b_2, \dots, b_k$ – бинарный коэффициент значимости параметров для конкретной работы (0 – фактор не значимый, 1 – фактор значимый);

ε_j – ошибка прогнозирования.

Число регрессионных параметров может меняться в зависимости от вида работ и определяться на основе метода экспертных оценок. В общем виде в качестве признаков $X_1, X_2, \dots, X_k$ уравнения (5) используются те, которые были выбраны по результатам экспертного опроса о влиянии факторов на трудоёмкость.

Для оценки статистической значимости регрессионных моделей использовался коэффициент детерминации R_j^2 , для анализа изменчивости – дисперсия и среднее квадратичное отклонение. Эти показатели используются при моделировании значений трудоёмкости, что обеспечивает возможность вероятностной оценки продолжительности работ и определения показателя ОТН для организационных решений.

Для выбора наилучшего организационного решения по показателю продолжительности работ выполняется оценка вероятности их выполнения в заданные сроки. Для этого продолжительность рассчитывается на основе смоделированных значений трудоёмкости. Метод моделирования основан на применении центральной предельной теоремы и нормального распределения, что позволяет учесть изменчивость факторов и рассчитать диапазон возможных сроков выполнения работ.

Для получения нового смоделированного значения трудоёмкости $Z_{ij}^{(r)}$ с математическим ожиданием $\hat{Y}_{ij}$ используется формула:

$$Z_{ij}^{(r)} = z^{(r)} * \sigma(Y_j) + \hat{Y}_{ij} \quad (6)$$

После чего рассчитывается продолжительность работы со сгенерированным значением трудоёмкости.

$$t_{ij}^{(r)} = \frac{v_{ij} * Z_{ij}^{(r)}}{q_{ij}} \quad (7)$$

Для оценки продолжительности выполнения работ каждого организационного решения необходимо произвести моделирование в количестве N_r раз (где N_r – число итераций модели, $N_r \geq 100$) и каждый раз пересчитывать продолжительность выполнения работы (4) с новым значением трудоёмкости $Z_{ij}^{(r)}$. После каждого получения нового значения трудоёмкости рассчитывается критический путь T_{wk} (k -ой итерации w -го организационного решения).

Алгоритм реализации модели представлен на рисунке 7.

Важной особенностью модели является самообучающийся механизм цифрового моделирования, обеспечивающий актуализацию данных и уточнение прогнозных зависимостей по мере накопления информации в процессе управления объектом. Принцип самообучения заключается в том, что по мере накопления данных о трудоёмкости отдельного вида работы, получаемых в результате их осуществления, соответствующее регрессионное уравнение (5) уточняется за счёт автоматического пересчёта коэффициентов.

Использование алгоритма реализации модели оценки вероятности выполнения работ в заданные сроки в управлении жизненным циклом объектов недвижимости показано на рисунке 8.

Таким образом, разработана математическая модель оценки вероятности выполнения РСР в заданные сроки, являющаяся элементом интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении ЖЦ общественных зданий. Модель учитывает влияние неструктурированных факторов с помощью цифрового анализа больших данных, что позволяет описывать их изменчивость в условиях неопределённости и ограниченной доступности ресурсов. По мере накопления опыта реализованных РСП возможно учитывать реальные сроки ремонтных работ на стадии проектировании объекта, повысить качество планирования работ при новом строительстве, прогнозировать сроки работ на стадии реконструкции объекта при адаптации модели, более точно спрогнозировать остаточный ресурс здания при демонтаже. То есть, модель оказывает влияние на эффективность управления ЖЦ объекта на всех стадиях.

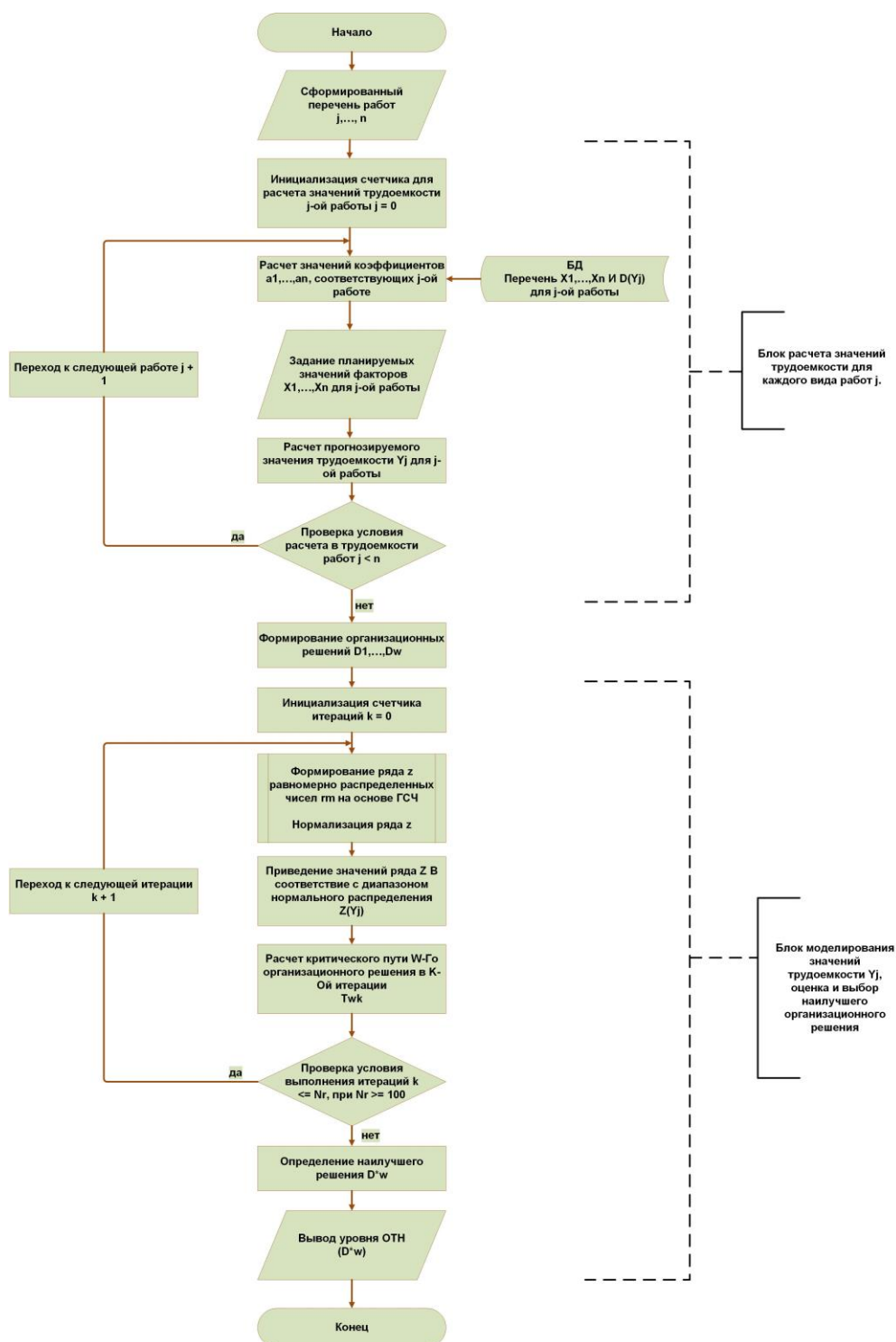


Рисунок 7 – Алгоритм реализации математической модели оценки вероятности выполнения РСР в заданные сроки



Рисунок 8 – Использование алгоритма реализации модели оценки вероятности выполнения работ в заданные сроки в управлении жизненным циклом объектов недвижимости

Разработанный алгоритм формирования рациональных организационных решений при управлении ремонтно-строительными проектами для обеспечения ОТН представлен на рисунке 9.

В четвёртой главе представлены результаты практической апробации представленных в диссертации теоретических исследований. Апробация была проведена в два этапа на базе организации ООО «Альфа Строй», специализирующейся на выполнении РСР. На первом этапе разработанная методика была применена при ретроспективном анализе реализованного решения, уровень ОТН которого составил 89%. На втором этапе метод был применён при планировании работ на объекте и организации работ по капитальному ремонту части стеклянного фасада бизнес-центра «Павловский» (г. Москва, ул. Павловская, д. 7). Анализ и реализация работ выполнялись совместно с главным инженером, специалистами производственно-технического отдела, участвовавшими в подготовке ППР и контроле за выполнением работ. В качестве исходной информации по каждому виду работ использовались данные порядка 30–50 наблюдений, полученных на основе отчётных документов, включая наряды на выполнение работ, формы КС-2 и КС-3, журналы учета труда, результаты контрольных замеров на других объектах. Уровень ОТН составил 93,5%, что свидетельствовало о его высокой обоснованности и реализуемости.

Прирост остаточного ресурса фасада здания определен на основе формулы (1):

$$\Delta T_{\text{РСР}} = T_{\text{нов}} - T_{\text{исх}}$$

$$\Delta T_{\text{РСР}} = 14 - 3 = 11 \text{ лет.}$$

По завершении работ установлено, что фактическая продолжительность полностью укладывается в расчётные сроки, определённые на основе внутренних ресурсов организации с учётом слабо структурированных факторов. Более того, фактическое время выполнения работ оказалось на 13–15% меньше по сравнению с традиционным подходом, что подтверждает эффективность предложенной методики и её практическую значимость.

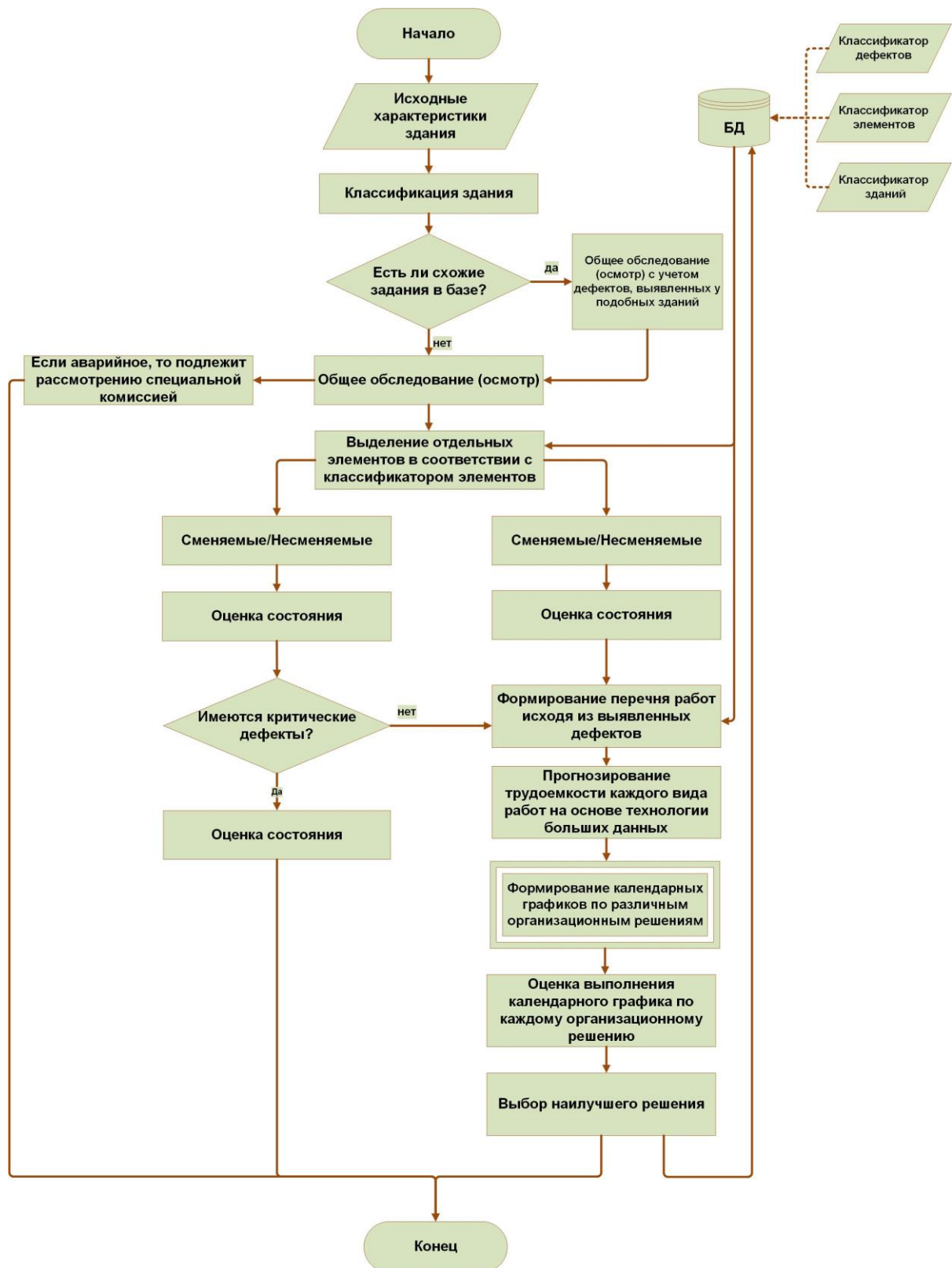


Рисунок 9 – Алгоритм формирования рациональных организационных решений при управлении ремонтно-строительными проектами

Прирост остаточного ресурса здания до капитальных вмешательств на основе формулы (1):

$$\Delta T_{\text{РСП,объекта}} = 7 - 3 = 4 \text{ года.}$$

Таким образом, разработанный метод позволил увеличить остаточный ресурс фасада и оказал положительное влияние на продолжительность жизненного цикла объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автором диссертации в ходе исследования, в соответствии с целями и задачами, получены следующие результаты:

1. Систематизированы научные подходы к управлению РСП в течение ЖЦ зданий, и обоснована необходимость их рассмотрения как проектов, оказывающих влияние на надежность и продолжительность эксплуатации объекта.
2. Установлено, что реализация РСП способствует продлению жизненного цикла здания.
3. Обоснована целесообразность применения анализа больших данных и инструментов машинного обучения для прогнозирования трудоемкости и поддержки принятия управленческих решений в условиях неопределённости.
4. Разработана блок-схема организации ремонтно-строительных работ общественных зданий, формализующая последовательность планирования и выбора организационно-технологических решений с учетом условий реализации.
5. Сформирована структура взаимосвязанных классификаторов общественных зданий, элементов и дефектов, обеспечивающая создание единой цифровой базы данных для анализа технического состояния здания и реализации РСП.
6. Создана математическая модель оценки вероятности выполнения работ в заданные сроки. На основе регрессионного анализа ($R^2 = 0,85 - 0,86$) и многократного моделирования ($N_r = 800$) установлено, что уровень ОТН реализации проекта составляет 93,5%.
7. Практическая апробация методики показала сокращение календарной продолжительности работ на 13-15% по сравнению с традиционным подходом. Разработанный программный комплекс внедрен в деятельность ремонтно-строительной организации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. Гневанов М.В., Иванов Н.А. Управление жизненным циклом объекта при организации ремонтно-строительных работ на основе цифровизации // Строительное производство. – 2022. – №4 (46). – С. 33-37.
2. Гневанов М.В. Описание системы взаимосвязанных классификаторов при управлении жизненным циклом объекта при организации ремонтно-строительных работ на стадии эксплуатации объекта // Строительное производство. – 2023. – №2 (46). – С. 133-136.
3. Опарина Л.А., Гневанов М.В. Разработка концептуальной схемы организации ремонтно-строительных работ как важный элемент управления жизненным циклом зданий // Строительное производство. – 2024. – №2 (49). – С. 45-51.

Статьи в изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus

4. Ivanov N.A., Gnevanov M.V. Big Data: Perspectives of Using in Urban Planning and Management // MATEC Web of Conferences. – 2018. – 170, 01107N.
5. Ivanov N., Gnevanov M. The use of “big data” in the organization of repair and construction works to ensure OTR // E3S Web of Conferences 263, 02010. – 2021.
6. Опарина Л.А., Гневанов М.В., Огурцов В.А., Петрухин А.Б., Власова Е.А. Цифровизация планирования ремонтно-строительных работ на предприятиях текстильной промышленности: разработка информационной системы на основе классификатора дефектов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2026. – №1 (421). – С. 214-221.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях

7. Gnevanov M.V. Practical application of the method of organizing repair and construction works in public buildings, taking into account their organizational and technological reliability // Components of Scientific and Technological Progress. – 2020. – № 3. – P. 11-15.

8. Gnevanov M.V., Ivanov N.A. Features of the Organization of Repair and Construction Works in Public Buildings in Conditions of Increasing Digitalization // Components of Scientific and Technological Progress. – 2021. – №6. – P. 12-16.

9. Гневанов М.В., Иванов Н.А. Технологии "больших данных" (Big Data) и их применение в градостроительном планировании // ПГС. – 2018. – № 4. – С. 83-87

10. Гневанов М.В., Иванов Н.А. Обеспечение организационно-технологической надежности организации ремонтно-восстановительных работ на основе технологии анализа больших данных // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 12. – С. 79-81

11. Гневанов М.В., Иванов Н.А. Применение технологий анализа больших данных для разработки и оценки вариантов организации ремонтно-строительных работ в общественных зданиях // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 5. – С. 22-25.

12. Гневанов М.В., Иванов Н.А. Обобщенное описание процесса цифровизации и возможности его влияния на управление жизненным циклом объекта // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – №3. – С. 73-76.

13. Иванов Н.А., Гневанов М.В. Оценка состояния зданий перед ремонтными работами на основе применения технологий машинного обучения // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 4(94). – С. 46-48.

14. Опарина Л. А., Гневанов М. В. Разработка методики организации ремонтно-строительных проектов общественных зданий на основе анализа больших данных // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации. 2024–2025 годы: научные труды РААСН. М.: РААСН, 2026. Т. 2. С. 180–185.

15. Гневанов М.В. Повышение организационно-технологической надежности ремонтно-восстановительных работ // Материалы Международной научно-практической конференции «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники». – Уфа: Аэтерна, 2019. – С. 21-23.

16. Гневанов М.В. Разработка рациональных решений при ремонтно-восстановительных работах жилых зданий // Материалы Международной научно-практической конференции «Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности». – Самара: Аэтерна, 2019. – С. 12-14.

17. Гневанов М.В. Организация ремонтно-восстановительных работ на основе технологии больших данных для обеспечения ОТН // Материалы Международной научно-практической конференции «Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития». – Казань: Аэтерна, 2019. – С. 21-24.

18. Гневанов М. В., Иванов Н. А., Гинзбург А.В. Теория организационно-технологической надежности как основа эффективной организации ремонтно-восстановительных работ [Электронный ресурс] // Сборник материалов Всероссийской научной конференции «Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы – 2019». М.: Издательство МИСИ-МГСУ, 2019. – С. 135-138. Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskayadeyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>

19. Опарина Л.А., Гневанов М.В. Повышение эффективности при организации ремонтно-строительных работ в условиях цифровизации // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (ПОЙСК). – Иваново: ИВГПУ, 2024. – № 1. – С. 265-267.

Объекты интеллектуальной собственности

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025689179. «Программное обеспечение методики организации ремонтно-строительных работ зданий в течение жизненного цикла» // Л.А. Опарина, М.В. Гневанов Правообладатель: Л.А. Опарина, М.В. Гневанов. Оpubл. 27.10.2025 г.