

На правах рукописи



ПОПОВА Ольга Николаевна

**МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕМОНТА
ЖИЛИЩНОГО ФОНДА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Специальность 2.1.7. Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург
2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный консультант: **Юдина Антонина Федоровна**
доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Байбурин Альберт Халитович**
доктор технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Строительное производство и теория сооружений»,
профессор;

Топчий Дмитрий Владимирович
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
кафедра Испытания сооружений, заведующий кафедрой;

Тускаева Залина Руслановна
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», кафедра
строительного производства, заведующий кафедрой.

Ведущая организация: «
».

Защита состоится «04» июня 2026 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.04 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (ауд. № 220).

Тел./факс: 8 (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и сайте: <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/popova-olga-nikolaevna>

Автореферат разослан «12» марта 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.380.04,
доктор технических наук, доцент



Гайдо А.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Развитие жилищного хозяйства является одним из основных компонентов комфортной и безопасной среды и обусловлено проблемами отрасли:

- система технического учета и мониторинга жилищного фонда фактически отсутствует – информация об объектах неполная, неактуальная и недостоверная;
- методы планирования и организации капитального ремонта, основанные на нормативно-технических регламентах, показали свою неэффективность;
- некачественное планирование объемов и сроков проведения капитального ремонта в рамках долгосрочных программ и краткосрочных планов ведет к неэффективному расходованию средств собственников;
- часть жилого фонда не соответствует современным требованиям по энергоэффективности и требует включения в программы и планы капитального ремонта энергосберегающих организационно-технологических решений.

Особенность управления эксплуатацией совокупностью объектов на территории урбанизированной застройки заключается в особенностях строительной продукции и строительного производства:

- индивидуальность, неповторимость каждого объекта. При строительстве объектов по типовым проектам уже на этапе изысканий, затем на этапах проектирования и строительства появляются отличия. В процессе эксплуатации количество различий между объектами может увеличиться в разы за счет специфики режима эксплуатации и ремонтов, а также иных причин возникновения нарастающих дефектов;
- длительность срока жизни здания (включая этапы изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации и сноса). Общий совокупный объем объектов капитального строительства постоянно растет. Следовательно, количество совокупной информации об объектах строительства также постоянно увеличивается и требует разработки новых подходов использования и управления информацией для целей организационно-технологического проектирования воспроизводства на этапе эксплуатации. При этом основной целью на этапе эксплуатации является продление сроков службы зданий.

Вопросы капитального ремонта жилищного фонда всегда оставались в центре внимания как исследователей, так и практиков. Капитальный ремонт представляет собой не только средство восстановления строительных объектов, но и непрерывный процесс, требующий долгосрочного планирования. Устойчивая и сбалансированная система капитального ремонта формирует основу для территориального развития.

Наибольшее развитие получил планово-профилактический метод эксплуатации, базирующийся на совокупности технических регламентов, разработанных в конце 80-х годов прошлого века. Из опыта реализации программ массовой эксплуатации жилищного фонда можно сделать вывод, что планово-профилактический метод показал свою несостоятельность даже в рамках плановой экономики при госсобственности на жилищный фонд. Основной причиной этого явилось неэффективное распределение финансовых ресурсов на ремонтные работы исходя

из нормативных сроков эксплуатации зданий или отдельных элементов без привязки к их реальному техническому состоянию.

Реализация планово-предупредительного поэлементного метода для отдельного объекта при известных источниках финансирования является решаемой задачей планирования и прогнозирования. Она основана на техническом учете характеристик здания как совокупности характеристик его отдельных элементов, тщательном обследовании и непрерывном мониторинге состояния этих элементов, прогнозировании изменений их состояния. Однако сейчас не предложено методов массового (сплошного) обследования и планирования капитального ремонта жилищного фонда в рамках подходов и принципов планово-предупредительной поэлементной эксплуатации.

Основной проблемой реализации планирования, организации и контроля выполнения массовых программ планово-предупредительной эксплуатации жилищного фонда является формирование и использование огромных массивов данных о технических, экономических и иных характеристиках объектов капитального строительства. Существующие инструменты моделирования и прогнозирования, а также оперативного контроля не позволяют реализовать предлагаемый подход планово-предупредительной комплексной (поэлементной) эксплуатации.

Обработка больших данных и методы автоматизации, такие как машинное обучение, становятся всё более популярными в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Машинное обучение представляет собой совокупность вычислительных алгоритмов, которые позволяют обнаруживать закономерности, прогнозировать результаты и принимать решения на основе анализа данных. Эти алгоритмы находят применение в различных секторах, однако их применение в строительстве в настоящее время существенно отстает от других отраслей экономики.

Степень разработанности темы исследования. Теоретическими основами исследования стали труды ученых в области календарного планирования, организации эксплуатации и обследования технического состояния объектов недвижимости: А. Н. Асаул, А. А. Афанасьев, В. А. Афанасьев, Г. М. Бадьин, А. Х. Байбурин, А. Н. Бирюков, А. Ю. Бойко, С. А. Болотин, Н. И. Ватин, В. В. Верстов, Ю. А. Вильман, А. Н. Гайдо, Е. М. Израилев, Ю. Н. Казаков, Н. Н. Карасев, Л. В. Киевский, И. Л. Киевский, П. А. Козин, Л. М. Колчеданцев, Е. А. Король, А. А. Лapidус, О. О. Литвинов, Е. П. Матвеев, Ю. Б. Монфред, А. А. Магай, В. Я. Мищенко, С. В. Николаев, Э. К. Завадскас, П. П. Олейник, Ю. П. Панибратов, Б. И. Петраков, А. Г. Ройтман, Е. Б. Смирнов, В. И. Теличенко, Д. В. Топчий, В. И. Торкатюк, З. Р. Тускаева, А. Ф. Юдина, Т. Н. Цай, В. И. Швиденко, С. Г. Шеина, К. А. Шрейбер и др.

В работах авторов представлены отдельные подпроцессы организационно-технологического проектирования ремонтно-строительных работ зданий или их единичных конструктивных элементов.

В настоящий момент технологии информационного моделирования в строительстве и общая цифровизация отрасли стали точками развития исследований в области формирования и использования данных. Наибольший акцент делается

на изучение методов сбора и обмена данными на этапах изысканий, проектирования и частично строительства, чему уделено внимание в работах и проектных решениях многих авторов. Вопросы информационного сопровождения этапа эксплуатации объектов строительства освещены слабо, не проработаны и требуют подробного исследования.

В диссертационном исследовании предложена новая научно-обоснованная концепция процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию капитального ремонта жилищного фонда на этапе эксплуатации зданий. Процессно-системный подход в настоящем исследовании подразумевает интеграцию принципов обоих подходов и рассматривает:

– жилищный фонд как систему, состоящую из совокупности строительных элементов (подсистем, компонентов) объектов капитального строительства, представляющих собой взаимосвязанные единичные конструкции и инженерные системы зданий,

– организационно-технологическое проектирование как совокупность взаимосвязанных процессов учета, мониторинга, обследования, планирования, проектирования, организации капитального ремонта применительно к элементам системы.

Системный подход используется для описания и анализа сложных объектов и позволяет осуществлять стратегическое планирование состояния системы и основных процессов, которые нуждаются в оптимизации. Процессный подход, в свою очередь, является инструментом детального анализа и совершенствования этих процессов, поэтому является основополагающим при реализации метода поэлементной технической эксплуатации. Процессно-системный подход реализуется по формуле «процесс в системе», и предполагает оценку качества и изменение свойств системы как совокупность свойств и взаимосвязанных процессов воздействия на элементы этой системы.

Цель исследования заключается в совершенствовании системы капитального ремонта жилищного фонда путем применения процессно-системного подхода к информационному моделированию зданий при реализации организационно-технологического проектирования комплексного (поэлементного) предупредительного метода технической эксплуатации, основанного на многокритериальной оценке технического состояния строительных элементов.

Задачи исследования:

1. Проанализировать современное состояние и нормативно-техническое регулирование системы капитального ремонта жилищного фонда Российской Федерации, исследовать теоретические основы методологии организационно-технологического проектирования капитального ремонта.

2. Исследовать и систематизировать теоретические основы системного и процессного подходов к формированию информационной модели объекта на этапах эксплуатации и ремонта, разработать научные основы концепции процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию в строительстве.

3. Сформировать систему многокритериальной количественной оценки технического состояния строительных элементов на базе унифицированных критериев и параметров как основы методологии организационно-технологического

проектирования комплексного (поэлементного) капитального ремонта жилищного фонда.

4. Обосновать выбор и разработать алгоритмы машинного обучения для обработки многомерных данных системы технических характеристик строительных элементов и установления корреляций между параметрами технического состояния и процессами организационно-технологического проектирования капитального ремонта.

5. Научно обосновать методы и разработать методiku планирования и организации инвестиционно-строительной деятельности на этапе эксплуатации объектов строительства.

6. Разработать рекомендации и способы формирования и функционирования информационной системы мониторинга объектов государственного учета жилищного фонда.

Научно-техническая гипотеза состоит в предположении о том, что применение процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию на этапе эксплуатации обеспечит сочетание комплексного и массового подходов в региональных программах капитального ремонта, повысит эффективность использования средств фондов и реализацию предупредительного метода эксплуатации жилищного фонда.

Предметом исследования являются методы и методики организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда.

Объектом исследования является жилищный фонд субъекта РФ.

Методология и методы исследования: при решении поставленных задач использованы системный и процессный подходы, теоретические методы (сравнительный, логический и абстрактно-логический анализ, систематизация), эмпирико-аналитические методы (экспертные оценки, сбор и обработка данных), методы математического моделирования и машинного обучения (классификация, кластеризация, регрессионный анализ), а также проектно-конструкторские методы (алгоритмическое и структурно-функциональное моделирование).

Информационно-эмпирическая база исследований основана на анализе действующей нормативно-технической документации, данных государственной системы учета жилищного фонда, результатов экспертных обследований технического состояния объектов капитального строительства, а также на статистических материалах региональных программ капитального ремонта и эксплуатационной документации многоквартирных жилых зданий. Для обоснования предложенных решений дополнительно привлекались: архивные материалы технических обследований зданий; сметно-нормативная база в области ценообразования в строительстве; публикации в профильных научных изданиях и материалы отраслевых конференций; результаты апробации разработанных методик на реальных объектах жилищного фонда.

Область исследований соответствует паспорту специальности 2.1.7, который предусматривает:

1. Разработка новых и совершенствование существующих методов организационно-технологического проектирования в строительстве с использованием технологий информационного моделирования на протяжении всего жизненного цикла объекта недвижимости. (п. 9)

2. Разработка и совершенствование методов планирования и организации инвестиционно-строительной деятельности, развитие методов создания и эксплуатации недвижимости (п. 15).

Научная новизна заключается в систематизации и обосновании научных подходов и практических рекомендаций, касающихся:

– разработки методологии организационно-технологического проектирования предупредительного комплексного (поэлементного) ремонта жилищного фонда;

– разработки и обоснования концепции процессно-системного подхода к эксплуатации и ремонту объектов капитального строительства, реализующей принцип «процесс в системе»;

– формирования системы критериев количественной многокритериальной оценки технического состояния строительных элементов зданий на основе классификации их свойств как класса строительной информации;

– обоснования внедрения процессно-системного подхода для мониторинга энергоэффективности для реализации энергосберегающих мероприятий существующих жилых зданий на этапе эксплуатации;

– разработки комбинированного алгоритма машинного обучения, позволяющего автоматизировать процесс проектирования капитального ремонта посредством установления зависимостей между параметрами количественной оценки технического состояния строительных элементов и оптимальными конструктивно-технологическими решениями их восстановления;

– разработки трехфазной модели оценки технического состояния элементов на основе фазово-логистической зависимости, позволяющей определять экономически оптимальные периоды восстановительных мероприятий;

– разработки методики формирования информационной системы объектов государственного учета жилищного фонда и способов сбора и обработки данных на основе эксплуатационных информационных моделей жилых зданий.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке и научном обосновании методологии организационно-технологического проектирования массового поэлементного капитального ремонта жилищного фонда с использованием технологий информационного моделирования.

Практическая значимость заключается в обосновании методов управления информацией на основе современных инструментов сбора и обработки больших данных (машинное обучение, информационное моделирование) при реализации организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта жилищного фонда

Положения, выносимые на защиту:

1. Методология организационно-технологического проектирования комплексного предупредительного ремонта жилищного фонда.

2. Концепция процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию капитального ремонта объекта строительства.

3. Система количественной многокритериальной поэлементной оценки технического состояния зданий. Понятие «конструктивно-технологического реше-

ния ремонта» как аспекта декомпозиции структуры элементов системы при организационно-технологическом проектировании капитального ремонта.

4. Метод и методика организационно-технологического проектирования комплексного ремонта на основе комбинированного алгоритма машинного обучения для обработки информационной системы данных характеристик элементов зданий.

5. Адаптация методики организационно-технологического проектирования комплексного ремонта для мониторинга энергоэффективности и реализации энергосберегающих мероприятий существующих жилых зданий на этапе эксплуатации.

6. Методика инвестиционно-строительного планирования комплексного капитального ремонта на основе трехфазной модели оценки технического состояния элементов на базе фазово-логистической зависимости стоимости ремонтно-строительных работ от срока службы.

7. Рекомендации по формированию информационной системы объектов государственного учета жилищного фонда и требования к эксплуатационным информационным моделям многоквартирных домов.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждены комплексным обоснованием разработанных теоретических и методологических подходов, методов, алгоритмов и практических рекомендаций через системный анализ нормативно-правовой и нормативно-технической базы, научных исследований, а также посредством компьютерного моделирования, производственных испытаний и имитационных экспериментов. Практическое внедрение осуществлено в систему планирования и управления многоквартирными домами, региональные программы и краткосрочные планы капитального ремонта на примере жилищного фонда Архангельской области, что доказало эффективность и применимость предложенных решений.

Апробация результатов исследования осуществлена: на VIII, IX, X Международных научно-практических конференциях кафедр организационно-технологического профиля строительных университетов «Технологии, Организация и управление в строительстве» («Technology, Organization and Management in Construction», TOMiC) в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете (НИУ МГСУ) (Москва 2022 г, 2023 г., 2024 г.); XVIII Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства» (Новосибирск 2025 г.), Российско-Белорусской научно-практической конференции «Инженеры России и Беларуси: сила в сотрудничестве» (Архангельск, 2024 г.), LXXVII Международной научно-практической конференции «Архитектура. Строительство. Транспорт. Экономика» (Санкт-Петербург, 2023 г.), Международной научно-практической Конференции «Обследование зданий и сооружений» (Москва, 2023 г.), XXVIII межвузовской научно-практической конференции «Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства» (Санкт-Петербург, 2024 г.), I-VI Всероссийских (национальных) научно-практических конференциях Высшей инженерной школы САФУ «Инженерные задачи: проблемы и пути решения» (2019-2024 гг.), International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development (2018 г.) и многих др.

Внедрение результатов исследования осуществлено на комплексах жилых зданий и отдельных многоквартирных домах, подлежащих капитальному ремонту, техническая эксплуатация которых осуществляется управляющими компаниями г. Архангельска. Методы организационно-технологического проектирования апробированы на основе дефектных ведомостей, сформированных посредством многокритериальной оценки технического состояния с использованием унифицированных характеристик строительных элементов. Данные ведомости составлялись техническими специалистами управляющих компаний в ходе плановых и внеплановых осмотров. Применение разработанных методов позволило:

- снизить затраты на обследование объектов за счет автоматизации процессов и повысить точность оценки технического состояния жилого фонда;
- оптимизировать выбор технологических решений при капитальном ремонте и повысить обоснованность принимаемых решений по объёмам и видам ремонтных работ;
- сократить сроки и снизить затраты на подготовку проектно-сметной документации капитального ремонта;
- обосновать актуализацию региональных капитального ремонта и сформировать среднесрочные календарные планы работ.

Факт внедрения подтвержден соответствующими актами. Результаты внедрения подтвердили эффективность предложенной методики организационно-технологического проектирования в практических условиях эксплуатации жилищного фонда.

Результаты внедрены в учебный процесс в рамках дисциплин «Основы управления ЖКХ» и «Техническая эксплуатация зданий» в САФУ.

Личный вклад автора заключается в анализе теоретических основ, технического нормирования и регулирования организационно-технологического проектирования эксплуатации зданий, а также современного состояния системы капитального ремонта жилищного фонда Российской Федерации; разработке научных основ планирования программ капитального ремонта в концепции процессно-системного подхода; создании методологии организационно-технологического проектирования комплексного ремонта на основе многокритериальной оценки технического состояния строительных элементов; разработке и внедрении комбинированного алгоритма машинного обучения для планирования ремонтных работ на основе анализа взаимосвязей «дефекты-работы-стоимость»; научном обосновании методов планирования эксплуатации жилищного фонда; разработке методов формирования, хранения и использования данных информационных баз объектов государственного учета жилищного фонда, а также требований к созданию эксплуатационных информационных моделей многоквартирных домов.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав основного текста, заключения, списка литературы, приложений. Диссертация содержит 358 страниц текста, включая 65 рисунков, 76 таблиц, 8 приложений.

Публикации:

Материалы диссертации изложены в 40 научных публикациях, из которых 11 работ опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых

научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень рецензируемых научных изданий), и 13 работ опубликовано в журналах, индексируемых в международных реферативных базах *Scopus*, *Web of Science* и других.

Содержание работы определяется структурой методологии (рис. 1)



Рисунок 1 – Структура и научно-теоретическое обоснование методологии

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Разработана методологии организационно-технологического проектирования комплексного предупредительного ремонта жилищного фонда.

Теоретические положения, принципы и концептуальные подходы, представленные в работе, а также разработанные методы, методики и алгоритмы практической реализации формируют методологию, учитывающую специфику системы капитального ремонта жилищного фонда в России и требования нормативно-правовых и технических регламентов в сфере планирования и организации технической эксплуатации жилых зданий.

Анализ подтверждает эффективность предупредительной эксплуатации, основанной на поэлементной оценке технического состояния. Такой подход предполагает переход от обслуживания целых зданий к мониторингу отдельных конструктивных элементов для рационального распределения бюджета.

Ключевое значение имеют понятия комплексного и массового ремонта. Комплексный ремонт представляет собой адресную стратегию для конкретного многоквартирного дома (МКД) на основе детального обследования элементов. Массовый ремонт предполагает унифицированное выполнение работ на группах зданий без учета индивидуального состояния.

В системе капитального ремонта РФ существует фундаментальное противоречие. Она ориентирована на централизованное управление процессами (рис. 2) – функции по планированию, организации и контролю за проведением капитального ремонта переданы на уровень субъектов Российской Федерации (ст. 167

и ст. 168 ЖК РФ). Централизованное управление через регионального оператора требует методов массового ремонта, однако финансирование взносами собственников обосновывает необходимость комплексного подхода для каждого МКД.

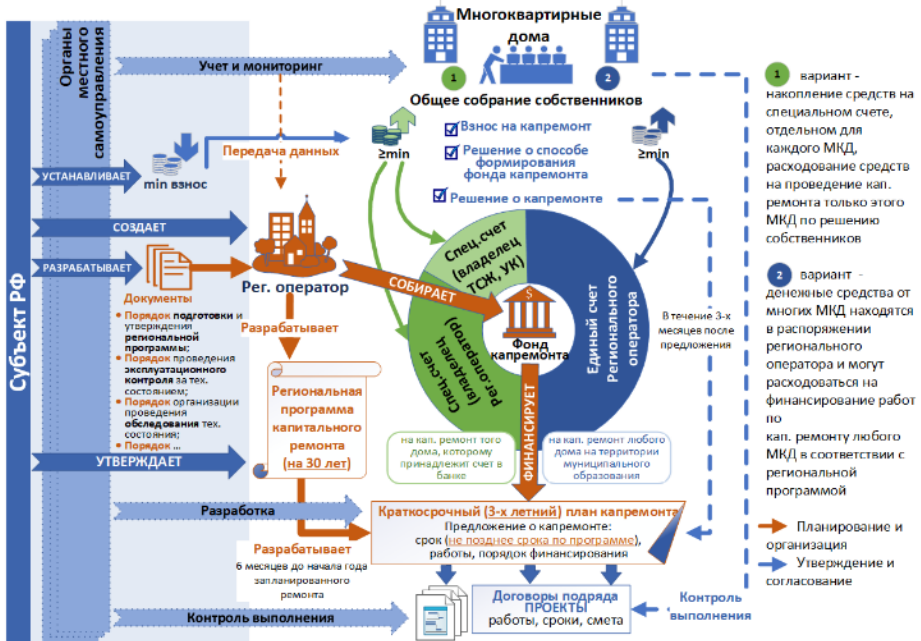


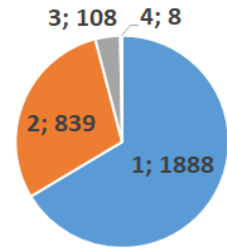
Рисунок 2 – Региональная система капитального ремонта РФ

На практике методология планирования не позволяет эффективно реализовать ни один подход. Централизованная система не справляется с индивидуальной оценкой зданий, а массовый ремонт без учета реального состояния приводит к неэффективному расходованию средств.

Противоречие проявляется в системных недостатках: неудовлетворительном состоянии фонда, неправильном планировании работ (рис. 3) и низкой эффективности использования средств. Анализ реализации региональной программы капитального ремонта для Архангельска (2843 МКД) показывает, что для большинства МКД, независимо от года ввода, ремонт всех строительных элементов запланирован на 2035–2043 гг. Согласно программе, 66% всех строительных элементов зданий (1888 МКД) должны быть отремонтированы за один этап, 30% (839 МКД) – за два этапа, и лишь для 4% домов (116 МКД) – ремонт разбит на 3–4 этапа.

Существующие методы обследования для реализации комплексного подхода слишком трудоемки для масштабов всего жилищного фонда. Для решения проблем необходима новая методология организационно-технологического проектирования, сочетающая централизованное управление с адресным планированием.

Организационно-технологическое проектирование в научных исследованиях имеет различную трактовку. Его суть раскрывается через требования нормативно-технических документов к разработке ПОС и ППР.



а)

б)

Рисунок 3 – Анализ программы капитального ремонта жилищного фонда г. Архангельска: а) запланированные сроки ремонта элементов здания в зависимости от ввода объекта в эксплуатацию; б) плановая периодичность – количество периодов проведения ремонтно-строительных работ в течение срока реализации программы

Для реализации капитального ремонта жилищного фонда разработан комплекс подзаконных нормативных актов федерального и регионального уровня. Сравнительный анализ особенностей проектно-сметной документации при новом строительстве и капитальном ремонте позволяет выделить ключевые различия в подходах к формированию документации, включая специфику требований к проектированию, организации работ, расчету сметной стоимости (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ особенностей проектно-сметной документации для капитального ремонта жилищного фонда

Критерий	Для нового строительства	Для капитального ремонта жилищного фонда
Изыскания	+	+
	Техническое заключение	Дефектный акт
Состав разделов проектной документации	Полный перечень разделов	Упрощенный состав разделов
– пояснительная записка	+	+
– архитектурно-строительные решения	+	Необязательно
– конструктивные решения	+	Только при изменении несущих конструкций
– инженерные решения	+	Только при изменении инженерных систем
– проект организации строительства (ПОС)	+	Упрощенный ПОСР (без детализации этапов. Совокупность видов и объемов работ)
– охрана окружающей среды	+	Не требуется, если нет значительного воздействия
– пожарная безопасность	+	Не требуется, если не изменяются системы
– доступность для маломобильных групп	+	Не требуется, если не предусмотрены изменения
– сметная документация	+/- (обязательно разрабатывается только при госбюджетном финансировании)	+
		(разрабатывается всегда и проходит экспертизу)

Независимо от формы финансирования капитального ремонта, в структуре организационно-технологического проектирования (включая этапы проектирования, организации и технологии) обязательными являются определение технического состояния (дефектный акт), а также сметная документация (рис. 4). При этом обязанность разработки дополнительной организационно-технологической документации нормативно не регламентирована.

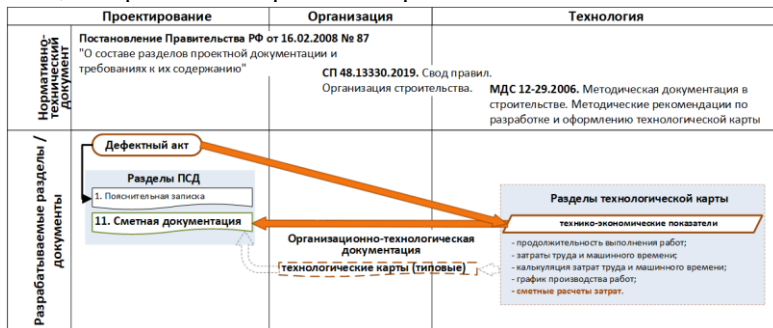


Рисунок 4 – Взаимосвязь процессов и документов организационно-технологического проектирования капитального ремонта

Проблема ослабления требований к организационно-технологическому проектированию в целях ускорения процессов вступает в противоречие с рисками его исключения или минимизации. Требуется модель, интегрирующая технические характеристики строительных элементов (дефекты), организационно-технологические решения (объемы работ, затраты, ресурсы) и инвестиционно-строительное планирование (графики). Исключение этого этапа из региональных программ приводит к неэффективному ресурсопользованию и конфликтам между централизованным управлением (региональным оператором) и интересами собственников.

В отличие от нового строительства, организационно-технологическое проектирование капитального ремонта не основывается на архитектурно-строительных решениях (рис. 5, 6). Его базовыми элементами являются инженерные изыскания, формирующие основу для принятия решений, и сметный расчет как итоговый результат. Причины, виды и объемы дефектов могут варьировать объемы и технологии ремонтно-восстановительных работ и не являются постоянными величинами. Поэтому даже для однотипных архитектурно-строительных элементов ведомость объемов работ, в отличие от нового строительства, принимает индивидуализированный вид.

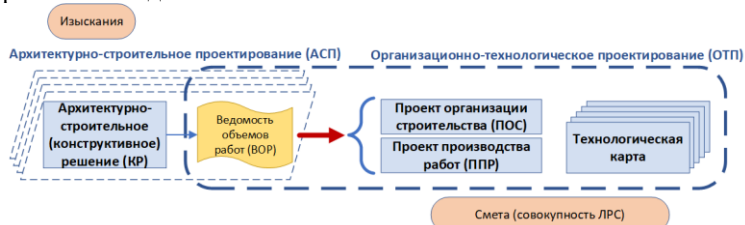


Рисунок 5 – Укрупненная схема алгоритма организационно-технологического проектирования при новом строительстве

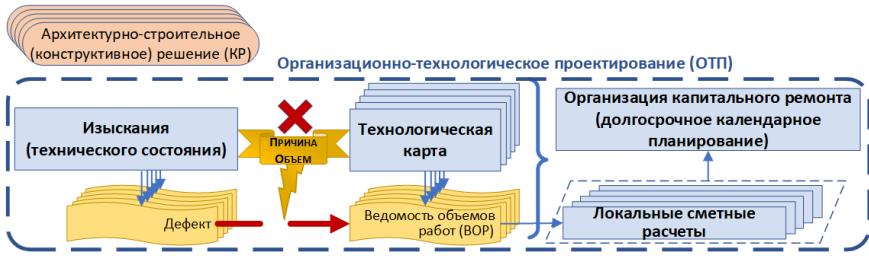


Рисунок 6 – Укрупненная схема алгоритма организационно-технологического проектирования капитального ремонта

Процесс организационно-технологического проектирования комплексного (поэлементного) ремонта методически включает четыре этапа (рис. 7).

I–II этапы включают мониторинг технического состояния строительных элементов эксплуатирующими организациями. Согласно Градостроительному кодексу РФ аварийные и ограниченно-работоспособные элементы не подлежат капитальному ремонту, исключаются из программы капитального ремонта, проводится их обследование специализированными изыскательскими организациями. При отсутствии таких дефектов эксплуатирующая организация проводит II этап – выявление ремонтнопригодных дефектов.

III–IV этапы выполняются подрядной организацией, которая на основе дефектного акта разрабатывает организационно-технологическую документацию, включая формирование ведомостей объемов работ, а также сметной документации, определяющей ресурсы и затраты. Учитываются технические, экономические и местные условия.

2.2. Разработка концепции процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию капитального ремонта объекта строительства.

Целью исследования является изучение объекта капитального строительства (ОКС) как системы для реализации комплексного организационно-технологического проектирования ремонта. Наиболее часто используемые подходы к управлению сложными объектами – это системный и процессный, которые направлены на повышение эффективности, но имеют принципиальные отличия (табл. 2). Таблица 2 – Сравнительный анализ системного и процессного подходов к управлению сложными системами

Критерий	Системный подход	Процессный подход
Сущность	Объект как система взаимосвязанных элементов.	Объект как совокупность процессов.
Акцент	Структура, связи, эмерджентные свойства.	Последовательность операций, преобразование входов в выходы.
Гранулярность	Макроуровень (система в целом).	Микроуровень (отдельные операции).
Применение	Анализ сложных систем, проектирование.	Оптимизация процессов, повышение эффективности.
Примеры	Инжиниринг сложных систем, организационный анализ.	Рейнжиниринг бизнес-процессов, управление производством.
Синергия	Определение системных границ и взаимосвязей.	Детализация и оптимизация исполнения.
Результат	Целостное понимание системы.	Повышение эффективности процессов.

Системный и процессный подходы не являются взаимоисключающими и обычно оба интегрированы в систему управления сложным объектом:

- системно-процессный подход заключается в последовательной реализации процессов, формирующих сложный объект («система в процессе»);
- процессно-системный подход заключается в изменении характеристик элементов системы под воздействием совокупности влияющих на элемент процессов («процесс в системе»).

С 1 декабря 2020 г. введен в действие классификатор строительной информации (КСИ) (ст. 57.6 ГрК РФ), задачей которого является структурирование информации об ОКС. Базовая структура классификатора подразумевает представление ОКС как системы, включающей «Процессы» и «Результат» (рис. 8).



Рисунок 8 – Схема базовых категорий, классов строительной информации и их отношений согласно классификатору строительной информации (КСИ)

Текущая структура КСИ, представляет системно-процессный подход и подразумевает формирование системы ОКС («Результата») как совокупности его элементов, характеристики которых сформировались последовательностью произведенных «Процессов». Характеристики элементов зафиксированы и неизменны.

Такой подход не подразумевает включение процессов поэлементной эксплуатации и ремонта, которые направлены на изменение состояния отдельных строительных элементов (рис. 9). Следовательно, существующая структура КСИ и регламенты его применения обладают существенным ограничением – они не позволяют адекватно отражать динамику изменения характеристик элементов системы объектов капитального строительства (ОКС) на этапе эксплуатации.

Таким образом, наиболее целесообразным подходом к организационно-технологическому проектированию комплексного ремонта является **процессно-системный подход**. Это влечет необходимость включения в перечень «Результатов» класса, который отражает вид строительной информации, характеризующий изменение ОКС и его отдельных элементов в процессе эксплуатации.

Для формализации описания элементов системы в классификаторе строительной информации (КСИ) предложено разделить понятия «Характеристика» и «Свойство», с возможностью их качественного и количественного описания,

включив последнее в перечень классов категории «Результат» (рис. 10). В соответствии с положениями ГОСТ Р ИСО 22274-2016, «характеристики классов называются свойствами», а «свойство представляет собой конкретную характеристику, пригодную для описания и дифференциации объектов в пределах заданного класса».



Рисунок 9 – Схема системно-процессных связей элементов системы объектах капитального строительства (ОКС)

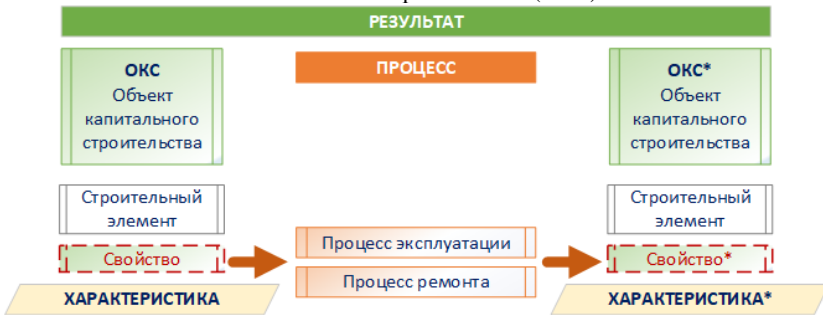


Рисунок 10 – Процессно-системный подход на этапе эксплуатации

«Свойство» имеет ключевое значение для внедрения процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию капитального ремонта и управления этапом эксплуатации ОКС. На этапе эксплуатации именно свойства элементов подлежат системному учету и целенаправленному воздействию. «Свойство» системы описывает её качественные параметры и предполагает возможность динамического изменения во времени (потенциал), а «Характеристика» дает количественную или описательную оценку этих свойств, являясь статическим показателем текущего состояния объекта.

Изменение состояния объекта капитального строительства (ОКС → ОКС* см. рис. 10) в процессе эксплуатации представляет собой интегральный показатель трансформации свойств строительных элементов под воздействием эксплуатационных нагрузок, внешних факторов, естественного старения, а также их восстановителей под действием процессов эксплуатации и ремонта (Характеристика Свойства → Характеристика Свойства*). В перечень групп свойств объекта могут быть включены: физико-механические, эксплуатационно-технические (энергоэффективность), функциональные, архитектурно-эстетические и другие.

2.3. Формирование системы количественной многокритериальной поэлементной оценки технического состояния зданий.

Анализ нормативно-технических документов различных периодов формирования жилищного фонда (рис. 11) выявил, что технические регламенты конца 80-х гг. реализовывали плано-профилактический подход к капитальному ремонту, основанный на нормативных сроках эксплуатации. Современные нормативы характеризуются фрагментарностью – новые документы дублируют прежние, при этом старые регламенты остаются действующими.

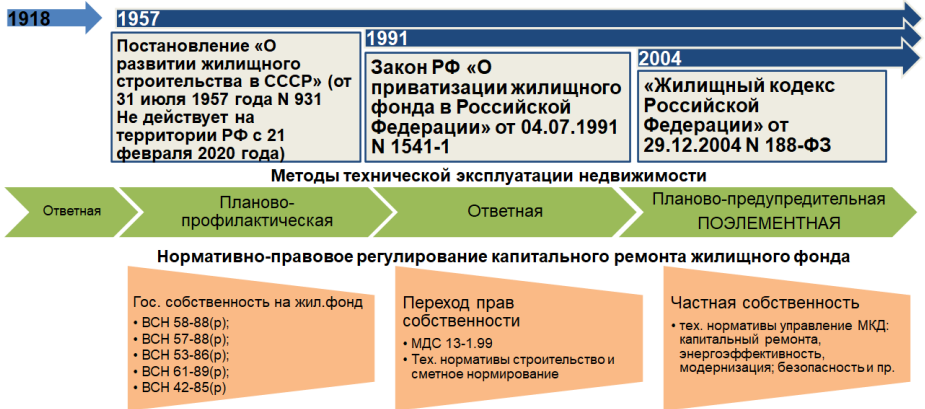


Рисунок 11 – Нормативно-правовая база для осуществления технической эксплуатации жилищного фонда с привязкой к периодам его воспроизводства

Анализ применения нормативно-технических документов для планирования комплексного предупредительного ремонта выявил их неэффективность, что делает невозможным корректное планирование программы капитального ремонта. Простые методы оценки технического состояния дают недостоверные результаты из-за игнорирования фактического состояния зданий, а точные методы требуют масштабного сбора данных и применимы лишь для единичных объектов, что исключает их использование в массовых программах капитального ремонта (рис. 12).

Нормативный документ	Описание метода	Трудность диагностики	Возможность				
			Достоверность				
			формирования перечня и объемов ремонтных работ	использования при массовом мониторинге	планирования рег. программ кап. ремонта		
ВСН 58-88(р)	По нормативному сроку службы - продолжительность эксплуатации до капитального ремонта (замены), лет	Низкая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая
ВСН 53-86 р	Фактическое на основании осмотра по признакам износа. Определяет износ в % стоимости работ к стоимости конструкции	Средняя	Средняя	Средняя	Низкая (формальная)	Средняя	Низкая (формальная)
СП 454.1325800.2019.	Признаки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая	Не предполагает	
Постановление Госстроя РФ от 27.09.2003 N 170	Определяет требования и порядок обслуживания и ремонта жилищного фонда. Содержит перечень признаков износа	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
ГОСТ 31937-2024	Изыскания для отдельных объектов при обнаружении аварийного состояния: при осуществлении проектных работ по повышению степени механической безопасности зданий и сооружений	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая. Только для проектов отдельных зданий	

Рисунок 12 – Методы оценки технического состояния для проектирования капитального ремонта жилищного фонда

Предлагаемая система количественной многокритериальной оценки в рамках процессно-системного подхода позволяет снизить трудоемкость и повысить эффективность обследований.

Система основана на:

- системном описании элементов через «Свойства» технического состояния;
- декомпозиции объекта капитального строительства до минимальных структурных единиц (строительных элементов);
- детализации видов ремонтных работ в рамках «Процесса ремонта».

На основании анализа признаков дефектов по нормативно-техническим документам [ВСН 53-86р, СП 454.1325800.2019, ГОСТ 31937-2024, Постановление Госстроя РФ №170 и др.] разработана система унифицированных критериев оценки технического состояния строительных элементов для этапа II организационно-технологического проектирования (табл. 3).

Таблица 3 – Укрупненный перечень устранимых типовых признаков износа строительных конструкций (этап II)

№	Типовые свойства износа (дефекты)	Характеристика – критерии измерения (ед. изм.)	Строительные элементы, обладающие свойством
1	Трещины	Ширина раскрытия (мм), длина (м), количество (шт./на ед. площади), плотность (шт./м ²)	Фундамент, стены, перегородки, колонны, перекрытия, лестницы, балконы/лоджии, крыша, полы, окна/двери, отделка
2	Деформации (прогиб, перекос, отклонение)	Величина прогиба/отклонения (мм/м или мм), угол перекоса (град., мм/м)	Фундамент, стены, перегородки, колонны, перекрытия, лестницы, балконы/лоджии, крыша, полы, окна/двери
3	Разрушение материала (бетон, кладка, дерево)	Площадь разрушения (м ² /см ²), глубина повреждения (мм), количество/площадь выпавших элементов (шт., м ²), остаточная толщина сечения (мм)	Фундамент, стены, перегородки, колонны, перекрытия, лестницы, балконы/лоджии, крыша, полы
4	Биоповреждения (гниль, грибок, плесень)	Площадь поражения (м ² /см ²), глубина поражения (мм), концентрация спор (ед./м ³)	Деревянные конструкции (фундаменты, стены, перегородки, перекрытия, лестницы, полы, окна/двери, крыша)
5	Коррозия металлических элементов	Глубина коррозии (мм), потеря сечения (% , мм ²), площадь поражения (м ²)	Металлоконструкции (фундаменты, стены, перекрытия, лестницы, балконы/лоджии, крыша, окна/двери)
6	Увлажнение, нарушение гидроизоляции	Высота капиллярного подъема влаги (см), влажность материала (%), площадь увлажнения (м ²)	Фундамент, стены, перекрытия, крыша, полы, балконы/лоджии
7	Отслоение защитного слоя/облицовки	Площадь отслоения (м ²), толщина отслоившегося слоя (мм), длина/глубина оголения арматуры (м, мм)	Железобетонные конструкции (колонны, перекрытия, лестницы, балконы/лоджии), отделка стен/потолков
8	Разрушение швов, стыков, примыканий	Ширина раскрытия шва (мм), длина дефектного участка (м), величина неплотности (мм)	Фундамент, стены, перекрытия, крыша, балконы/лоджии, окна/двери
9	Истирание, износ поверхности	Площадь изношенной поверхности (м ²), глубина истирания (мм)	Полы, лестницы, отделка стен

Окончание табл. 3

№	Типовые свойства износа (дефекты)	Характеристика – критерии измерения (ед. изм.)	Строительные элементы, обладающие свойством
10	Протечки, намокание, затопление	Площадь протечки/намокания (м ²), интенсивность протечки (л/час), периодичность (раз/период)	Крыша, перекрытия, балконы/лоджии, окна/двери, фундамент (подвалы)

Анализ показал расхождение между признаками дефектов в нормативных документах и дефектных актах. Поскольку система капитального ремонта носит региональный характер, система критериев должна адаптироваться к местным условиям – особенностям жилищного фонда и используемым ремонтно-восстановительным технологиям. Таким образом, система количественной многокритериальной оценки не должна жестко регламентироваться, а разрабатываться и адаптироваться в рамках региональных программ капитального ремонта.

Имеющийся на текущий момент в Классификаторе строительной информации (КСИ) перечень характеристик (критериев измерения) позволяет закрыть потребности количественного описания представленных в исследовании свойств технического состояния единичных строительных элементов.

Процесс капитального ремонта жилищного фонда формализуется через декомпозицию элементов МКД в рамках организационно-технологического проектирования согласно ст. 16б ЖК РФ (рис. 14). Ключевой особенностью декомпозиции является процессно-системный подход, при котором элементами системы выступают свойства в виде дефектов, поэлементно формирующие процессы как совокупности ремонтных работ.

В отличие от нового строительства с линейной зависимостью проектных решений и объемов СМР, капитальный ремонт требует многовариантного подхода к устранению дефектов. Для конструктивно однотипных элементов наблюдаются значительные различия в технологических решениях (состав и объем работ) вследствие уникальности дефектов, что обуславливает необходимость индивидуального подхода и точного определения объемов работ на основе фактического технического состояния. Данное обстоятельство формирует нелинейный характер проектирования, трансформируя традиционное архитектурно-строительное решение в комплексную категорию – конструктивно-технологическое решение ремонта (КТРр), интегрирующее технологические процессы устранения дефектов (рис. 15).

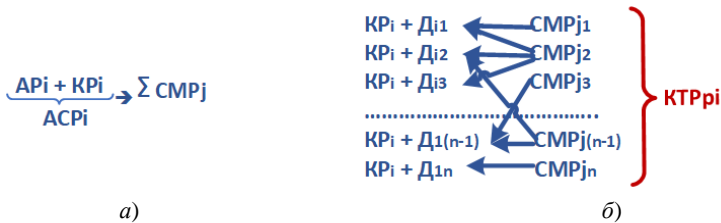


Рисунок 15 – Организационно-технологическое проектирование на этапах: а) строительства; б) эксплуатации (ремонт и реконструкция), где AP – архитектурное решение; KP – конструктивное решение; КТРр – конструктивно-технологическое решение ремонта, Д – дефект

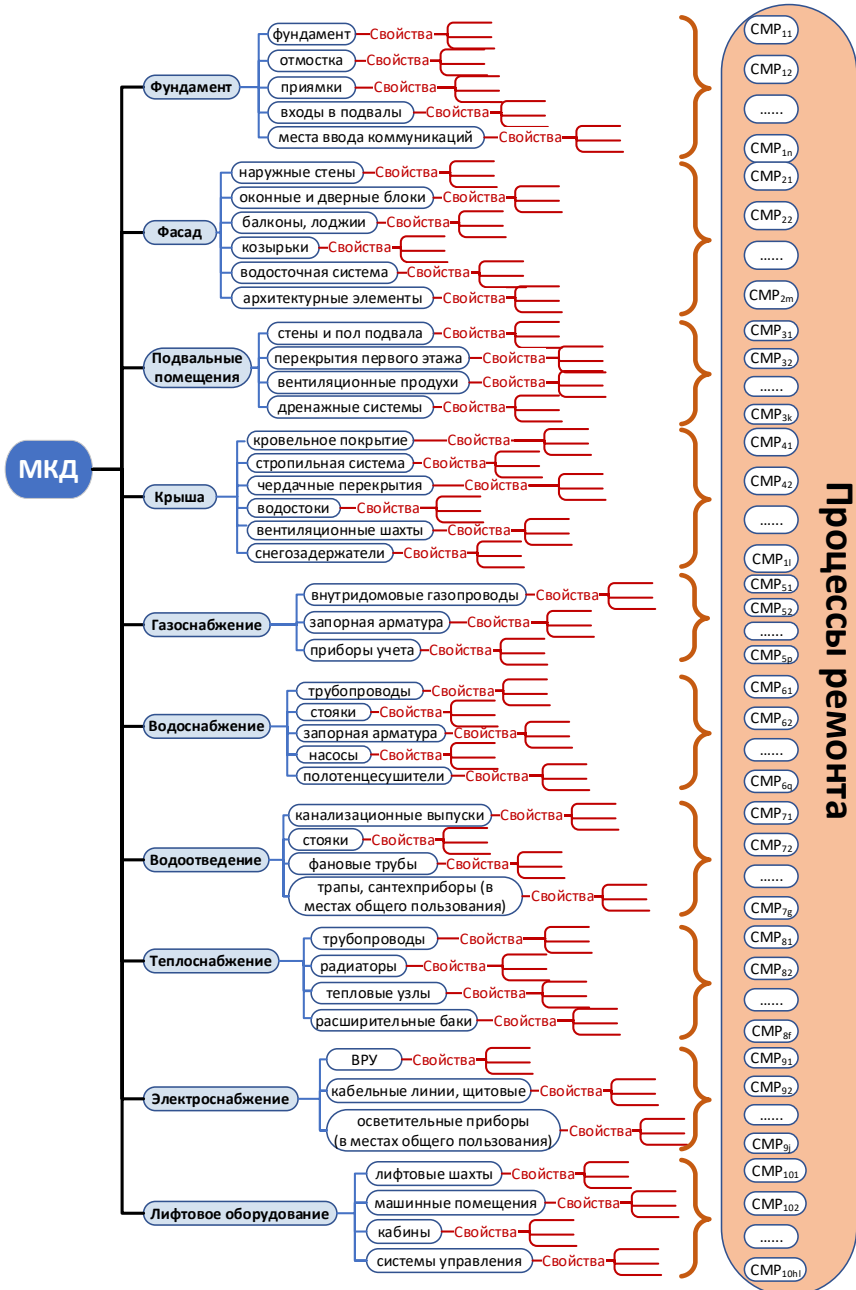


Рисунок 14 – Декомпозиция элементов МКД для организационно-технологического проектирования капитального ремонта в рамках ст. 166 ЖК РФ

Конструктивно-технологическое решение ремонта (КТРр) представляет собой аспект декомпозиции структуры элементов системы при организационно-технологическом проектировании капитального ремонта. Формализация КТРр на основе усреднённых данных эксплуатационного контроля приводит к некорректному формированию ведомостей объёмов работ. Принципиальные отличия КТРр делают невозможным создание типовых решений, требуя разработки новых методов проектирования, позволяющих на основе индивидуальных характеристик технического состояния строительного элемента определять уникальный набор и объём ремонтно-восстановительных работ.

2.4. Разработка метода и методики организационно-технологического проектирования комплексного ремонта на основе комбинированного алгоритма машинного обучения для обработки информационной системы данных характеристик элементов зданий.

В рамках организационно-технологического проектирования необходимо формализовать «Процесс ремонта» как регламентированный комплекс работ согласно ГЭСН, включаемых в КСИ. Ключевой задачей при этом становится установление корреляционных связей между техническим состоянием строительных элементов и номенклатурой соответствующих строительно-монтажных работ, что определяет постановку задачи (табл. 4).

Таблица 4 – Постановка задачи

Дано	Требования к алгоритму	Особенности задачи	Ключевая проблема
База данных унифицированных дефектов (с количественными показателями: м, м ² , шт.)	Анализ совокупности дефектов (типы + количество)	Нелинейная взаимосвязь: – между дефектами; – между дефектами и работами	Нелинейная зависимость: комбинации дефектов требуют уникального набора работ (≠ простая сумма отдельных ремонтов)
Перечень работ для устранения дефектов (виды + объемы)	Определение перечня необходимых ремонтных работ	Алгоритм должен обеспечивать интерпретируемость решений (например, для сметной документации)	Объемы работ не пропорциональны объему дефектов
Общая стоимость ремонта (по каждому строительному элементу)	Оценка стоимости (по каждому элементу)	–	–

Анализ методов машинного обучения для автоматизации оценки ремонтных работ строительных элементов выявил наиболее релевантные решения: методы регрессии (Линейная регрессия, *Random Forest*, Градиентный бустинг, Нейронные сети) и методы кластеризации (*k-Means*, *DBSCAN*, *SOM*). Критерии отбора алгоритмов для организационно-технологического проектирования ремонта включали:

– исключение линейных методов (неспособность описывать нелинейные связи «дефект-работы»);

- ограничения применения моделей типа «черный ящик» в задачах капитального ремонта;
- ограничения методов кластеризации;
- выбор методов для анализа связей «дефекты-работы-стоимость»;
- обоснование исключения альтернативных подходов.

На основании комплексного анализа характеристик различных методов машинного обучения предлагается комбинированный алгоритм, основанный на комбинации: самоорганизующихся карт Кохонена (*SOM*) и случайного леса (*Random Forest*) (рис. 16). Данный подход реализуется в три этапа:

1 этап. Первичная кластеризация (SOM – Self-Organizing Map). *SOM* преобразует многомерное пространство параметров (типы дефектов, объемы работ) в двумерную топологическую карту. Объекты с аналогичными характеристиками автоматически группируются в кластеры.

2 этап. Локальное моделирование (Random Forest внутри каждого кластера). Для каждого выделенного кластера строится отдельная регрессионная модель *Random Forest*. Каждая модель учитывает специфические взаимосвязи параметров внутри своего кластера.

3 этап. Процедура прогнозирования. Новый объект сначала относится к определенному кластеру. Затем для него применяется соответствующая локальная модель прогнозирования.

Основные преимущества подхода:

- сохранение топологических свойств исходных данных (*SOM* группирует строительные элементы по схожести дефектов и работ, а *Random Forest* внутри кластеров уточняют работы);
- учет локальных закономерностей в группах объектов (решает проблему редких комбинаций: если в кластере 10 объектов с «дефект 1 + дефект 2», модель учтена именно на них);
- повышение точности прогноза для нетипичных комбинаций параметров.

Ограничения алгоритма и способы их устранения представлены в таблице (табл. 5).

Таблица 5 – Ограничения комбинированного метода и способы их устранения

Выявленные ограничения	Методы оптимизации
Недостаточное количество объектов в кластере	Корректировка размерности карты <i>SOM</i> (уменьшение количества кластеров)
Переобучение модели <i>Random Forest</i>	Ограничение максимальной глубины решающих деревьев (параметр <i>max_depth</i>)
Низкая интерпретируемость кластеров	Применение методов снижения размерности (<i>PCA</i>) для визуализации структуры данных

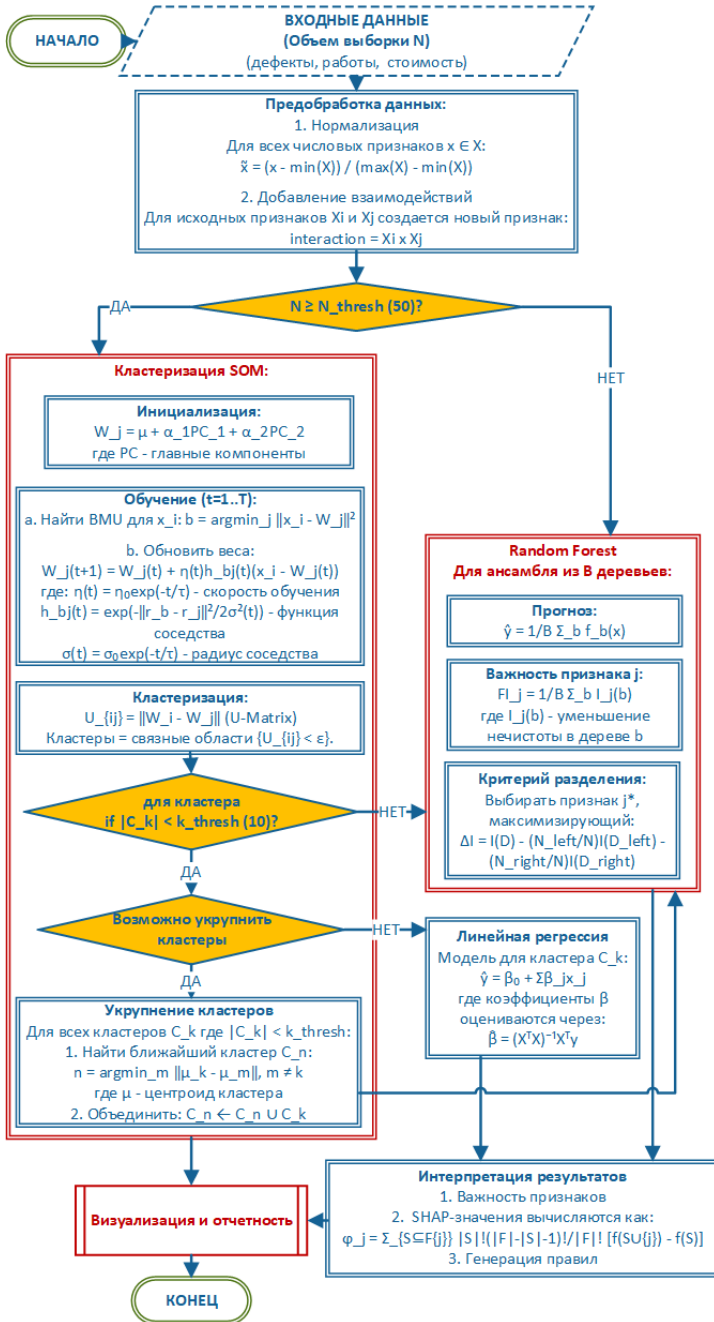


Рисунок 16 – Комбинированный алгоритм машинного обучения анализа взаимосвязей «дефекты-работы-стоимость»

Методика организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта жилых зданий на основе комбинированного алгоритма машинного обучения (SOM и Random Forest):

- 1 этап – формирование выборки объектов;
- 2 этап – формирование базы данных о техническом состоянии строительных элементов;
- 3 этап – определение размерности строительных элементов;
- 4 этап – формирование номенклатуры работ на основании сметных расчетов и проектно-сметной документации (включая КС): агрегации видов работ до уровня таблиц ГЭСН (в соответствии с КСИ); исключения вспомогательных работ, не оказывающих существенного влияния на стоимость (на основе ABC-анализа), что позволяет сократить объем информационной базы без потери значимых ресурсных показателей;
- 5 этап – нормализация стоимостных показателей работ;
- 6 этап – реализация алгоритма комбинированного машинного обучения;
- 7 этап – апробация обученной модели прогнозирования.

Апробация методики проведена на выборке из 61 многоквартирного дома с плоской кровельной конструкцией, по которым были доступны полные данные о техническом состоянии (перечень и характеристика дефектов) и соответствующая проектно-сметная документация. Для наглядности в табличной форме представлены 5 типовых объектов, демонстрирующих различные варианты сочетаний выявленных дефектных состояний плоской крыши (табл. 7).

Таблица 7 – Классификация и количественная оценка дефектов плоских кровель объектов исследования

Вид дефекта	Ед. изм.	Объект 2	Объект 4	Объект 6	Объект 9	Объект 11
Разрушение кровельного покрытия	м ²	1152,9	164,6	102,41	1419	1157,6
Повреждение гидроизоляции	м ²	329,1	164,6	67,3	-	1006,4
Дефекты примыканий	м	70,9	128,1	31,3	-	276,9
Коррозия металлических элементов	м	117,4	144,2	57	140	260,1
Коррозия металлических покрытий	м ²	-	57,68	29,6	-	172,3
Деформация водосточной системы	м	47,2	-	-	-	-
Разрушение стяжки/основания	м ²	361,1	-	69,6	-	1494,8
Дефекты теплоизоляции	м ² (м ³)	-	-	-	-	6,7 м ³
Дефекты вентиляционных систем	шт.	1	-	-	-	-
Дефекты дверных/оконных систем	шт. (м ²)	4	-	12 + 17,2	3,42	-
Биоповреждения	-	(кос-венно)	-	-	-	-
Дефекты инженерных коммуникаций	м (шт.)	6 м + 3 шт.	-	-	4 шт.	-
Дефекты фасадных элементов	м ²	46,7	-	-	7,2	120,7

Количество кластеров: определилось автоматически с помощью метода «элоки» (*Elbow method*) (табл. 8).

Таблица 8 – Кластеры с характеристиками дефектов и советуемых работ

Кластер	Кол-во объектов	Стоимость (руб.)	Трудоемкость (чел.ч)	Основные дефекты	Типовые работы	Примеры объектов	Рекомендации
1	12	155–1083	0,12–0,93	Минимальные: разрушение покрытия, слабая гидроизоляция	Демонтаж стяжек, укладка кровли в 1–2 слоя, мелкий ремонт металлических элементов	4, 8, 24, 61	Плановый ремонт, низкий приоритет
2	18	1290–2321	1,02–1,51	Умеренные: разрушение покрытия, дефекты примыканий	Устройство стяжек, гидроизоляции, ремонт примыканий	1, 6, 13, 45	Частичная замена покрытия, средний приоритет
3	9	3353–4900	2,18–2,9	Критичные: разрушение покрытия, коррозия, деформации	Полная замена кровли, усиление конструкций, ремонт водосточных систем	14, 36, 54	Срочный капитальный ремонт, высший приоритет
4	15	361–619	0,29–0,58	Почти отсутствуют: разрушение покрытия	Локальная герметизация, профилактические работы	2, 5, 15, 29	Профилактика, минимальные затраты
5	7	2063–4385	2,32–2,9	Специфичные: дефекты инженерных систем, фасадов	Монтаж противопожарных дверей, колпаков, сложные конструкции	3, 44, 60	Требуются специализированные подрядчики, высокие трудозатраты

Анализ результатов организационно-технологического проектирования для рассматриваемых строительных элементов позволяет дать итоговые рекомендации – приоритет ремонта: Кластер 3 → Кластер 2 → Кластер 5 → Кластер 1 → Кластер 4.

2.5. Адаптация методики организационно-технологического проектирования комплексного ремонта для мониторинга энергоэффективности и реализации энергосберегающих мероприятий существующих жилых зданий на этапе эксплуатации.

Повышение энергоэффективности жилищного фонда в рамках капитального ремонта является приоритетной задачей. Анализ энергоэффективности отдельных объектов жилищного фонда г. Архангельска выявил, что большая часть домов советской постройки не соответствует требованиям. Следует отметить, что показатель класса энергоэффективности включен в информацию об объектах государственного учета жилищного фонда, однако у большинства объектов класс не указан или достоверность информации не подтверждена.

Определен класс энергоэффективности 200 многоквартирных домов основных типовых серий по показателю удельного расхода годового потребления тепловой энергии на 1 квадратный метр площади МКД на основе журналов учета. Результаты представлены на графиках (рис. 17).

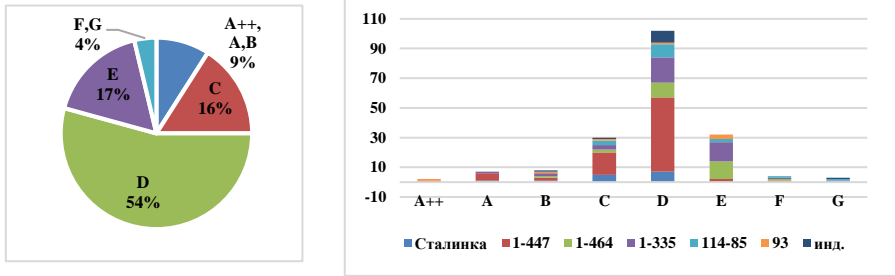


Рисунок 17 – Распределение домов по классу энергоэффективности

Анализ данных показал, что закономерности по энергоэффективности, присущей определенному типу домов, нет. При этом натурные исследования теплопроводности ограждающих конструкций различных серий жилых домов показали, что в среднем теплопроводность конструкций всех исследуемых серий сопоставима и не может являться причиной вариативности теплопотребления.

Небольшая часть исследованного жилищного фонда показывает повышенный класс энергоэффективности. Анализируя журналы учета заявок населения отмечено большое число зарегистрированных жалоб о несоответствии температуры воздуха в жилых и нежилых помещениях в многоквартирном доме. Следовательно, потребление тепловой энергии этими домами ниже среднего уровня является следствием дефектов отопительной системы.

Экспресс анализ энергоэффективности отдельных домов показал зависимость определенного класса энергоэффективности от среднегодовой температуры воздуха отопительного периода (рис. 18).

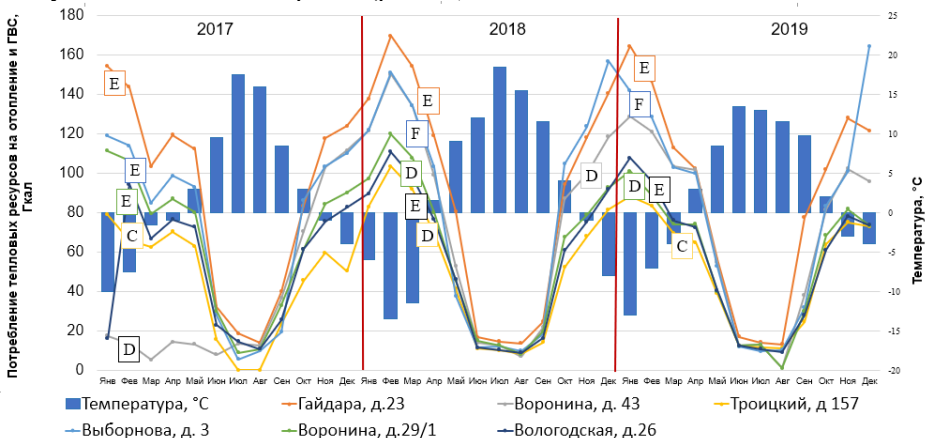


Рисунок 18 – Потребление тепловых ресурсов относительно климатических факторов для различных серий МКД в г. Архангельске

Произведена оценка отдельных работ и мероприятий, которые влияют на энергоэффективность объекта. Анализ показал, что фиксируются изменение класса энергоэффективности дома при производстве отдельных видов работ, в том числе прямо не относящихся к мероприятиям по повышению энергоэффективности:

- ремонт фасадов зданий – герметизация швов и заделка трещин;
- замена заполнений оконных проемов;
- модернизация тепловых узлов и элеваторных пунктов и пр.

Организационно-технологическое проектирование энергоэффективного капитального ремонта требует применения процессно-системного подхода, который интегрирует мониторинг энергопараметров здания, анализ теплопотерь и оценку эффективности решений. В его основе лежит конструктивно-технологическое решение ремонта (КТРр), адаптированное для задач энергомодернизации. КТРр формируется на основе количественной многокритериальной оценки энергоэффективности, основанный на системе унифицированных свойств и дополнить базовый класс свойств объектов следующими атрибутами энергоэффективности:

- удельный среднемесячный показатель потребления тепловой энергии при установленной среднемесячной температуре наружного воздуха;
- температура внутреннего воздуха помещений;
- теплопроводность ограждающих конструкций (при выявлении отклонений от среднего показателя по аналогичным объектам);
- воздухопроницаемость ограждающих конструкций (при выявлении отклонений от среднего показателя по аналогичным объектам);
- рекомендуемые виды работ и мероприятий по повышению энергоэффективности здания.

Адаптация метода организационно-технологического проектирования капитального ремонта включает (табл. 9, 10):

1) модернизацию системы учета параметров путем расширения перечня характеристик объектов капитального строительства;

2) интеграцию в методику организационно-технологического проектирования комплексного ремонта.

Таблица 9 – Урупненная модель методики организационно-технологического проектирования энергоэффективного капитального ремонта (основные параметры)

Компонент модели	Входные данные	Алгоритм обработки	Выходные параметры
Энергоэффективность	Фактическое потребление, тепловизионные данные и др.	Комбинированный алгоритм машинного обучения (SOM и Random Forest)	Прогноз снижения энергопотребления
Техническое состояние	Результаты обследований, дефектные ведомости		Приоритетность работ
Экономическая эффективность	Стоимость работ, тарифы	Регрессионный анализ	Срок окупаемости

Таблица 10 – Алгоритм адаптированной методики организационно-технологического проектирования энергоэффективного капитального ремонта

Этап реализации	Конкретные мероприятия	Ожидаемые результаты
1. Этап сбора данных	Интеграция с ГИС ЖКХ	Единая база данных объектов
	Автоматизированный сбор показаний приборов учета	Актуальные данные энергопотребления
	Регулярные тепловизионные обследования	Цифровые тепловые карты зданий
2. Этап анализа	Автоматизированная обработка данных	Структурированные датасеты
	Формирование рекомендаций по составу работ	Оптимальные пакеты ремонтных мер
	Оптимизация последовательности выполнения	Календарный график работ
3. Этап контроля	Мониторинг фактической эффективности	KPI выполнения программы
	Корректировка моделей на основе новых данных	Улучшение точности прогнозов
	Формирование обратной связи	Закрытый цикл управления

Основное преимущество предложенного подхода заключается в учете реальных, а не нормативных параметров и обоснованный выбор наиболее эффективных решений. Модель возможно адаптировать к конкретным условиям и постепенно улучшать прогнозы.

2.6. Разработка методики инвестиционно-строительного планирования комплексного капитального ремонта.

Моделирование прогноза изменения технического состояния строительного элемента на основе динамики изменения стоимости ремонтно-строительных работ.

Графики временной зависимости износа демонстрируют нелинейный характер деградации, аппроксимируемый логистической кривой, включающей три характерных фазы (рис. 19).

1. Медленная начальная фаза (адаптационный период), проявляющаяся в микротрещинах, поверхностной эрозии и локальных дефектах при низкой скорости износа благодаря запасу прочности конструкций. Данная фаза характерна для первых 10-20 лет эксплуатации.

2. Фаза ускоренного износа (критический рост повреждений) сопровождается накоплением дефектов, приводящих к потере несущей способности, коррозией арматуры, раскрытием трещин и разрушением швов. Этот период типичен для интервала 20-50 лет при отсутствии ремонтов.

3. Фаза стабилизации (плато разрушения) наступает, когда конструкции достигают предельного состояния. Дальнейший износ возможен лишь при катастрофических воздействиях.

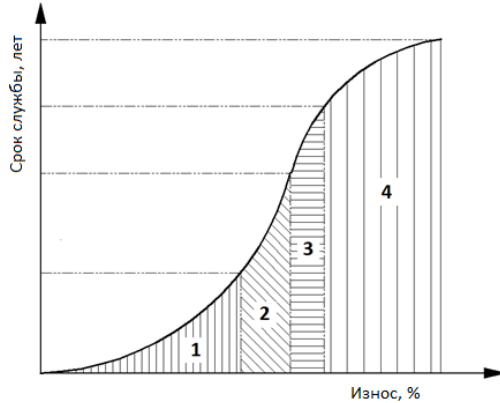


Рисунок 19 – График зависимости $I(t)$: 1 – состояние удовлетворительное; 2 – то же, неудовлетворительное; 3 – то же, ветхое; 4 – то же, аварийное

Графическая интерпретация степени износа в зависимости от срока эксплуатации описывается логистической функцией вида:

$$I = \frac{T}{1 + e^{-k(t-i_0)}}, \quad (1)$$

где T – максимальный срок службы, i – износ, i_0 – точка перегиба, где износ начинает существенно влиять на срок службы, k – коэффициент агрессивности среды.

Анализ деградации строительных конструкций основан на статистической обработке ретроспективных данных о стоимости ремонтных работ ($c_i(t)$), позволяющей идентифицировать ключевые фазы износа без построения полной логистической кривой. Посредством расчета годовых коэффициентов роста стоимости (k_i), их среднего геометрического значения (\bar{k}) и относительных отклонений (Δk_i) устанавливаются три характерные фазы деградации: начальная, ускоренная и критическая:

1) Годовые коэффициенты роста стоимости:

$$k_i(t) = \frac{c_i(t)}{c_i(t-1)}, \quad t \in \{2, \dots, T\} \quad (2)$$

2) Средний коэффициент роста:

$$\bar{k}_i = \left(\prod_{t=2}^T k_i(t) \right)^{\frac{1}{T-1}}, \quad (3)$$

3) Коэффициент ускорения износа (приоритет ремонта):

$$\Delta k_i(t) = \frac{k_i(t)}{\bar{k}_i}, \quad (4)$$

Если $\Delta k_i(t) > 1$, объект переходит в фазу ускоренной деградации. Чем выше $\Delta k_i(t)$, тем выше приоритет ремонта (табл. 11).

Таблица 11 – Стратегия планирования ремонтов на основе фаз логистической кривой износа

Фаза износа	Характеристики	Критерии	Действия	Примеры
1. Медленный рост износа	Начальная стадия деградации ($kt \approx 1$, рост стоимости $< 5\%/год$)	–	– проводить плановые профилактические ремонты – использовать материалы с длительным ресурсом	Фундамент с $kt = 1.03$ – ремонт по графику
2. Ускоренный рост износа	Переход в критическую фазу	– $\Delta kt > 1.1$ 2 года подряд; – ускорение роста затрат ($d^2c/dt^2 > 0$)	– срочный ремонт – риск роста стоимости в 1.5–2 раза за 3–5 лет	Крыша с $kt = 1.2$ → ремонт в текущем году
Быстрый возврат во 2-ю фазу	Повторный переход в ускоренную фазу через 1–2 года после ремонта	$\Delta kt > 1.1$ после недавнего ремонта	Для: – короткоживущих: полная замена – долгоживущих: аварийный ремонт + план сноса (если возраст $> 70\%$ нормы)	–
3. Фаза насыщения	Критическое состояние	– стоимость ремонта в 2–3 раза выше нормы – срок службы $> 80\%$ нормативного	Короткоживущие: – замена в 1–2 года; долгоживущие: – подготовка к сносу	Кровля, трубы – замена Фундамент – экспертиза на снос

Граничные условия принятия решения могут быть сформулированы следующим образом:

$$\text{Решение} \begin{cases} \text{Плановый ремонт, если } \Delta k_t < 1,05 \\ \text{Срочный ремонт, если } 1,05 \leq \Delta k_t \leq 1,2 \\ \text{Замена / снос, если } (\Delta k_t \approx 1) \wedge c_t \gg c_{\text{норм}} \end{cases} \quad (5)$$

Методика инвестиционно-строительного планирования комплексного капитального ремонта

Исходные условия:

1) Имеется множество объектов (строительных элементов), требующих проведения капитального ремонта.

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}, N \leq 20 \quad (6)$$

2) Ретроспективные данные о стоимости ремонта для каждого объекта за T лет:

$$c_i(t), t \in \{1, 2, \dots, T\}, i \in E \quad (7)$$

где t – временной период (год), причем $c_i(t+1) \geq c_i(t)$ (стоимость работ не убывает со временем);

– критичность выполнения работы $\Delta k_i(t)$ (может также выражаться в виде риска аварии p_i и т. д.).

2) Фонд капитального ремонта формируется ежегодно, и его объем в году t составляет $B(t)$. При этом:

– ежегодные взносы в фонд капитального ремонта (без учета инфляции):

$$B_{\text{год}} = \text{const} \quad (8)$$

– накопленный фонд на текущий момент:

$$F(0) = F_0 \quad (9)$$

– накопленный бюджет к моменту t :

$$F(t) = \sum_{\tau=1}^t B(\tau) \quad (10)$$

3) Совокупная стоимость всех необходимых работ превышает текущий фонд:

$$\sum_{i=1}^N c_i(t) > F(t) \quad (11)$$

Требуется определить оптимальный план выполнения ремонтных работ $\{x_{i,t}\}$ на K лет,

$$x_{i,t} = \begin{cases} 1, & \text{если работа } i \text{ выполняется в году } t, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (12)$$

где минимизирующий суммарные затраты (или максимизирующий выполнение работ с учетом приоритетов) при ограничении на доступный бюджет с учетом:

1) Ограниченного бюджета:

$$\sum_{i \in A(t)} c_i(t) \leq F(t), \forall t \in \{1, \dots, K\} \quad (13)$$

2) Фазы износа объектов (рост стоимости ремонта на фазе ускоренного роста).

3) Минимального интервала между ремонтами ($\Delta t \geq 3$ года).

Математическая модель – целевая функция:

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N c_i(t) \cdot x_{i,t} + \sum_{i=1}^N p_i \cdot (T - t_i) \cdot (1 - x_{i,T}), \quad (14)$$

где первое слагаемое – суммарные затраты на ремонт, второе слагаемое – возможный ущерб от аварий (если возможно спрогнозировать).

Рекомендуемый метод

Поставленная задача является частным случаем задачи календарного планирования при ресурсных ограничениях и требует применения методов дискретной оптимизации для нахождения рационального распределения ограниченного бюджета с учетом временного фактора. Наиболее эффективным методом является **динамическое программирование** с предварительным моделированием зависимости $c_i(t)$.

Алгоритм решения задачи оптимизации ремонтных работ методом динамического программирования:

1) Определение зависимости стоимости работ от времени $c_i(t)$. Для каждого объекта e_i и года $t \in \{T+1, \dots, T+K\}$ прогнозируем стоимость:

$$c_i(t) = c_i(t-1) \cdot \bar{k}_i \cdot (1 + \lambda(\Delta k_i(t) - 1)), \quad (15)$$

где λ – коэффициент чувствительности к ускоренному износу ($0 \leq \lambda \leq 1$).

Если объект был отремонтирован в году $t_{\text{рем}}$, то стоимость следующего ремонта ограничена:

$$c_i(t) \leq 1,15 \cdot c_i(t_{\text{рем}}), \quad t \in \{t_{\text{рем}} + 1, \dots, t_{\text{рем}} + 3\}, \quad (16)$$

2) Построение модели динамического программирования
Состояние системы:

$$E'(t) = (F(t), \{e_i\}_{\text{не отремонтированные}}), \quad (17)$$

где $F(t)$ – остаток фонда в период t , $\{e_i\}_{\text{не отремонтированные}}$ – множество невыполненных работ.

Рекуррентное уравнение Беллмана:

$$V(t, F, E') = \min_{A \subseteq E'} \left\{ \sum_{i \in A} c_i(t) + V(t+1, F + B_{\text{год}} - \sum_{i \in A} c_i(t), E' \setminus A) \right\} \quad (18)$$

где $V(t, F, E')$ – минимальные затраты с года t до K при текущем фонде F и неотремонтированных объектах E' ; A – подмножество объектов, ремонтируемых в году t .

Граничные условия:

$$- \text{Если } t > K, \text{ то } V(t, F, E') = 0. \quad (19)$$

$$- \text{Если } E' = \emptyset, \text{ то } V(t, F, \emptyset) = 0. \quad (20)$$

3) Восстановление оптимального плана работ – итерационный процесс:

– ранжирование элементов по приоритету – выбираем элементы с максимальным приоритетом, пока не исчерпаем бюджет $F(t)$.

$$\text{Приоритет}(e_i) = \Delta k_i(t) \cdot c_i(t) \quad (21)$$

– выбор ремонтов на год t – на каждом шаге t выбирается работа $i \in E'$, минимизирующая суммарные затраты;

– если элемент был отремонтирован в последние 3 года, он исключается из рассмотрения.

– фиксируется последовательность выполнения работ;

– обновляется состояние системы.

$$E' = E' \setminus \{i\} \quad (22)$$

$$F(t+1) = F(t) - c_i(t) \quad (23)$$

В рамках исследования проведено сравнение трех методов планирования капитального ремонта на примере тестового объекта. Необходимо определить оптимальный метод минимизации затрат при полном выполнении ремонтных работ за 10 лет. Сравнению подлежат результаты планирования при помощи динамического программирования, планирования «жадным алгоритмом» и планирование

методом случайного выбора работ, который применяется в настоящее время (табл. 12 и 13).

Таблица 12 – Методы инвестиционно-строительного планирования работ капитального ремонта

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
1. Динамическое программирование	Оптимизация с учетом динамики роста стоимости работ через уравнения Беллмана	Минимальные суммарные затраты	Сложность реализации
2. Жадный алгоритм	Ремонт объектов с максимальным приоритетом ($\Delta k_i(t) * c_i(t)$) в первую очередь	Простота, быстрое решение	Не всегда глобальный оптимум
3. Случайный выбор	Объекты ремонтируются в случайном порядке (с соблюдением ограничений)	Не требует расчетов приоритетов	Высокий риск перерасхода и невыполнения

Таблица 13 – Сравнительная таблица методов планирования капитального ремонта

Критерий сравнения	Динамическое программирование	Жадный алгоритм	Случайный выбор
Суммарные затраты	10 490 158 руб.	13 087 065 руб.	12 100 000 – 14 200 000 руб.
Остаток фонда	2 897 088 руб.	300 213 руб.	0 – 3 000 000 руб.
Выполнение плана	100% объектов	100% объектов	78% случаев – все, 22% – 1–2 объекта остаются
Вероятность дефицита	0%	0%	22%
Сложность реализации	Высокая	Средняя	Низкая
Требуемые данные	Полная история стоимости	Текущие стоимости	Только текущий бюджет
Гибкость	Адаптируется к изменениям	Жесткий приоритет	–

Таким образом, для точного планирования рекомендуется использовать динамическое программирование (если доступны вычислительные ресурсы). Жадный алгоритм подходит для оперативных решений (баланс простоты и результативности). Случайный выбор не рекомендуется из-за непредсказуемости итоговых затрат.

Эффективность методики организационно-технологического проектирования и инвестиционно-строительного планирования при реализации региональных программ капитального ремонта жилищного фонда заключается в следующем:

- 1) экономическом эффекте от оптимизации системы инвестиционно-строительного планирования;
- 2) оптимизации системы технического обследования строительных объектов;
- 3) оптимизации планирования ремонтных затрат и исключения избыточных работ.

2.7. Механизмы и инструменты формирования информационной системы объектов государственного учета жилищного фонда; требования и рекомендации формирования эксплуатационных информационных моделей многоквартирных домов.

Разработанная методология, включая методики, методы и алгоритмы, базируется на наличии актуальных данных о техническом состоянии строительных конструкций и инженерных систем. Таким образом, информационное моделирование выступает основой предложенной методологии – целесообразность применения подтверждается способностью структурировать данные о состоянии объекта и оптимизировать процессы эксплуатационного управления.

Основная методологическая проблема формирования цифровой информационной модели (ЦИМ) заключается в принципиальном различии процессов её создания для объектов нового строительства и существующих зданий. Предлагается реализация централизованного подхода к созданию библиотеки типовых ЦИМ существующих МКД для целей эксплуатации, который предусматривает:

- классификацию типовых строительных решений советского периода;
- разработку шаблонных моделей различного уровня детализации;
- создание методики адаптации типовых моделей к конкретным объектам.

Данный подход позволит существенно сократить сроки и стоимость цифровизации существующего жилищного фонда при обеспечении необходимого качества информационных моделей.

Преобладающими типами жилых зданий в городе Архангельске являются панельные и кирпичные дома. В рамках исследования разработаны типовые ЦИМ для ряда МКД (рис. 20).

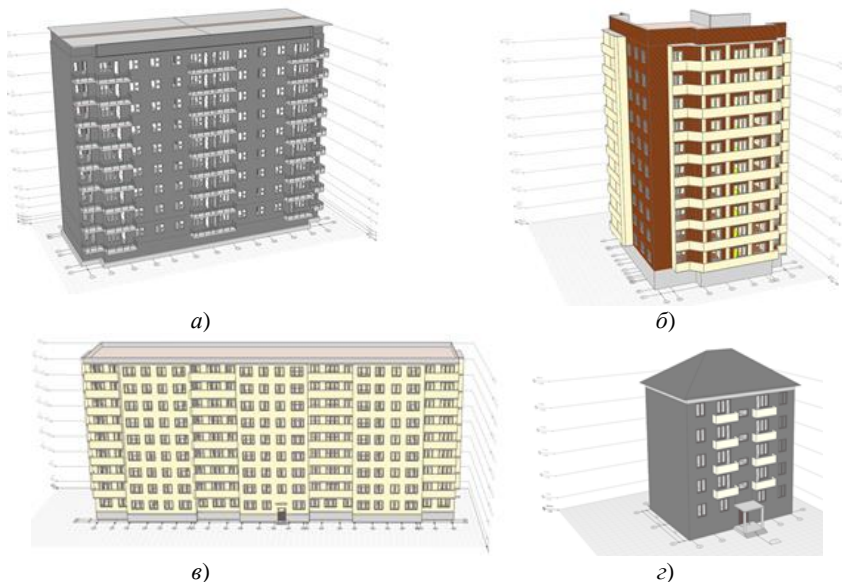


Рисунок 20 – Типовые проектные ЦИМ МКД:
а) 93 серия; б) 93 улучшенная серия; в) 1-335 серия; г) 1-464 серия.

Рекомендации по формированию эксплуатационных ЦИМ ОКС включают:

- 1) обеспечение возможностей планирования и сметной оценки капитального ремонта (геометрические и конструктивные параметры ремонтируемых элементов);
- 2) исключения избыточной детализации короткоживущих конструкций и элементов, не относящихся к общему имуществу;
- 3) совместимость с государственной информационной системой жилищно-коммунального хозяйства – ГИС ЖКХ (Приказ Минсвязи и Минстроя №74/114/пр от 29.02.2016);
- 4) возможность адаптации к конкретному объекту через геометрическую привязку и дополнение данными технического состояния.

Преимущества подхода заключаются в минимизации трудозатрат за счет типовых решений, сохранении функциональности при ограниченных ресурсах и постепенном наращивании детализации.

Формирование модели на этапе эксплуатации соответствует концепции процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию. Использование модели для фиксации дефектов позволяет формировать каталоги дефектов. Таким образом, ключевым элементом цифровой информационной модели становится дефект.

Использование эксплуатационной цифровой информационной модели (ЭЦИМ) на этапах организационно-технологического проектирования на I и II этапах организационно-технологического проектирования (определение категории технического состояния и идентификация ремонтпригодных дефектов) представлено на рисунках 21 и 22.

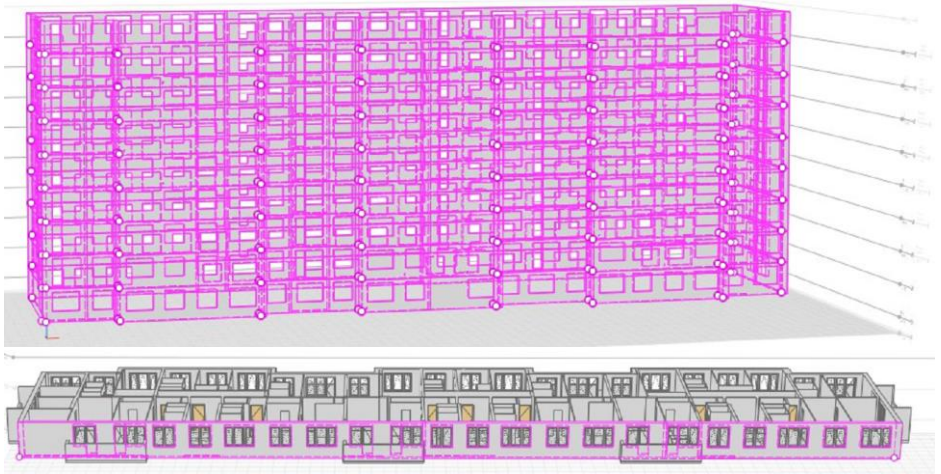


Рисунок 21 – Формирование перечня единичных конструктивных элементов с помощью ЭЦИМ

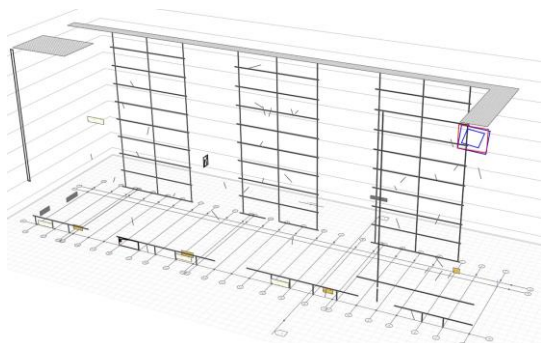


Рисунок 22 – Фиксация дефектов на ЭЦИМ в виде геометрических пространственно-ориентированных элементов

В настоящее время наблюдается существенный системный пробел – отсутствие нормативно закрепленного механизма передачи цифровой информационной модели с этапа строительства на этап эксплуатации. Это приводит к разрыву информационной непрерывности и необходимости повторного формирования данных об объекте при переходе к эксплуатации.

Анализ текущей ситуации выявил два ключевых недостатка:

1. Отсутствие цифровой взаимосвязи между участниками организационно-технологического проектирования капитального ремонта и субъектами инвестиционно-строительного процесса, что неоднократно отмечалось в ходе настоящего исследования.

2. Недостаточная цифровизация процессов управления жилищным фондом на этапе эксплуатации.

Для устранения этих недостатков предлагается осуществить интеграцию ГИС ЖКХ в единую цифровую вертикаль строительной отрасли (концептуальная схема взаимодействия представлена на рис. 23), а также разработать и внедрить специализированную информационную систему управления проектами капитального ремонта (ИСУПр) по аналогии с существующими системами управления строительными проектами (ИСУП).



Рисунок 23 – ГИС ЖКХ в структуре цифровой вертикали строительной отрасли

Реализация предложенных мер обеспечит повышение прозрачности и контролируемости выполнения работ по капитальному ремонту, улучшение качества проектных решений и их соответствия фактическому состоянию объектов, автоматизированное наполнение ГИС ЖКХ актуальными и достоверными данными, а также создание единого информационного пространства для всех участников процесса. (Детальное обоснование предложенного подхода и методики его реализации приведены в серии публикаций автора).

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенное исследование посвящено разработке и совершенствованию методологических основ организационно-технологического проектирования и инвестиционно-строительного планирования комплексного ремонта жилищного фонда, объединяющих современные методы информационного моделирования, процессно-системного анализа и машинного обучения для оптимизации управления эксплуатацией и ремонтом жилищного фонда.

1. Разработана методология организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта, учитывающая реальное состояние строительных элементов и включающая сметную документацию в обязательный состав системы. Уточнены ключевые понятия, разработан алгоритм проектирования, отличный от нового строительства. Методология обеспечивает оптимизацию расходов и устранение противоречий при управлении в системе капитального ремонта жилищного фонда.

2. Внедрен процессно-системный подход к организационно-технологическому проектированию комплексного ремонта на этапе эксплуатации объектов капитального строительства (ОКС) через модификацию классификатора строительной информации (КСИ) с введением класса «Свойство». Разграничены статические характеристики и динамические свойства конструкций. Разработана схема трансформации объектов под влиянием эксплуатации и ремонта. Подход обеспечивает точную оценку состояния и обоснованность решений, создавая основу для информационного моделирования и цифровизации управления жизненным циклом зданий.

3. Создан методический аппарат реализации методологии, включающий систему количественной многокритериальной оценки технического состояния на основе комплексного процессно-системного подхода к проектированию. Введено понятие конструктивно-технологического решения ремонта, позволяющее перейти от нормативных к индивидуальным подходам. Метод интегрирован с КСИ и этапами проектирования, что позволяет устранить субъективность, оптимизировать ресурсы и создать систему мониторинга. Подход сочетает точность с приемлемой трудоемкостью обследований.

4. Разработан комбинированный алгоритм машинного обучения (*SOM + Random Forest*) для автоматизации проектирования ремонта. Метод организационно-технологического проектирования на основе машинного обучения выявляет нелинейные связи дефектов и работ через кластеризацию и локальное моделирование. Апробация на 61 МКД показала повышение точности прогнозирования на 25–30%. Внедрение сократит сроки проектирования на 30–40% и создаст основу цифровой платформы управления фондом.

5. Обосновано внедрение процессно-системного подхода к мониторингу энергоэффективности через комплексную оценку потребления, теплопроводности и температурного режима. Анализ 200 МКД выявил несоответствие официальных данных реальному состоянию. Предложена адаптация методики организационно-технологического проектирования для реализации энергоэффективного капитального ремонта на этапе эксплуатации жилых зданий. Система мониторинга на расширенном классе свойств позволяет выявлять причины потерь и оптимизировать энергосберегающие мероприятия.

6. Предложена трехфазная модель оценки технического состояния на основе логистической зависимости стоимости работ от срока эксплуатации. Алгоритм сочетает фазовый анализ и динамическое программирование в условиях бюджетных ограничений. Сравнение методов показало преимущества динамического программирования (экономия 20–25% затрат). Стратегия дифференцирует работы по фазам износа, минимизируя риски аварий и оптимизируя бюджет.

7. Разработаны механизмы формирования информационной системы учета через типовые ЦИМ для эксплуатируемых МКД. Решение устраняет разрыв между строительством и эксплуатацией через библиотеку шаблонов и интеграцию ГИС ЖКХ. Подход сокращает затраты на цифровизацию в 3–5 раз, обеспечивает преемственность данных и автоматизацию мониторинга. Требуется нормативное закрепление передачи ЦИМ и разработка ИСУП для капремонта.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ОПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в научных изданиях по специальности 2.1.7, рекомендованные ВАК РФ:

1. Попова, О. Н. Планирование периодичности ремонта жилых зданий на основе динамического программирования / **О. Н. Попова**, Т. Л. Симанкина, Н. Д. Соколовский // Современная наука и инновации. – 2017. – № 2(18). – С. 154–164. (0,78 п.л., вклад автора 70%)

2. Попова, О. Н. Энергетическая устойчивость жилой застройки как критерий комплексной оценки энергосистемы города / **О. Н. Попова**, Ю. М. Глебова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2018. – № 3(66). – С. 7–18. – DOI 10.18720/CUBS.66.1. (1,63 п.л., вклад автора 50%)

3. Попова, О. Н. Мониторинг и оценка качества урбанизированных территорий на основе методов нейросетевого моделирования и ГИС / **О. Н. Попова**, Ю. М. Глебова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 11(62). – С. 47–59. – DOI 10.18720/CUBS.62.4. (1,34 п.л., вклад автора 50%)

4. Попова, О. Н. Проблемы и задачи построения цифровой информационной модели зданий для реализации программ капитального ремонта жилищного фонда / **О. Н. Попова**, А. С. Заостровская, А. Ф. Юдина // Жилищное строительство. 2024. № 1–2. С. 80–86. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-1-2-80-86> (0,9 п.л., вклад автора 50%)

5. Попова, О. Н. Информационные системы ЖКХ в цифровой вертикали строительной отрасли / **О. Н. Попова**, А. Ф. Юдина, А. С. Заостровская // Строительное производство. – 2024. – № 4. – С. 35–40. – DOI 10.54950/26585340_2024_4_35. (0,78 п.л., вклад автора 80%)

6. Попова, О. Н. Исследование энергоэффективности жилищного фонда для разработки технологических решений при капитальном ремонте / **О. Н. Попова**, А. А. Шошина, А. Ф. Юдина, Т. Л. Симанкина // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2025. – Т. 15, № 1(52). – С. 97–109. – DOI 10.21285/2227-2917-2025-1-97-109. (1,37 п.л., вклад автора 50%)

7. Попова О.Н. Преобразование структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий на этапе эксплуатации / **О. Н. Попова** // Строительное производство. – 2025. – № 1. – С. 87–92. – DOI 10.54950/26585340_2025_1_87. (0,75 п.л.)

8. Попова, О.Н. Цифровое моделирование технического состояния зданий для целей технического обслуживания и ремонта / **О. Н. Попова**, А.С. Заостровская // Инженерный вестник Дона. – 2025. – №5. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2025/10031. (0,53 п.л., вклад автора 50%)

9. Попова, О.Н. Прогнозирование износа строительных конструкций с использованием логистической модели ремонтно-восстановительных работ / **О. Н. Попова** // Строительные материалы. – 2025. – №4. – С. 73–80. – DOI: 10.31659/0585-430X-2025-834-4-73-80 (1,1 п.л.)

10. Попова, О.Н. Разработка каталогов дефектов единичных строительных конструкций для эксплуатационных цифровых информационных моделей зданий / **О. Н. Попова**, А. С. Заостровская // Инженерный вестник Дона. – 2025. – №7. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10213. (0,6 п.л., вклад автора 50%)

11. Попова, О.Н. Методы машинного обучения для организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда / **О. Н. Попова** // Жилищное строительство. 2025. № 5. С. 39–46. – URL <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2025-5-39-46> (1,19 п.л.)

Публикации в изданиях, индексируемых в WoS и Scopus:

12. Simankina, T. Neural network application for scheduling of building construction repair / Т. Simankina, **О. Popova** // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 584-586. – P. 1944-1950. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.584-586.1944.

13. Popova, O. Energy performance of areas for urban development (Arkhangelsk is given as example) / **О. Popova**, Y. Glebova // AIP Conference Proceedings, Tomsk, 22–25 ноября 2016 года. Vol. 1800. – Tomsk: American Institute of Physics Inc., 2017. – P. 050014. – DOI 10.1063/1.4973074.

14. Popova, O. Kohonen cards for clustering fund of the residential real-estate / **О. Popova**, Т. Simankina, V. Lukinov // MATEC Web of Conferences, Saint-Petersburg, 15–17 ноября 2016 года. Vol. 106. – Saint-Petersburg: EDP Sciences, 2017. – P. 01013. – DOI 10.1051/mateconf/201710601013.

15. Popova, O. Cities of North-West Federal District: The state of urban development sector and its main challenges / **О. Popova**, М. Perekopskaya, E. Martynova, К. Grabovyy // MATEC Web of Conferences, Saint-Petersburg, 15–17 ноября 2016 года. Vol. 106. – Saint-Petersburg: EDP Sciences, 2017. – P. 01007. – DOI 10.1051/mateconf/201710601007.

16. Popova, O. Complex assessment of urban housing energy sustainability / **О. Popova**, J. Glebova, I. Karakozova // E3S Web of Conferences, Samara, 04–08 сентября

2017 года. Vol. 33. – Samara: EDP Sciences, 2018. – P. 02041. – DOI 10.1051/e3sconf/20183302041.

17. Popova, O. Quality assessment of urban areas based on neural network modeling and GIS / **О. Popova**, J. Glebova, A. Pustovgar // E3S Web of Conferences, Samara, 04–08 сентября 2017 года. Vol. 33. – Samara: EDP Sciences, 2018. – P. 02032. – DOI 10.1051/e3sconf/20183302032.

18. Brenchukova, N. Sanitation of the buildings of the first mass series in Arkhangels / N. Brenchukova, **О. Popova**, V. Murgul // MATEC Web of Conferences, St. Petersburg, 20–22 декабря 2017 года. Vol. 170. – St. Petersburg: EDP Sciences, 2018. – P. 03003. – DOI 10.1051/matecconf/201817003003.

19. Popova, O. Planning of the territory of large cities of Russia in the interests of their sustainable development / **О. Popova**, M. Perekopskaya, G. Godunova // MATEC Web of Conferences, St. Petersburg, 20–22 декабря 2017 года. Vol. 170. – St. Petersburg: EDP Sciences, 2018. – P. 02012. – DOI 10.1051/matecconf/201817002012.

20. Popova, O. Algorithms of data clustering in assessing the transport infrastructure of the region / **О. Popova**, E. Kuznetsova, T. Sazonova // MATEC Web of Conferences, St. Petersburg, 20–22 декабря 2017 года. Vol. 170. – St. Petersburg: EDP Sciences, 2018. – P. 05006. – DOI 10.1051/matecconf/201817005006.

21. Popova, O. Industrialization of housing construction as a tool for sustainable settlement and rural areas development / **О. Popova**, P. Antufieva, V. Grebenshchikov, M. Balmashnova // E3S Web of Conferences : Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019, Moscow, 20–22 ноября 2019 года. Vol. 164. – Moscow: EDP Sciences, 2020. – P. 07010. – DOI 10.1051/e3sconf/202016407010.

22. Popova, O. Accessibility of the urban environment for people with limited mobility using the example of Arkhangelsk / **О. Popova**, A. Ostanina, S. Belyaeva, Ya. Andryunina // E3S Web of Conferences : Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019, Moscow, 20–22 ноября 2019 года. Vol. 164. – Moscow: EDP Sciences, 2020. – P. 04015. – DOI 10.1051/e3sconf/202016404015.

23. Popova, O. Feasibility study of energy efficient repair of residential buildings of the first mass series / **О. Popova**, N. Brenchukova, L. Yablonskii, V. Dikareva // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 982. – P. 125-136. – DOI 10.1007/978-3-030-19756-8_13.

24. Popova, O. Climate dependent energy-efficient technologies of major housing renovation / **О. Popova**, Yudina A.; Shoshina A.; Simankina T. // AIP Conf. Proc. 2936, 020006 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0179456>

Публикации в других изданиях:

25. Simankina, T. Clustering of city housing facilities based on self-organizing maps / Simankina T., Popova O. // Applied Mechanics and Materials. 2015. № 725-726. С. 1057.

26. Глебова, Ю. М. Геоинформационная система данных - инструмент управления энергоемкостью застроенных территорий / Ю. М. Глебова, **О. Н. Попова** // Развитие науки и образования в современном мире : сб. науч. трудов по материалам Межд. научно-практич. конф. : в 7 частях. – Томск: Изд-во АР-Консалт, 2014. – С. 29-31.

27. Попова, О. Н. Комплексные подходы к формированию региональных программ капитального ремонта субъектов РФ / **О. Н. Попова**, Ю. М. Глебова // Развитие науки и образования в современном мире : сб. науч. трудов по материалам Межд. научно-практич. конф.: в 7 частях. – Томск : Изд-во АР-Консалт, 2014. – С. 37–39.

28. Глебова, Ю. М. Особенности формирования и реализации долгосрочных целевых программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности объектов капитального строительства / Ю. М. Глебова, **О. Н. Попова**, А. Ю. Лукин // Перспективы развития науки и образования : сб. науч. трудов по материалам Межд. научно-практич. конф. 30 декабря 2014 г.: в 8 частях. – Москва : Изд-во АР-Консалт, 2015. – С. 37–39.

29. Попова, О. Н. Современные технологии и материалы ремонтно-строительных работ при капитальном ремонте жилищного фонда / **О. Н. Попова**, Ю. М. Глебова, А. Ю. Лукин // Перспективы развития науки и образования: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2014 г.: в 8 частях. – Москва : Изд-во АР-Консалт, 2015. – С. 49–51.

30. Попова, О. Н. Инвестиционная привлекательность территории на примере Архангельской области / **О. Н. Попова**, Е. А. Богачева // Развитие северо-арктического региона: проблемы и решения : материалы науч. конф. проф.-преподав. состава, науч. сотрудников и аспирантов Сев. (Аркт.) фед. ун-та им. М. В. Ломоносова. - Архангельск: Изд-во САФУ, 2016 – С. 827-830.

31. Попова, О. Н. Особенности реализации программы переселения граждан из ветхого и аварийного жилья в Архангельской области / **О. Н. Попова**, А. В. Шаманина // Развитие северо-арктического региона: проблемы и решения : материалы науч. конф. проф.-преподав. состава, науч. сотрудников и аспирантов Сев. (Аркт.) фед. ун-та им. М.В. Ломоносова. - Архангельск: Изд-во САФУ, 2016 – С. 823-827.

32. Попова, О. Н. Способы визуализации многомерных данных, используемые при управлении застроенными территориями / **О. Н. Попова**, Ю. М. Глебова // Развитие северо-арктического региона: проблемы и решения : материалы науч. конф. проф.-преподав. состава, науч. сотрудников и аспирантов Сев. (Аркт.) фед. ун-та им. М.В. Ломоносова. - Архангельск: Изд-во САФУ, 2016 – С. 830-834.

33. Попова, О. Н. Структурирование характеристик территорий урбанизированной застройки с использованием геоинформационных технологий / **О. Н. Попова**, Ю. М. Глебова // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики : Материалы VI Межд. научно-практич. конф: в 2-х частях. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. – С. 238-242.

34. Попова, О. Н. Комплексное малоэтажное жилищное строительство как фактор социально-экономического роста / **О. Н. Попова**, П. А. Антуфьева // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : сборник мат-лов научно-практич. конф. – 2019. – С. 14–18. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42351971_73467690.pdf.

35. Попова, О. Н. Оценка доступности и адаптация городской среды для маломобильных групп населения / **О. Н. Попова**, А. Д. Останина // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Архангельск, 26 ноября 2020 года. – Архангельск: САФУ, 2021. – С. 84–88.

36. Попова, О. Н. Потенциал теплоэффективности жилой застройки города на примере Г. Архангельск / **О. Н. Попова**, Н.С. Батманов // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ, Архангельск, 25–26 ноября 2021 года. – Архангельск: САФУ, 2021. – С. 37–40.

37. Попова, О. Н. Эффективность программных комплексов BIM при календарном планировании строительных работ / **О. Н. Попова**, А. С. Судакова // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : Материалы IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ, Архангельск, 16–18 ноября 2022 года. – Архангельск: САФУ, 2022. – С. 69–72. – EDN OEEDGV.

38. Попова, О. Н. BIM при проверке соответствия проекта требованиям пожарной безопасности / **О. Н. Попова**, Н. К. Заборская // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : Материалы IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ, Архангельск, 16–18 ноября 2022 года. – Архангельск: САФУ, 2022. – С. 66–68. – EDN DCOENM.

39. Попова, О. Н. Типовые проектные цифровые информационные модели многоквартирных домов (ЦИМ МКД) для эксплуатации и технического учета жилищного фонда / **О. Н. Попова**, А. С. Заостровская // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : Материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ, Архангельск, 15–17 ноября 2023 года. – Архангельск: САФУ, 2024. – С. 43–46. – EDN CVYZBN.

40. Попова, О. Н. Особенности формирования и ведения цифровых информационных моделей зданий на этапе эксплуатации / **О. Н. Попова**, А. С. Заостровская // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : сборник материалов VI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ, Архангельск, 13–15 ноября 2024 года. – Архангельск: САФУ, 2024. – С. 40–45. – EDN GJGSMK.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 13.02.2026. Формат 60×84^{1/16}. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 2,5. Тираж 150 экз. Заказ 12.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А