

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ПОПОВА Ольга Николаевна

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

2.1.7 Технология и организация строительства

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА	19
1.1. Теоретические основы технической эксплуатации недвижимости: особенности применения корректирующего, профилактического и предупредительного подходов в практике комплексного массового ремонта жилищного фонда	19
1.2. Исследование, систематизация и анализ особенностей отечественного опыта организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда	34
1.3. Анализ технического состояния и системы капитального ремонта жилищного фонда в России и Архангельской области	50
1.4. Организация и инвестиционно-строительное планирование капитального ремонта жилищного фонда	58
Выводы по Главе 1	73
Глава 2. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА	77
2.1. Теоретические основы управления системой: анализ и синтез подходов.....	77
2.2. Концепция процессно-системного подхода к организационно- технологическому проектированию ремонта на основе информационного моделирования объекта	86
2.3. Содержание и особенности организационно-технологического проектирования в системе капитального ремонта: анализ понятия, нормативных требований и отраслевой практики.....	99

2.4. Методология организационно-технологического проектирования комплексного ремонта.....	121
Выводы по Главе 2.....	130
Глава 3. МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕМОНТА	133
3.1. Многокритериальная поэлементная оценка технического состояния как элемента системы объекта капитального строительства	134
3.2. Декомпозиция системы элементов жилого здания для организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта.....	145
3.3. Конструктивно-технологическое решение как аспект декомпозиции структуры элементов системы ОКС при организационно- технологическом проектировании ремонта	149
Выводы по Главе 3	159
Глава 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕМОНТА НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	161
4.1. Методы машинного обучения в задачах технического обслуживания и ремонта на этапе эксплуатации объектов капитального строительства.....	161
4.2. Методологический подход к выбору алгоритмов машинного обучения в задаче организационно-технологического проектирования ремонта	174
4.3. Алгоритм машинного обучения для организационно- технологического планирования ремонтных работ на основе анализа взаимосвязей «дефекты-работы-стоимость».....	185

Выводы по Главе 4	193
Глава 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА.....	195
5.1 Методика организационно-технологического проектирования комплексного ремонта жилых зданий на основе комбинированного алгоритма машинного обучения (SOM и Random Forest)	195
5.2 Апробация методики организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта.....	205
5.4. Методика организационно-технологического проектирования при энергоэффективном капитальном ремонте	225
Выводы по Главе 5	233
Глава 6. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА.....	235
6.1 Алгоритм решения задачи оптимизации распределения фонда капитального ремонта жилищного фонда методом динамического программирования	235
6.2 Моделирование прогноза изменения технического состояния строительного элемента на основе фазово-логистической зависимости стоимости ремонтно-строительных работ от срока службы.....	244
6.3 Алгоритм оптимизации плана капитального ремонта на основе фазово-логистической зависимости стоимости ремонтно-строительных работ от срока службы.....	256
6.4 Оценка эффективности методологии организационно-технологического проектирования и инвестиционно-строительного	

планирования при реализации региональных программ капитального ремонта жилищного фонда	265
Вывод по Главе 6.....	271
Глава 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА	274
7.1. Цифровизация и информационное моделирование на этапе эксплуатации жилищного фонда.....	274
7.2. Разработка типовых эксплуатационных цифровых информационных моделей (ЭЦИМ) для жилищного фонда	277
7.3. Использование эксплуатационных цифровых информационных моделей на этапах организационно-технологического проектирования	282
7.4. Интеграция цифровых решений в информационную систему эксплуатации жилищного фонда.....	287
Выводы по Главе 7	293
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	296
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	304
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	307
ПРИЛОЖЕНИЕ А	327
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	328
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Унифицированные признаки технического состояния строительных элементов	329
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Нормализованные характеристики конструктивно- технологических решений капитального ремонта объектов	338

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Сравнение методов машинного обучения SOM и Random forest для задачи кластеризации	340
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Алгоритм выявления фазы ускоренного роста и фазы насыщения (2-я и 3-я фаза логистической кривой) по историческим данным	344
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Инвестиционно-строительное планирование ремонтных работ с учетом распределения ограниченных ресурсов	347
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Акты внедрения	351

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В последние годы наблюдается значительный рост объемов нового жилищного строительства, что является одним из драйверов роста российской экономики. Вместе с тем рост количества жилищного фонда ставит новые вызовы в части формирования устойчивого механизма и системы эксплуатации жилья.

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 установленных жестко закреплённых сроках, показал 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). Период создания объектов (этапы

изысканий и проектирования, строительства) значительно короче, чем продолжительность периода эксплуатации. Поэтому общий совокупный объем объектов капитального строительства постоянно растет. А 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.

– большая вариативность и количество участников инвестиционно-строительного процесса для различных объектов строительства жилого назначения подразумевает повышенную сложность планирования реализации программ капитального ремонта жилищного фонда.

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 государственности на жилищный фонд. Основной причиной этого явилось неэффективное распределение финансовых ресурсов на ремонтные работы исходя из нормативных сроков эксплуатации зданий или их 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 комплексной (поэлементной) эксплуатации.

Основной проблемой реализации планирования, организации и контроля выполнения массовых программ планово-предупредительной эксплуатации жилищного фонда является сбор, хранение, обработка и актуализация, использование и управление массивами данных технических, экономических и иных характеристик объектов капитального строительства. Существующие инструменты формирования базы, формулировки критериев технического состояния объектов, моделирования и прогнозирования, а также оперативного контроля не позволяют реализовать предлагаемый подход планово-предупредительной комплексной (поэлементной) эксплуатации.

Обработка больших данных и методы машинного обучения становятся всё более популярными в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Машинное обучение представляет собой совокупность вычислительных алгоритмов, которые посредством программных вычисленных комплексов позволяют обнаруживать закономерности, прогнозировать результаты и принимать решения на основе анализа данных. Эти алгоритмы составляют основу современного искусственного интеллекта и находят применение в различных секторах. Хотя применение искусственного интеллекта в строительстве в настоящее время существенно отстает от других отраслей экономики, возможности для его дальнейшего развития выглядят весьма многообещающими. Ключевым аспектом является создание структурированных баз данных, которые могут быть использованы для статистического анализа, прогноза, принятия решений, распознавания образов и контроля качества.

В свою очередь интенсивно продолжающийся процесс цифровизации строительной отрасли и использование технологий информационного моделирования на этапах проектирования и строительства объектов имеет перспективы развития на этапе эксплуатации и должно способствовать совершенствованию методов организационно-технологического проектирования и планирования ремонтов объектов капитального строительства.

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 (обследование и мониторинг, планирование и организация, отдельные технологические решения или их совокупность).

Вопросы капитального ремонта жилищного фонда всегда остро стояли как перед исследователями, так и перед практиками. Капитальный ремонт является средством и непрерывным процессом восстановления объектов строительства и является предметом долгосрочного прогнозирования. Стабильность и сбалансированность системы капитального ремонта жилищного фонда является залогом формирования устойчивого территориального развития. Совокупность исследований, посвящённых капитальному ремонту жилищного фонда, отличается широтой направлений и специализаций.

В настоящий момент технологии информационного моделирования в строительстве и общая цифровизации отрасли стали точкам развития исследований в области формирования и использования данных. Наибольший акцент делается на изучение методов сбора и обмена данными на этапе изысканий, проектировании и частично строительства, чему уделено внимание в работах и проектных решения 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 формированию информационной модели здания и реализации организационно-технологического проектирования комплексного ремонта на этапе эксплуатации. 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 методику 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 исследования заключается в систематизации, научном обосновании и разработке 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 решения 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», ТОМиС) 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.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

1.1 Теоретические основы технической эксплуатации недвижимости: особенности применения корректирующего, профилактического и предупредительного подходов в практике комплексного массового ремонта жилищного фонда

Этап эксплуатации недвижимости является наиболее длительным периодом жизненного цикла объекта капитального строительства. Эксплуатация объектов недвижимости подразделяется на две ключевые составляющие: техническую эксплуатацию зданий и сооружений, включающую в себя мониторинг технического состояния конструкций, инженерных систем и фасадных элементов, а также обеспечение инженерно-техническими ресурсами, такими как энергоснабжение, водоснабжение, вентиляция и отопление (Рисунок 1).

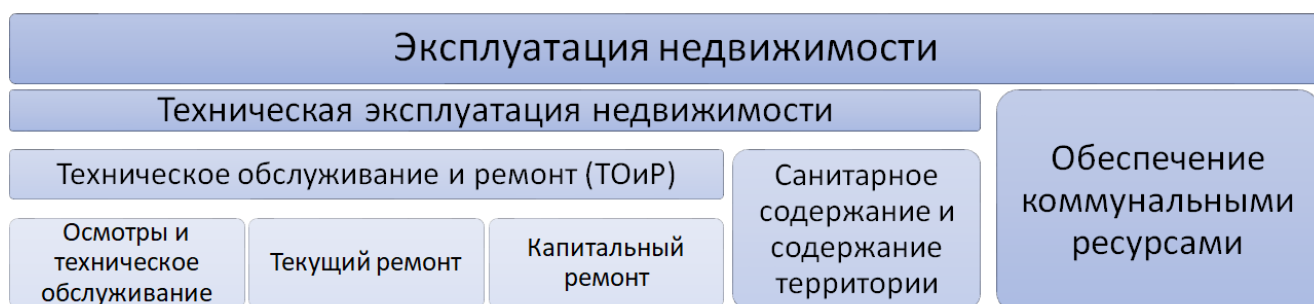


Рисунок 1 – Структура эксплуатации недвижимости

В таблице представлено содержание понятия «техническая эксплуатация недвижимости (здания, объекта капитального строительства)», согласно различным нормативным документам (Таблица 1).

Таблица 1 – Анализ содержания технической эксплуатации в различных нормативных документах

Нормативный документ	Основные компоненты технической эксплуатации
Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»	- Эксплуатационный контроль. - Техническое обслуживание. - Ремонт и восстановление конструкций. - Мониторинг технического состояния. - Обеспечение механической безопасности. - Обеспечение пожарной безопасности. - Учет воздействий окружающей среды. - Обеспечение энергетической эффективности.
Постановление Правительства РФ от 13.08.2006 N 491 «Об утверждении Правил содержания общего имущества в многоквартирном доме и правил изменения размера платы за содержание жилого помещения в случае оказания услуг и выполнения работ по управлению, содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме ненадлежащего качества и (или) с перерывами, превышающими установленную продолжительность»	- Управление многоквартирным домом. - Содержание общего имущества. - Техническое обслуживание. - Ремонт (текущий и капитальный). - Мониторинг технического состояния. - Аварийно-ремонтное обслуживание. - Диспетчерское обслуживание. - Обеспечение комфортных условий проживания. - Благоустройство придомовой территории. - Уборка и вывоз мусора. - Поддержание инженерных систем (водоснабжение, отопление, электроснабжение, газоснабжение, водоотведение).
Постановление Правительства РФ от 03.04.2013 N 290 «О минимальном перечне услуг и работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в многоквартирном доме, и порядке их оказания и выполнения»	- Проверка и восстановление фундаментов, стен, перекрытий, крыш, лестниц. - Контроль состояния гидроизоляции, водоотвода, температурно-влажностного режима. - Проверка и восстановление кровли, молниезащитных устройств, водоотводящих систем. - Контроль состояния фасадов, лестниц, ограждений. - Проверка и восстановление инженерных систем. - Уборка и вывоз мусора. - Благоустройство придомовой территории.
ГОСТ Р 51929-2014 «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Термины и определения»	- Управление многоквартирным домом. - Содержание общего имущества. - Техническое обслуживание. - Ремонт (текущий и капитальный). - Мониторинг технического состояния. - Аварийно-ремонтное обслуживание. - Диспетчерское обслуживание. - Обеспечение комфортных условий проживания. - Благоустройство придомовой территории.

Продолжение таблицы 1

Нормативный документ	Основные компоненты технической эксплуатации
ГОСТ 27751-2014. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения	- Техническое обслуживание. - Ремонт (текущий и капитальный). - Мониторинг технического состояния. - Обеспечение надежности и безопасности. - Научно-техническое сопровождение. - Проверка и оценка технического состояния. - Учет воздействий и нагрузок. - Прогнозирование остаточного ресурса сооружений.
ГОСТ Р 54860-2011 Теплоснабжение зданий. Общие положения методики расчета энергопотребности и эффективности систем теплоснабжения	- Техническое обслуживание систем теплоснабжения. - Ремонт и замена оборудования. - Мониторинг энергопотребления и эффективности. - Оптимизация работы систем. - Учет тепловых потерь и возвратных тепловых ресурсов. - Обеспечение энергетической эффективности. - Контроль параметров микроклимата. - Управление системами отопления и горячего водоснабжения.
ГОСТ 31937-2024 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния	- Обследование технического состояния. - Мониторинг технического состояния. - Техническое обслуживание. - Ремонт и восстановление конструкций. - Оценка несущей способности. - Контроль деформаций и трещин. - Учет воздействий окружающей среды. - Обеспечение безопасной эксплуатации.
ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях	- Контроль температуры воздуха, влажности и скорости движения воздуха. - Обеспечение оптимальных и допустимых параметров микроклимата. - Мониторинг качества воздуха (концентрация углекислого газа, загрязняющих веществ). - Обеспечение вентиляции и воздухообмена. - Контроль локальной асимметрии результирующей температуры. - Обеспечение энергоэффективности систем вентиляции и кондиционирования.
СП 255.1325800.2016 Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения	- Техническое обслуживание. - Ремонт. - Модернизация. - Мониторинг технического состояния. - Эксплуатационный контроль. - Пожарная безопасность. - Текущий ремонт. - Обслуживание инженерных систем. - Обеспечение энергетической эффективности.

Продолжение таблицы 1

Нормативный документ	Основные компоненты технической эксплуатации
СП 368.1325800.2017 Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта	- Техническое обслуживание. - Ремонт (текущий и капитальный). - Контроль технического состояния. - Диагностика и мониторинг. - Энергоэффективность и экологическая безопасность. - Ведение технической документации.
СП 372.1325800.2018 Здания жилые многоквартирные. Правила эксплуатации	- Техническое обслуживание. - Ремонт (текущий и капитальный). - Контроль технического состояния. - Эксплуатация придомовой территории. - Энергоэффективность. - Ведение технической документации.

На основе анализа нормативных документов, представленных в таблице, можно сделать следующие выводы:

1. Единое понимание технической эксплуатации. Техническая эксплуатация определяется как комплекс мероприятий, направленных на поддержание, восстановление и обеспечение безопасной, надежной и эффективной работы зданий, сооружений и технических средств. Это определение является общим для большинства документов, таких как СП 255.1325800.2016, ГОСТ Р 54860-2011 и других.

2. Основные составляющие технической эксплуатации. Во всех документах выделяются ключевые компоненты технической эксплуатации:

- техническое обслуживание – регулярные работы по поддержанию объектов в исправном состоянии;
- ремонт – текущий и капитальный, направленный на устранение неисправностей и восстановление работоспособности;
- диагностика и мониторинг – контроль технического состояния объектов для своевременного выявления дефектов и деградаций;
- управление ресурсами – оптимизация использования материальных, финансовых и человеческих ресурсов;
- обеспечение безопасности – мероприятия, направленные на предотвращение аварий и обеспечение безопасной эксплуатации.

3. Специфика понятия техническая эксплуатация в различных документах:

- техническое обслуживание и ремонт упоминаются во всех документах как ключевые компоненты технической эксплуатации;
- мониторинг технического состояния является обязательным элементом в большинстве документов;
- энергоэффективность и экологическая безопасность выделяются в современных документах (СП 368.1325800.2017, СП 372.1325800.2018, ГОСТ 30494-2011);
- управление общим имуществом и благоустройство придомовых территорий актуальны для многоквартирных домов (ГОСТ Р 51929-2014, Постановление N 491);
- контроль микроклимата и качества воздуха становится важным аспектом в жилых и общественных зданиях (ГОСТ 30494-2011).

4. Общие тенденции. В современных документах все больше внимания уделяется энергоэффективности и устойчивому развитию (например, в ПП РФ № 290 и ГОСТ 30494-2011). Важным направлением развития становится цифровизация процессов – использование мониторинга, диагностики и управления ресурсами на основе данных.

Таким образом, техническая эксплуатация – это динамично развивающаяся область, которая требует комплексного подхода и включает техническое обслуживание, ремонт, диагностику, управление ресурсами и обеспечение безопасности. Современные нормативные документы отражают тенденции к унификации стандартов, повышению энергоэффективности и внедрению новых технологий. Это позволяет обеспечивать долговечность, безопасность и эффективность эксплуатации зданий и сооружений.

На этапе эксплуатации объектов строительства наибольшая доля ресурсов отвлекается на осуществление технического обслуживания и ремонтов – совокупность мероприятий, направленных на поддержание и улучшение технического состояния объектов капитального строительства. Эти ресурсы распределены во

времени и имеют яркую окраску долгосрочного планирования, что связано с необходимостью учета жизненного цикла зданий и сооружений. С этим связаны основные риски организационно-технологического проектирования и инвестиционно-строительного планирования, такие как несвоевременное выполнение ремонтных работ, превышение сметной стоимости и снижение эксплуатационной надежности объектов.

На основе анализа нормативно-технических документов, а также научно-исследовательских работ [169], произведено классификационное сравнение типов технической эксплуатации: корректирующей, профилактической и предупредительной (Рисунок 2 и Таблица 2). Таблица включает определения, ключевые характеристики и ссылки на нормативные документы.



Рисунок 2 – Классификационная структура типов технической эксплуатации (технического обслуживания и ремонтов – ТООР)

Таблица 2 – Сравнительная таблица типов технической эксплуатации

Критерий	Корректирующая эксплуатация	Профилактическая эксплуатация	Предупредительная эксплуатация
Определение	Мероприятия, выполняемые после возникновения отказа или неисправности для восстановления работоспособности.	Плановые мероприятия, направленные на предотвращение отказов и поддержание работоспособности.	Мероприятия, основанные на прогнозировании и анализе данных, для предотвращения потенциальных отказов.

Продолжение таблицы 2

Критерий	Корректирующая эксплуатация	Профилактическая эксплуатация	Предупредительная эксплуатация
Когда применяется	После выявления неисправности или отказа.	По заранее установленному графику (планово).	На основе данных мониторинга и диагностики (прогнозирование).
Основная цель	Восстановление работоспособности оборудования или объекта.	Предотвращение износа и поломок, обеспечение длительной и надежной эксплуатации.	Предотвращение возможных отказов путем устранения потенциальных проблем до их возникновения.
Подход	Реактивный (реагирование на уже возникшие проблемы).	Превентивный (предотвращение проблем до их возникновения).	Прогностический (прогнозирование и устранение проблем на основе данных).
Основные мероприятия	- Устранение дефектов. - Ремонт. - Восстановление работоспособности.	- Плановые проверки. - Замена изношенных деталей. - Регулярное техническое обслуживание.	- Мониторинг состояния. - Диагностика. - Анализ данных. - Устранение потенциальных неисправностей.
Затраты	Потенциально высокие (из-за экстренных ремонтов и простоев).	Средние (регулярные затраты на плановое обслуживание).	Высокие начальные затраты (внедрение систем мониторинга), но низкие эксплуатационные.
Технологии диагностики, организации и планирования	Не требуются (реактивный подход).	Базовые технологии для планового обслуживания.	IoT (Интернет вещей), датчики, системы анализа данных, искусственный интеллект.
Эффективность	Низкая (проблемы решаются после их возникновения).	Средняя (предотвращает большинство неожиданных поломок).	Высокая (минимизирует вероятность поломок и оптимизирует ресурсы).
Преимущества	- Низкие первоначальные затраты. - Простота планирования и управления. - Минимальная штатная численность с низкой квалификацией.	- Снижение вероятности отказов. - Увеличение срока службы оборудования. - Плановый характер работ.	- Выявление проблем на ранних стадиях. - Оптимизация затрат на ремонт. - Повышение надежности и безопасности.
Недостатки	- Высокие затраты на экстренный ремонт. - Риск длительных простоев. - Реактивный характер.	- Затраты на плановое обслуживание. - Возможность избыточного обслуживания.	- Требуется внедрения систем мониторинга и анализа данных. - Высокие начальные затраты на технологии.

Продолжение таблицы 2

Критерий	Корректирующая эксплуатация	Профилактическая эксплуатация	Предупредительная эксплуатация
Подходит для	Небольшие здания с низким бюджетом на обслуживание.	Здания среднего размера с умеренным бюджетом на обслуживание.	Крупные здания или комплексы с высокими требованиями к надежности и минимальному простоему.
Примеры	- Ликвидация аварий (протечки, отказ систем). - Ремонт оборудования после сбоя (например, лифта).	- Регулярная проверка и замена фильтров в системе вентиляции. - Плановый осмотр и настройка оборудования.	- Использование IoT-датчиков для мониторинга состояния. - Прогнозирование износа деталей и поломок
Нормативные документы	ГОСТ 18322-2016, ГОСТ Р 51929-2014, СП 255.1325800.2016, ГОСТ Р 54860-2011, ГОСТ 27751-2014, ФЗ № 384-ФЗ, ПП РФ № 290		

Классификационная сравнительная структура типов эксплуатации позволяет сделать вывод, что каждый метод имеет свои преимущества и применяется в зависимости от задач, ресурсов и состояния объектов (Рисунок 3). Для повышения эффективности эксплуатации рекомендуется сочетать профилактические и предупредительные методы для повышения надежности и безопасности эксплуатации. **Корректирующая эксплуатация** подходит для ситуаций, где затраты на профилактику превышают возможные риски, но он неэффективен в долгосрочной перспективе. Она должна использоваться как резервный метод в случае непредвиденных отказов. Корректирующее техническое обслуживание (часто называют реактивным) применяется, когда оборудование или системы здания выходят из строя. Оно включает диагностику, ремонт и восстановление работоспособности. Этот метод противопоставляется профилактическому и предупредительному обслуживанию, которые направлены на предотвращение поломок. **Профилактический метод** снижает вероятность аварий, но может быть избыточным. **Предупредительный метод** (на основе данных) наиболее эффективен, но требует значительных инвестиций в технологии и персонал. Внедрение предупредительной эксплуатации особенно актуально для сложных и критически важных объектов, где важна максимальная надежность и безопасность.

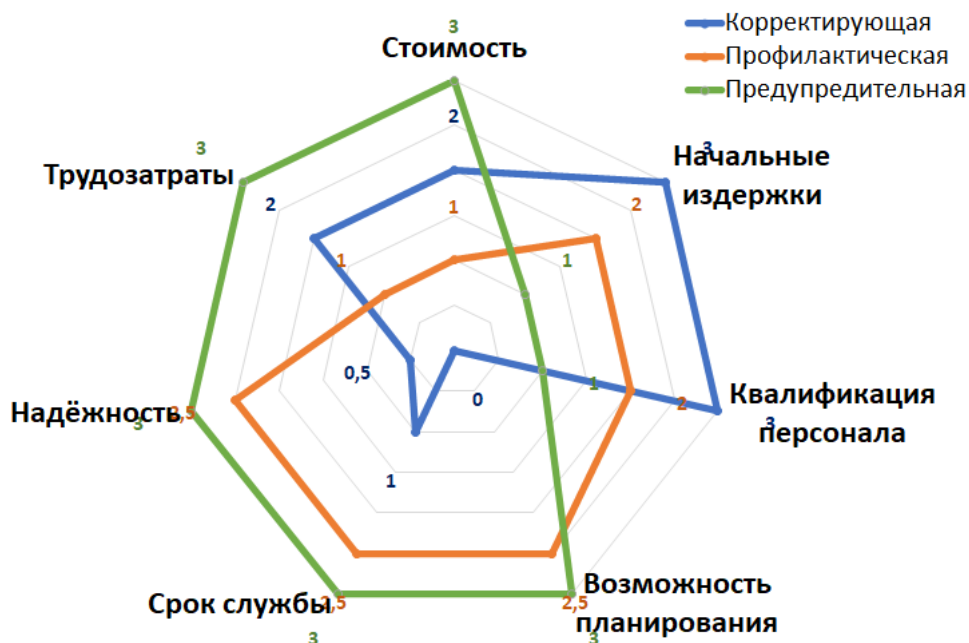


Рисунок 3 – Сравнение типов (методов) технической эксплуатации

Фактические программы технической эксплуатации являются комплексными и включают совокупность трех типов эксплуатации: корректирующая, профилактическая и предупредительная. Процедура выбора оптимальной технологической структуры программы комплексной эксплуатации зависит не только параметров применения каждого метода, но в большей степени обусловлена требованиями к качеству строительных элементов, включая: безопасность, надежность, безотказность, эксплуатационные качества и комфортность проживания (Рисунок 4) [169].

Таким образом, корректирующая эксплуатация может быть использована только в рамках текущего ремонта отдельных элементов здания. Долгосрочное и среднесрочное планирование может осуществляться только на основе профилактического и предупредительного методов.

Инвестиционно-строительное проектирование основывается на организационно-технологическом проектировании и имеет свои особенности на этапе эксплуатации зданий. Региональные программы капитального ремонта жилищного фонда направлены на обеспечение долговечности, безопасности и комфорта многоквартирных домов. Анализ методов технической эксплуатации (корректирующего, профилактического и предупредительного) (Таблица 3) в рамках этих программ

позволяет сделать следующие общие рекомендации для региональных программ капитального ремонта жилищного фонда:

1. Комбинированный подход

Для эффективного управления жилищным фондом рекомендуется сочетать профилактический и предупредительный методы. Профилактические работы должны проводиться для элементов зданий, состояние которых сложно контролировать, а применение корректирующего метода к этим элементам может повлиять на безопасность эксплуатации здания. В остальных случаях следует применять предупредительный метод, который позволяет оптимизировать затраты в условиях ограниченного бюджета.

Профилактический метод обеспечивает плановый ремонт, а предупредительный – минимизирует аварии и оптимизирует затраты.

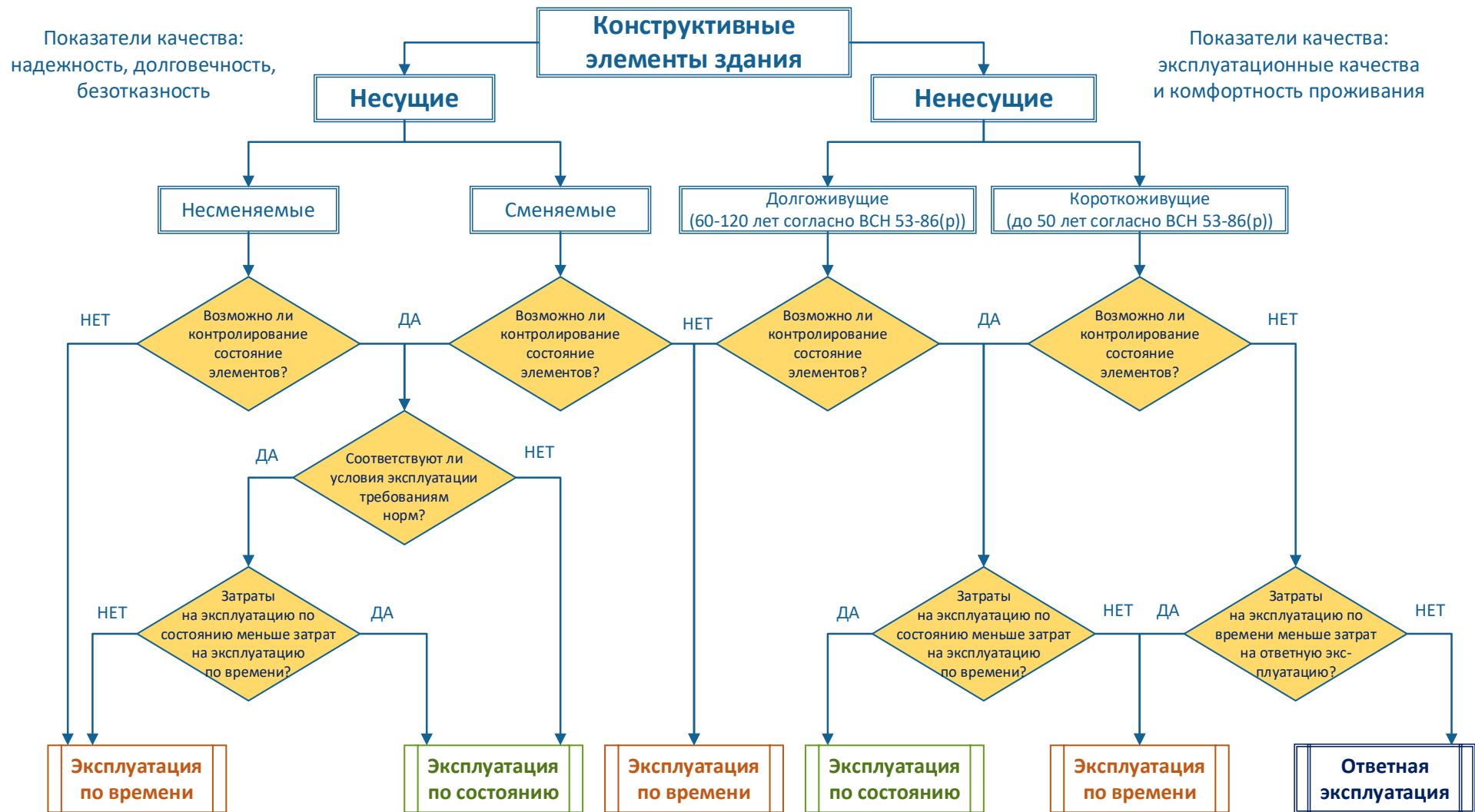


Рисунок 4 – Технологическая структура поэлементной эксплуатации [169]

Таблица 3 – Типы технической эксплуатации в рамках региональных программ капитального ремонта жилищного фонда

Критерии	Корректирующий метод	Профилактический метод	Предупредительный метод
Применимость в программах	Корректирующий метод используется в случаях, когда ремонтные работы проводятся только после выявления серьезных неисправностей, таких как аварийные ситуации с кровлей, фасадом или инженерными системами.	Профилактический метод идеально подходит для планового капитального ремонта, который проводится по графику (например, раз в 10–15 лет).	Предупредительный метод наиболее эффективен для регионов, внедряющих современные технологии мониторинга и анализа состояния жилищного фонда (например, системы IoT для контроля инженерных систем).
Преимущества для регионов	- Низкие начальные затраты на планирование и внедрение. - Подходит для регионов с ограниченным бюджетом, где невозможно выделить средства на регулярное обслуживание.	- Снижает вероятность аварий и внезапных поломок. - Увеличивает срок службы зданий и инженерных систем. - Позволяет равномерно распределять затраты на ремонт.	- Минимизирует простои и аварии за счет прогнозирования проблем. - Оптимизирует затраты на ремонт, так как работы проводятся только там, где это действительно необходимо. - Повышает безопасность и комфорт проживания граждан.
Недостатки	- Высокие затраты на экстренный ремонт. - Риск длительных простоев и ухудшения условий проживания граждан. - Не способствует долгосрочному улучшению состояния жилищного фонда. - Не применим для планирования региональных программ капитального ремонта.	- Требуется регулярного финансирования и планирования. В условиях ограниченных бюджетов фондов капитального ремонта использование профилактического метода для региональных программ становится затруднительным. - Возможность избыточного обслуживания, если работы проводятся без учета реального состояния объектов.	- Высокие начальные затраты на внедрение технологий (датчики, системы анализа данных), так как эксплуатация ведется на основании данных о техническом состоянии зданий и их мониторинге. - Требуется квалифицированного персонала для работы с современными системами.
Рекомендации	Корректирующий метод может быть временной мерой в регионах с низким уровнем финансирования, но он не решает системных проблем жилищного фонда и не может быть использован для реализации программ капитального ремонта жилищного фонда	Профилактический метод не может быть основой региональных программ капитального ремонта, так как он повышает нагрузку на бюджет и в итоге становится экономически неэффективным.	Предупредительный метод наиболее эффективен, но сложен в реализации. Его целесообразно внедрять в крупных городах и регионах с развитой инфраструктурой, где есть ресурсы для инвестиций в технологии. Это особенно актуально для объектов с высокой социальной значимостью.

2. Внедрение технологий

В крупных городах и регионах с развитой инфраструктурой стоит внедрять предупредительный метод с использованием IoT (Internet of Things – «интернет вещей») и систем анализа данных. Это позволит перейти от реактивного управления к прогнозированию и предотвращению преждевременного износа и аварий. Внедрение современных методов требует подготовки квалифицированных специалистов, способных работать с новыми технологиями и системами.

3. Финансирование и планирование

Для успешной реализации программ необходимо обеспечить стабильное финансирование и долгосрочное планирование. Важно учитывать реальное состояние жилищного фонда. Выявлять и приоритизировать объекты, требующие срочного вмешательства.

Анализ методов эксплуатации показал, что предупредительная эксплуатация зданий и сооружений наиболее эффективна. Она подразумевает переход от программ эксплуатации зданий к программам эксплуатации отдельных конструктивных элементов и основана на поэлементной оценке технического состояния объекта капитального строительства. Это предполагает проведение детального анализа технического состояния каждого конструктивного элемента (фундаментов, стен, перекрытий, кровель, фасадов) и инженерных систем (электроснабжения, водоснабжения, отопления, вентиляции и канализации) с последующим планированием ремонтных работ в долгосрочной перспективе. Такой подход позволяет рационально распределить ограниченный бюджет накапливаемых фондов капитального ремонта, выделяя приоритет наиболее изношенным элементам, которые оказывают критическое влияние на эксплуатационную надежность, безопасность и техническую пригодность жилого здания.

В рамках региональной программы капитального ремонта необходимо выполнить инвестиционно-строительное проектирование для каждого конструктивного элемента многоквартирного дома, учитывая распределение и накопление ограниченных финансовых ресурсов фонда капитального ремонта. Это подразумевает проведение организационно-технологического проектирования для каждого

элемента здания на основе его технических характеристик, данных дефектного акта и технического паспорта объекта, а также подбор оптимальной совокупности технологических решений. После этого осуществляется инвестиционно-строительное планирование капитального ремонта, включающее распределение ремонтных работ по конструктивным элементам в долгосрочных планах с учетом прогноза бюджетных расходов, поступлений и динамики изменения технического состояния элементов.

В данном контексте ключевое значение приобретает определение понятий комплексного и массового ремонта. Эти понятия являются основой для эффективного планирования и реализации региональных программ капитального ремонта жилищного фонда (Таблица 4).

Таблица 4 – Определение понятий массового (сплошного) и комплексного капитального ремонта жилищного фонда

Критерий	Массовый капитальный ремонт	Комплексный капитальный ремонт
Основной принцип	Планирование работ для всего комплекса объектов на определенной территории (район, город).	Планирование работ для отдельного МКД на основе детального обследования каждого строительного элемента .
Определение	Стратегия планирования ремонтных работ, при которой объемы и виды работ определяются на основе усредненных показателей технического состояния для группы МКД.	Стратегия планирования ремонтных работ для конкретного МКД, основанная на поэлементной оценке технического состояния всех конструкций и систем здания.
Объект планирования	Группа многоквартирных домов на территории.	Отдельное многоквартирное здание и его конструктивные элементы.
Цель	Обеспечение единого стандарта качества и приведение всего жилищного фонда территории к определенному уровню. Массовое выполнение однотипных работ.	Оптимизация ресурсов (бюджета, материалов) и повышение эффективности ремонта за счет адресного выполнения только необходимых работ по приоритетным элементам.
Подход к оценке состояния	Усредненный. Техническое состояние группы домов оценивается по общим критериям и статистическим данным (например, процент износа по году постройки).	Индивидуальный и детальный. Проводится инструментальное обследование и оценка каждого элемента (фундамент, стены, кровля, инженерные системы) для определения его реального износа и потребности в ремонте.

Продолжение таблицы 4

Крите- рий	Массовый капитальный ремонт	Комплексный капитальный ремонт
Подход к планиро- ванию работ	Унифицированный. Составляется единый план и график выполнения однотипных работ (например, замена всех кровель) для всех объектов в программе.	Приоритизированный и поэлемент- ный. Составляется индивидуальная про- грамма ремонта для дома, где работы пла- нируются не для всего МКД сразу , а для каждого элемента в отдельности, исходя из его состояния.
Ключе- вое пре- имуще- ство	Простота организации и контроля, возможность быстро охватить ре- монтом большое количество домов и улучшить общие показатели фонда.	Экономическая эффективность. Позво- ляет распределить бюджет точно , вы- явить и выполнить в первую очередь наиболее необходимые работы , избегая необоснованных затрат.
Основ- ной недо- статок	Риск неэффективного расхода- ния средств: проведение работ там, где они не нужны, и наоборот, отсут- ствие ремонта у действительно ава- рийных элементов из-за усреднен- ного подхода.	Высокая трудоемкость подготовки: требует значительных ресурсов и вре- мени на детальное обследование каж- дого дома для качественного планирова- ния.
Приме- нимость	Программы развития территорий, где стоит задача масштабного и быстрого обновления большого числа зданий с относительно равно- мерным износом .	Адресное планирование для домов с сильной дифференциацией износа эле- ментов, где критически важно расста- вить приоритеты и точно распреде- лить ограниченный бюджет.
Пример выполне- ния ра- бот	Единовременная замена всех кро- вель или ремонт всех фасадов в рамках района, независимо от теку- щего состояния каждого.	Замена кровли только у тех домов, где ее износ превысил критический уровень, и ремонт фасада только у тех, где есть трещины и повреждения, в то время как для других элементов этого же дома пла- нируются иные работы.

Массовый и комплексный капитальный ремонт, по своей сути, являются про-
тивоположными подходами. Массовый капитальный ремонт предполагает унифи-
цированное выполнение работ на всех объектах жилищного фонда без учета их ин-
дивидуального технического состояния отдельных строительных элементов, что
соответствует реактивному подходу. В то же время комплексный капитальный ре-
монт основан на предупредительном методе эксплуатации, который предполагает
поэлементную оценку технического состояния зданий и приоритизацию ремонт-
ных работ для наиболее изношенных элементов, влияющих на безопасность и экс-
плуатационную надежность. Необходимость поэлементной идентификации и мо-
ниторинга технического состояния сопряжено с высокими начальными инвестици-
ями, требует высокой квалификации персонала и сложностью организации

процесса. Это является основным препятствием использования данного метода особенного при массовом (сплошном) организационно-технологическом проектировании капитального ремонта жилищного фонда.

1.2 Исследование, систематизация и анализ особенностей отечественного опыта организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда

Формирование и эволюция системы капитального ремонта в России обусловлены спецификой развития жилищного фонда и подразделяются на ряд этапов, характеризующихся уникальными социально-экономическими, политическими и технологическими контекстами (Рисунок 5).

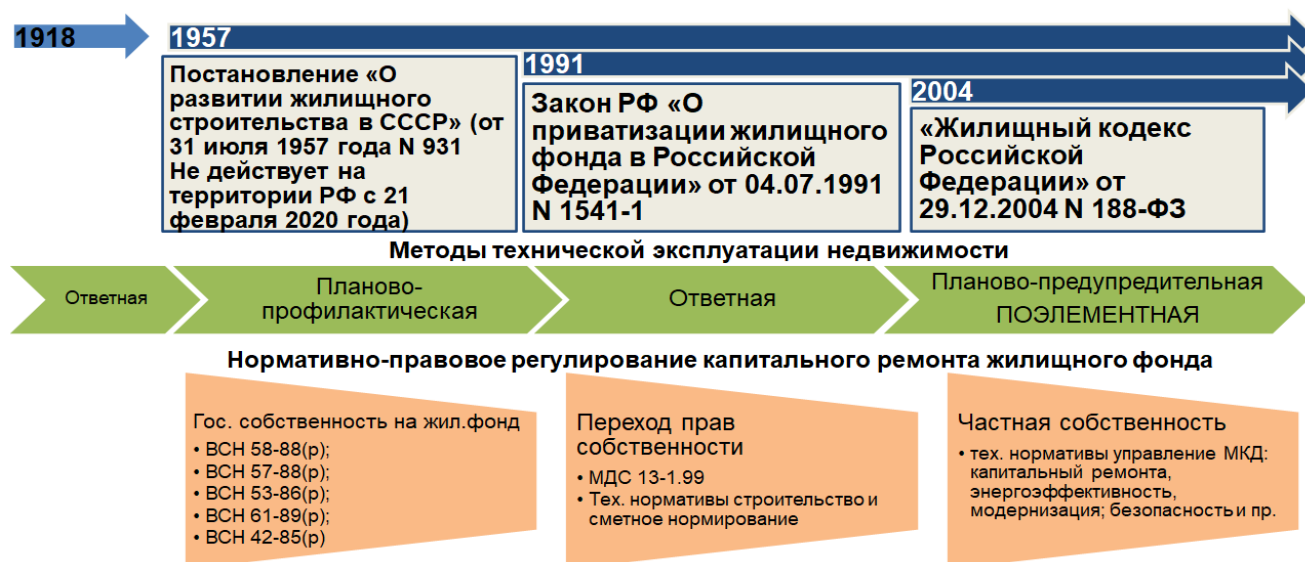


Рисунок 5 – Исторические этапы формирования жилищного фонда в СССР-России и эволюция методов технической эксплуатации

На временной оси представлены этапы формирования жилищного фонда России, каждому из которых соответствует доминирующий подход к технической эксплуатации. В рамках каждого этапа сформированы нормативно-правовые акты (НПА), определяющие жилищную политику страны и отражающие специфику соответствующих периодов. Подход, характерный для каждого этапа, определяет способ реализации процессов и работ, составляющих техническую эксплуатацию недвижимости, включая:

- правила определения целей;

- методы разработки и оптимизации управленческих решений;
- методы организационно-практической реализации управленческих решений;
- методы прогнозирования, планирования, организации, регулирования и контроля.

Основные характеристики жилищного фонда с учетом исторических этапов формирования жилищного фонда в СССР-России (см. Рисунок 5) представлены на графике (Рисунок 6). При детальном анализе можно выявить закономерности, отражающие специфику и тенденции формирования жилищного фонда в Российской Федерации и проследить динамику изменений за период с 1918 по 2024 год.

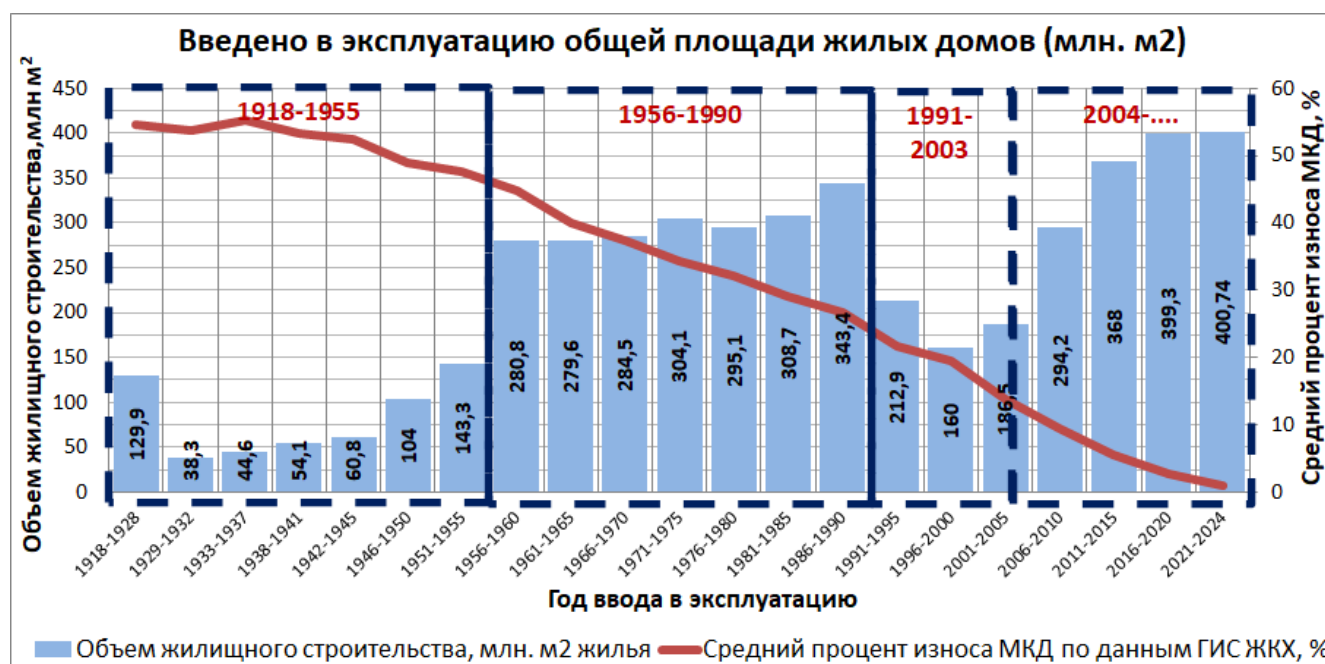


Рисунок 6 – Анализ среднего износа жилищного в зависимости от года ввода объекта в эксплуатацию

Период с 1918 по 1957 годы характеризовался рядом факторов, которые привели к значительной деградации жилищного фонда. Всеобщая национализация, инициированная в 1918 году, сопровождалась массовой конфискацией доходного жилья у частных домовладельцев. В этот период была введена дифференцированная плата за жилье, основанная на «классовом признаке». Однако к середине 1920 года, в условиях гиперинфляции и полного обесценивания рубля, квартирная плата была полностью отменена. Попытки восстановления платной системы,

предпринятые в 1921 году, столкнулись с серьезными трудностями, связанными с отсутствием четкого регулирования прав и обязанностей в отношении эксплуатации жилищного фонда.

Период с 1941 по 1946 годы, обусловленный объективными обстоятельствами военного времени, характеризовался критическим недофинансированием и масштабным разрушением объектов капитального строительства, включая жилищный фонд. После окончания Великой Отечественной войны приоритет был отдан восстановлению производственных основных фондов, что обусловило второстепенное внимание к жилищному фонду.

Доминирующим типом эксплуатации в данный период была корректирующая эксплуатация, базирующаяся на реакционном методе. Это подразумевало, что меры по технической эксплуатации предпринимались только в ответ на отказы в работе элементов и сводились к их аварийному ремонту или замене. При этом инициатива по выявлению необходимости таких действий исходила от пользователей недвижимости, а не от профессиональных эксплуатационных служб. Корректирующая техническая эксплуатация, будучи преобладающим подходом, демонстрировала свою неэффективность (см. п. 1.1).

Из сопоставления графиков (Рисунок 6) видно, что объекты, введенные в эксплуатацию до 1960-х годов, то есть до начала массового типового жилищного строительства, характеризуются высоким уровнем физического износа. По оценкам эксплуатирующих организаций, износ таких зданий превышает 40%.

Следующий этап формирования жилищного фонда, охватывающий период с 1957 по 1990 годы, связан с принятием Постановления № 1871 ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 4 ноября 1955 года «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве». Этот этап начался с введения в действие Постановления от 31 июля 1957 года № 931 «О развитии жилищного строительства в СССР» (утратило силу на территории Российской Федерации 21 февраля 2020 года на основании Постановления Правительства Российской Федерации от 3 февраля 2020 года № 80) и сопровождался бурным ростом массового жилищного строительства (Рисунок 6).

С конца 1950-х до конца 1980-х годов объем жилищного фонда увеличился в несколько раз. В результате к концу 1980-х годов объективно возникла необходимость регламентации процессов восстановления жилищного фонда путем проведения периодических текущих и капитальных ремонтов. В период с 1985 по 1990 годы была разработана и внедрена нормативно-правовая база, регулирующая обследование, мониторинг, учет жилищного фонда, а также планирование, проектирование, организацию капитального ремонта и контроль качества ремонтных работ (ВСН 53-86(р), ВСН 57-88(р), ВСН 58-88(р), ВСН 55-87(р), ВСН 61-89(р), ВСН 41-85, ВСН 42-85(р) и другие (Рисунок 5).

Основой планирования и инициирования работ по проведению ремонтов в этот период стали сроки службы конструктивных элементов и инженерного оборудования, заложенные в концепцию планово-профилактической эксплуатации в рамках комплексного массового капитального ремонта. Следует отметить, что подобный механизм планирования и организации строительно-монтажных работ (СМР) был возможен благодаря плановому распределению капитальных вложений из единого источника финансирования и наличию единого технического заказчика работ, которым в этот период выступало государство как единственный собственник объектов капитального строительства.

Исследования демонстрируют, что централизованный подход к распределению ресурсов, базирующийся на принципах планово-профилактической эксплуатации, характеризуется чрезмерной затратностью. Данный метод не учитывает реальное техническое состояние объектов капитального строительства, что приводит к преждевременной замене или ремонту элементов, сохраняющих значительный остаточный ресурс. Более того, такой подход не способен предотвратить аварийные ситуации, поскольку не предусматривает оценку динамики изменения технического состояния в условиях ненормативной эксплуатации.

Начиная с 1990 года, в России начался переход от плановой к рыночной экономике, что повлекло за собой изменения в правовом статусе участников гражданского оборота. Закон РФ «О приватизации жилищного фонда в Российской Федерации» от 04.07.1991 № 1541-1 заложил правовые, социальные и экономические

основы для преобразования отношений собственности на жилье. Период с 1990 по 2003 годы отличался резким сокращением инвестиционной активности в области жилищного строительства. Приватизация государственного и муниципального жилищного фонда, проводимая в условиях отсутствия адекватного нормативно-правового регулирования управления жильем, институтов «ответственного собственника», а также механизмов финансирования текущего и капитального ремонтов, привела к существенному ухудшению технического состояния многоквартирных домов. При планировании и организации текущих и капитальных ремонтов продолжали применяться нормативно-правовые акты (НПА) предыдущего периода, при этом новые нормы не разрабатывались. Фактически в этот период доминировал метод корректирующей эксплуатации, описанный ранее.

В 1997 году был принят Указ Президента РФ № 425 от 28 апреля 1997 года «О реформе жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации», направленный на обеспечение условий проживания, соответствующих стандартам качества. Тем не менее, полноценное нормативно-правовое регулирование процессов управления и эксплуатации жилищного фонда начало формироваться лишь с введением Жилищного кодекса РФ от 29.12.2004 № 188-ФЗ. Данный кодекс закрепил:

- права и обязанности собственников жилых помещений, а также лиц, проживающих в этих помещениях;
- механизмы управления многоквартирными домами;
- принципы организации и проведения капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах.

В условиях современной рыночной экономики использование планово-профилактического метода планирования и организации капитального и текущего ремонта становится практически неосуществимым по следующим причинам:

1. Отсутствие единого субъекта, принимающего решения. Более 70% жилищного фонда находится в частной собственности, а общее имущество многоквартирного дома (МКД) принадлежит собственникам помещений в соответствии с их долей, определяемой пропорционально площади принадлежащих им

помещений к общей площади дома. Решения, касающиеся общего имущества МКД, принимаются исключительно на общих собраниях собственников.

2. Ограниченность финансовых ресурсов. Средства для капитального ремонта формируются за счет взносов собственников и аккумулируются на счете регионального оператора или специальном счете дома. Однако объем этих средств, как правило, недостаточен для выполнения полного комплекса необходимых работ. Зачастую их не хватает даже на отдельные виды работ, что создает конкуренцию между различными планами и приоритетами ремонтных мероприятий.

В сложившихся условиях основой для планирования реализации программ капитального ремонта должно стать техническое состояние отдельных конструктивных элементов и инженерных систем объекта, оцениваемое в ходе периодических плановых и внеплановых осмотров. Такой подход соответствует концепции рассредоточенного комплексного (поэлементного) планово-предупредительного ремонта.

Система процессов капитального ремонта жилищного фонда была разработана на основе комплексного анализа нормативно-правовой и технической документации, что позволило сформировать четкую структурную схему. Данная система включает в себя последовательное выполнение ключевых процессов (Рисунок 7):

1) Учет (инвентаризация): Документы, регулирующие учет жилищного фонда и его техническое состояние.

2) Оценка технического состояния: Документы, связанные с оценкой технического состояния зданий, включая обследование, выявление дефектов и разработку рекомендаций.

3) Планирование: Документы, определяющие порядок планирования капитального ремонта, включая разработку планов и смет.

4) Проектирование: Документы, устанавливающие нормы и правила проектирования капитального ремонта.

5) Организация: Документы, связанные с организацией процессов капитального ремонта.

6) Контроль: Документы, регулирующие контроль за качеством выполнения работ и соблюдением нормативов.



Рисунок 7 – Подпроцессы капитального ремонта жилищного фонда

Организационно-технологическое проектирование капитального ремонта до 1991 года осуществлялось в рамках плановой экономики, где все процессы регулировались централизованно единым субъектом управления, принимающим решения. К концу 1980-х годов была сформирована система взаимосвязанных нормативно-технических документов, регламентирующих последовательность выполнения взаимозависимых процессов капитального ремонта (Рисунок 8). Однако в условиях современной рыночной экономики, специфика которой описана выше, система капитального ремонта претерпела значительные изменения. С момента ее формирования было введено в действие множество нормативно-правовых и технических документов, регулирующих права и обязанности участников процесса, а также устанавливающих нормы, стандарты и регламенты. Это привело к усложнению системы, что не позволяет четко очертить ее контуры и требует постоянной актуализации и адаптации.



Рисунок 8 – Система процессов организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда

В таблице (Таблица 5) представлена совокупность нормативно-правовых документов и технических регламентов, регулирующих подпроцессы капитального ремонта. Документы систематизированы по двум временным периодам их возникновения: советский период (до 1991 года) и современный этап (развитие ЖКХ в России). Таблица наглядно демонстрирует эволюцию нормативной базы, отражая изменения в подходах к организации капитального ремонта на разных этапах развития жилищно-коммунального хозяйства.

Анализ нормативной базы указывает на то, что в настоящее время количество регулирующих документов в сфере капитального ремонта постоянно увеличивается. При этом наблюдается значительное дублирование положений в различных актах, что создает избыточность и усложняет их применение. Несмотря на активное развитие законодательства, до сих пор сохраняют свою актуальность и продолжают использоваться нормативные документы советского периода, такие как Ведомственные строительные нормы (ВСН), которые регулируют отдельные аспекты оценки технического состояния, проектирования и организации ремонтных работ.

Таблица 5 – Регулирование процессов капитального ремонта: нормативно-правовые акты, технические регламенты

Процессы капитального ремонта	Нормативно-правовые акты	Технические документы в строительстве	Дополнительные документы (ВСН)
Учет (инвентаризация)	- Статья 19 Жилищного кодекса РФ. - Приказ Минземстроя РФ от 04.08.1998 N 37. - Постановление Правительства РФ от 13.10.1997 N 1301. - Письмо Минстроя РФ от 20.08.2024 N 47894-АФ/04.	-	- Оценка текущего состояния здания (ВСН 53-86(р)).
Оценка технического состояния	- Постановление Госстроя РФ от 27.09.2003 N 170. - Постановление Правительства РФ от 03.04.2013 N 290.	- СП 255.1325800.2016. - СП 372.1325800.2018. - ГОСТ 31937-2024. - СП 13-102-2003. - СП 454.1325800.2019. - Методические рекомендации по оценке целесообразности проведения обследования технического состояния многоквартирного дома для признания его аварийным.	- Техническое обследование для выявления дефектов (ВСН 53-86(р), ВСН 57-88(р)).
Планирование	- Закон Архангельской области от 02.07.2013 N 701-41-ОЗ. - Жилищный кодекс РФ, Глава 15. - Постановление Правительства Архангельской области от 29.08.2017 N 349-пп.	-	- Организация и подготовка к проведению работ (ВСН 58-88(р), ВСН 41-85(р)).
Проектирование	-	- СП 368.1325800.2017. - МДС 13-1.99.	- Разработка проектной документации (ВСН 61-89(р), ВСН 55-87(р) не действует).
Организация	- Закон Архангельской области от 02.07.2013 N 701-41-ОЗ. - Жилищный кодекс РФ, Глава 15. - Постановление Правительства Архангельской области от 29.08.2017 N 349-пп. - ГОСТ Р 56193-2024.	-	- Реализация запланированных работ (ВСН 58-88(р), ВСН 41-85(р)).

Продолжение таблицы 5

Процессы капитального ремонта	Нормативно-правовые акты	Технические документы в строительстве	Дополнительные документы (ВСН)
Контроль	- Жилищный кодекс РФ, Глава 15. - Постановление Правительства РФ от 28.09.2022 N 1702. - Письмо Минстроя РФ от 06.07.2023 N 18386-ОГ/00.	- ГОСТ Р 56193-2024.	- Приемка и проверка качества выполненных работ (ВСН 42-85(р)).

Пояснение:

Нормативно-правовые акты: Документы, имеющие юридическую силу и устанавливающие обязательные требования (законы, постановления, приказы, письма).

Технические документы в строительстве: Документы, содержащие технические нормы, правила и рекомендации (СП, ГОСТ, методические рекомендации).

Дополнительные документы (ВСН): Устаревшие, но все еще используемые нормативные документы, регулирующие отдельные аспекты капитального ремонта.

Одной из ключевых проблем является отсутствие современных технических регламентов, которые бы детально регулировали процессы планирования и организации капитального ремонта. Существующие документы зачастую носят общий характер и не учитывают современных технологий, материалов и методов строительства. В частности, недостаточно проработаны вопросы предупредительного (прогностического) метода планирования капитального ремонта

Таким образом, анализ нормативно-правовых документов и региональных программ капитального ремонта выявил, что планирование до сих пор опирается на нормативно-правовую базу советского периода (Таблица 5). В частности, используются нормативные документы конца 1980-х годов или их незначительно модернизированные версии. Кроме того, наблюдается существенное расхождение между нормативами, разработанными в строительной отрасли, и теми, которые применяются специалистами в сфере управления жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ).

Открытым остается вопрос применения существующей нормативно-технической базы для эффективного планирования комплексного поэтапного капитального ремонта в рамках реализации массовых региональных программ, основанный на данных поэтапного мониторинга технического состояния зданий.

Исследование регламентов технического обследования жилищного фонда советского и современного периодов позволило выявить, что в настоящее время основным документом, регулирующим данную сферу, является нормативно-правовой акт, а не технический документ в строительстве. Несмотря на то, что ВСН 57-88(р) продолжает оставаться действующим документом, в соответствии с Постановлением Правительства Архангельской области № 349-пп, из перечня работ по техническому обслуживанию исключено сплошное техническое обследование жилищного фонда, выполняемое в соответствии с ВСН 57-88(р) силами специалистов жилищно-эксплуатационных организаций (Рисунок 9).

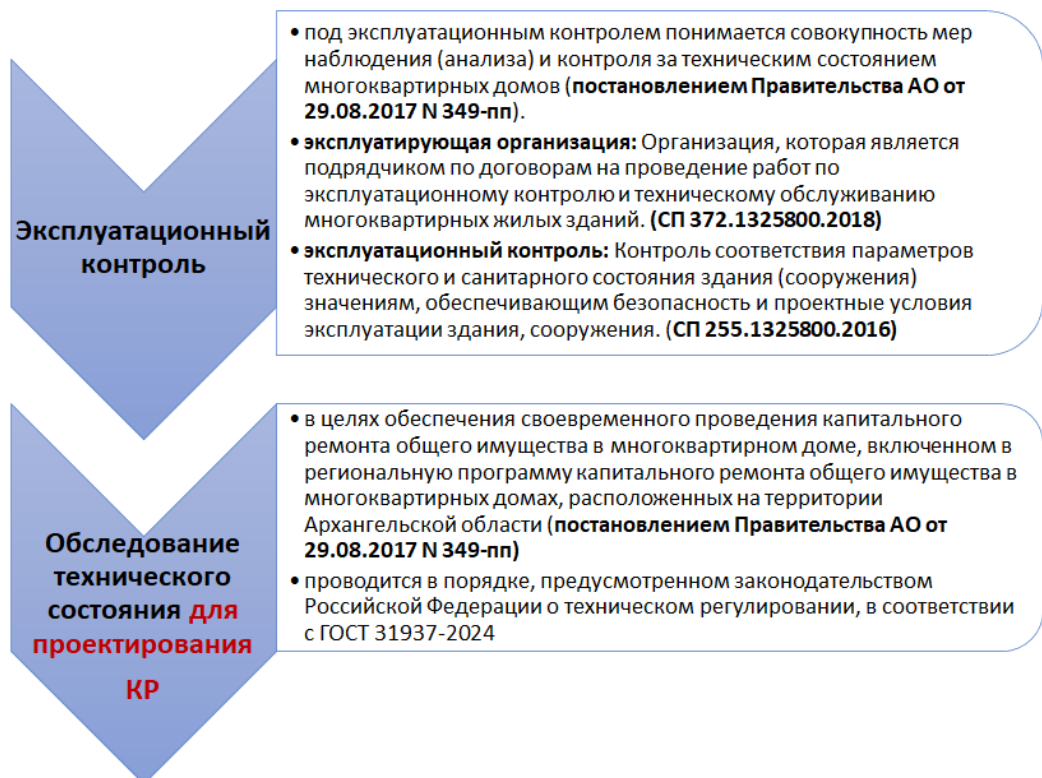
Данное исключение может быть объяснено тем, что сплошное техническое обследование жилищного фонда традиционно являлось элементом планово-профилактического типа эксплуатации, при котором ремонтные работы осуществляются по единому графику и стандартам для всех объектов, независимо от их текущего технического состояния (см. Таблица 4). Однако при переходе к предупредительному методу эксплуатации, основанному на прогнозировании и своевременном устранении потенциальных дефектов, сплошное техническое обследование жилищного фонда становится труднореализуемым ввиду его высокой ресурсоемкости, отсутствия гибкости и недостаточной адаптации к индивидуальным особенностям каждого объекта.

ВСН 57-88(р). Положение по техническому обследованию жилых зданий



а)

Постановление Правительства АО от 29.08.2017 N 349-пп



б)

Рисунок 9 – Регламенты работ по техническому обследованию: а) согласно ВСН 57-88(р); б) согласно постановлению правительства АО №349-пр

Тем не менее, проведенный анализ способов реализации региональных программ капитального ремонта демонстрирует, что основой для внедрения предупредительного комплексного (поэлементного) организационно-технологического подхода к капитальному ремонту жилищного фонда является именно сплошное поэлементное техническое обследование многоквартирных домов. Такой подход позволяет не только оценить текущее состояние каждого конструктивного элемента здания, но и спрогнозировать его износ, что является необходимым условием для своевременного планирования и выполнения ремонтных работ в рамках предупредительной эксплуатации.

Таким образом, несмотря на исключение сплошного технического обследования из перечня обязательных работ, его значимость для реализации предупредительного метода остается неоспоримой. Это актуализирует необходимость пересмотра существующих подходов к организации технического обследования, а также разработки современных методик, адаптированных к условиям предупредительной эксплуатации [173].

Реализация предупредительного капитального ремонта в рамках массовых программ капитального ремонта жилищного фонда требует детального анализа возможности использования существующих нормативно-технических документов для оценки технического состояния. Цель такого анализа – определить, могут ли эти документы обеспечить выявление дефектов строительных элементов и формирование комплексной (поэлементной) программы для каждого здания в рамках всего жилищного фонда. Это необходимо для осуществления организационно-технологического проектирования, которое позволит четко определить виды и объемы ремонтных работ, установить их приоритетность и, как следствие, реализовать планирование в рамках предупредительного подхода. Для достижения этой цели проведем анализ и сопоставление документов, регулирующих оценку технического состояния, планирование, проектирование и организацию капитального ремонта.

Прежде всего, следует отметить, что техническое обследование регламентируется значительным количеством документов (Таблица 5). Однако практика показывает, что для реализации этого процесса до сих пор широко используются

документы советского периода, в то время как планирование и организация капитального ремонта в современных условиях регулируются преимущественно нормативно-правовыми актами.

Существует два основных метода оценки физического износа зданий:

1. Детальное обследование – включает визуальный осмотр (выявление дефектов), анализ архивных данных и инструментальные неразрушающие испытания конструкций [ГОСТ 31937-2024; СП 454.1325800.2019].

2. Укрупнённая оценка – основана на приблизительных данных, таких как стандартные шкалы износа [ВСН 53-86(р)] или справочные показатели [ВСН 58-88(р)] для отдельных элементов.

Второй наиболее применим для целей массового мониторинга состояния, но метод не обеспечивает высокой точности, что затрудняет расчёт стоимостного выражения износа.

Исследование документов, регулирующих оценку технического состояния, позволило выявить, что наиболее пригодными для сплошного обследования и планирования массового капитального ремонта являются ВСН 53-86(р) и ВСН 58-88(р) (Рисунок 10). Важно подчеркнуть, что эти документы относятся к советскому периоду и ориентированы на планово-профилактический тип эксплуатации.

Нормативный документ	Описание метода	Трудоёмкость 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	Высокая
ВСН 53-86 р	Фактическое на основании осмотра по признакам износа. Определяет износ в % стоимости работ к стоимости конструкции	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
СП 454.1325800.2019.	Признаки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния	Средняя	Средняя	Средняя	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	Низкая
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	Низкая. Только для проектов отдельных зданий

Рисунок 10 – Методы оценки технического состояния для проектирования капитального ремонта жилищного фонда

Основным недостатком регламентного метода является то, что ВСН 58-88(р) базируется на установленных межремонтных сроках, то есть практически не учитывает текущее техническое состояние, а опирается на статистически наиболее вероятный срок наступления критических дефектов.

ВСН 53-86(р) более приближен к поэлементному сплошному обследованию. Физический износ выражается отношением стоимости необходимых ремонтных работ к восстановительной стоимости элемента или здания. Этот подход помогает оценить затраты на восстановление, но, как показывают исследования [94, 169, 182], реальная стоимость ремонта может существенно отклоняться от расчетного износа из-за типа работ (текущий/капитальный ремонт) и степени износа на момент восстановления. Однако оценка технического состояния согласно нормам ВСН 53-86р не подразумевает формирования ведомости объемов работ. Вместо этого она основывается на среднестатистических данных о стоимости восстановительного ремонта, выраженных в процентах от стоимости строительства элемента, и ограниченных, усредненных признаках дефектов.

Наиболее полный перечень дефектов представлен в Постановлении Госстроя РФ №170. Однако данный документ предназначен для проведения индивидуального осмотра отдельных объектов с целью оперативного, а не стратегического планирования технического обслуживания. Использование этого документа для сплошного обследования жилищного фонда является крайне трудозатратным. Кроме того, сформулированные в свободной форме дефектные акты не позволяют создать базу для сплошного мониторинга и осуществить массовое планирование капитального ремонта жилищного фонда.

Современные документы технического нормирования, такие как СП 454.1325800.2019 и ГОСТ 31937-2024, направлены на полное исследование строительных элементов и могут служить основой для организационно-технологического проектирования (определения видов и объемов работ). Однако они применимы только в рамках индивидуальной программы технического обследования для каждого объекта. Эти документы не предоставляют количественной оценки

технического состояния, которую можно было бы использовать для массового планирования капитального ремонта.

Таким образом, ни один из методов и способов оценки технического состояния, закрепленных в действующих документах, не позволяет осуществить организационно-технологическое проектирование в рамках массовых программ капитального ремонта. Основными документами, регулирующими планирование капитального ремонта, являются нормативно-правовые акты субъектов РФ. Анализ совокупности процессов планирования капитального ремонта (Таблица 6) показывает, что оценка технического состояния строительных элементов осуществляется достаточно условно, на основе ВСН 53-86(р) и общих критериев мониторинга. Следовательно, организационно-технологическое проектирование не включено в систему капитального ремонта жилищного фонда, что делает невозможным реализацию предупредительного метода в рамках текущей методологии формирования программ капитального ремонта.

Таблица 6 – Последовательность капитального ремонта МКД

Этап	Действия	Ответственные
1. Критерии включения МКД	- Оценка МКД по критериям: - Износ дома и конструктивных элементов. - Год ввода в эксплуатацию. - Дата последнего капремонта. - Финансовая дисциплина собственников.	Уполномоченный орган, региональный оператор
2. Мониторинг состояния МКД	- Сбор данных о техническом состоянии МКД. - Проведение обследования технического состояния. - Анализ динамики изменений состояния.	Государственная жилищная инспекция, органы местного самоуправления
4. Определение очередности	- Расчет итогового балла по каждому МКД. - Формирование рейтинга МКД для включения в программу. - Учет результатов обследования при определении сроков ремонта.	Региональный оператор, уполномоченный орган
5. Финансирование ремонта	- Расчет минимального размера взноса на капремонт. - Определение перечня работ и услуг, финансируемых за счет средств фонда капремонта. - Распределение средств по МКД.	Уполномоченный орган, региональный оператор
8. Исключение МКД из программы	- Исключение МКД, признанных аварийными. - Исключение МКД, подлежащих сносу или реконструкции. - Исключение МКД на закрываемых территориях.	Региональный оператор, органы местного самоуправления

Для реализации предупредительного подхода необходима разработка новых методик и методов, которые позволят проводить сплошное поэлементное обследование, формировать базы данных для мониторинга и осуществлять массовое комплексное планирование на основе поэлементной количественной оценки технического состояния. Только в этом случае станет возможным переход от реактивного к предупредительному типу эксплуатации жилищного фонда, что позволит повысить эффективность использования ресурсов, минимизировать затраты на ремонт.

1.3 Анализ технического состояния и системы капитального ремонта жилищного фонда в России и Архангельской области

Базовыми элементами организационно-технологического проектирования при капитальном ремонте являются технико-экономические показатели зданий и бюджетные ограничения, учитываемые на этапе эксплуатации объектов. Реализация программ капитального ремонта жилищного фонда основывается на комплексном анализе технического состояния зданий, включая оценку их физического износа, конструктивных особенностей и функционального назначения.

Жилищный фонд Российской Федерации характеризуется неоднородной структурой, которая варьируется в зависимости от субъекта. Это проявляется в различиях технических характеристик зданий, а также в плотности застройки, которая определяется количеством жилищного фонда на территории.

Согласно данным интерактивной карты «Анализ технического состояния многоквартирных домов», размещенной на портале государственной информационной системы жилищно-коммунального хозяйства (ГИС ЖКХ) (Рисунок 11), большая часть субъектов Российской Федерации имеет жилищный фонд с уровнем износа более 35%. Такой уровень износа соответствует удовлетворительному или условно-пригодному техническому состоянию зданий. Это свидетельствует о значительной степени физического старения жилищного фонда и необходимости проведения масштабных работ по его восстановлению.

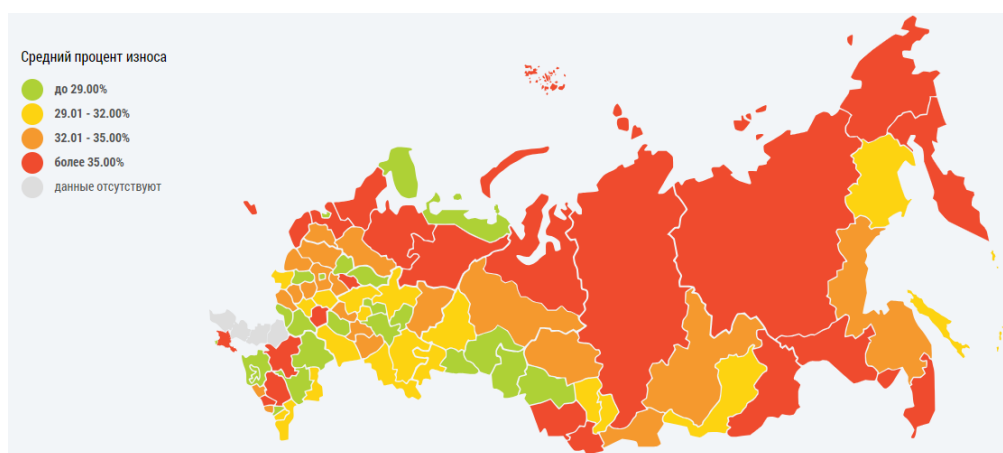


Рисунок 11 – Анализ технического состояния многоквартирных домов

На основании анализа интерактивного графика, отражающего средний процент износа многоквартирных домов (МКД) в зависимости от года их ввода в эксплуатацию, можно сделать вывод, что износ, превышающий 35%, характерен для объектов, построенных до 1970-х годов. Это свидетельствует о значительном физическом старении жилищного фонда, возведенного в середине XX века и ранее. (Рисунок 12).

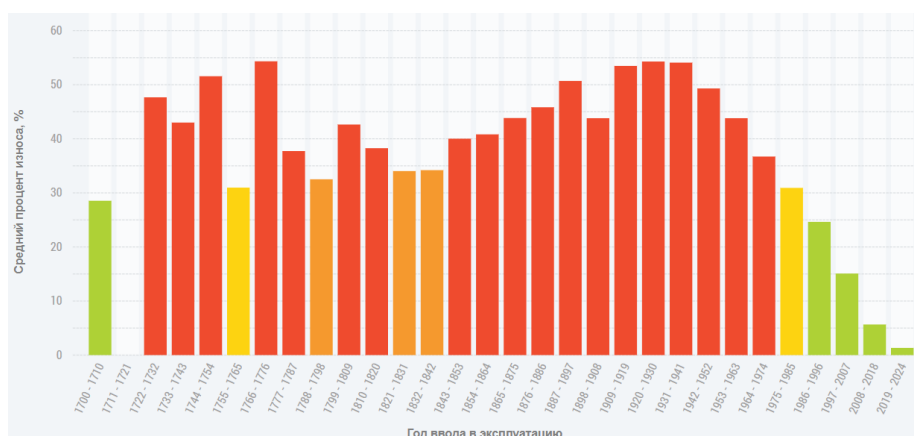


Рисунок 12 – Средний процент износа МКД по году ввода в эксплуатацию

Следует отметить, что средний износ жилищного фонда рассчитан как среднеарифметическое значение: суммарный процент физического износа зданий, отнесенный к общему количеству многоквартирных домов (МКД), зарегистрированных в системе. При этом анализ графика распределения жилищного фонда по территории РФ (Рисунок 13) позволяет сделать вывод о том, что многоквартирные дома с высоким уровнем физического износа сконцентрированы преимущественно в регионах с низкой плотностью застройки.



Рисунок 13 – Территориальная структура жилищного фонда РФ

Средний уровень урбанизации территорий, который может быть косвенно оценен через соотношение количества многоквартирных домов к индивидуальным жилым домам (включая объекты индивидуально-определенной и блокированной застройки), варьируется в зависимости от региона. В среднем по стране это соотношение составляет 2:1. Наиболее высокая степень урбанизации наблюдается в Северо-Западном федеральном округе, где соотношение достигает 4,6:1. Это свидетельствует о том, что в структуре жилищного фонда данного округа преобладают многоквартирные жилые дома. В то же время, только в двух федеральных округах – Южном и Северо-Кавказском – доминируют индивидуальные жилые дома. В Южном федеральном округе соотношение составляет 0,8:1, а в Северо-Кавказском – 0,4:1, что указывает на более низкий уровень урбанизации и преобладание малоэтажной застройки в этих регионах.

Анализ конструктивных характеристик зданий также выявил региональные особенности жилищного фонда (Рисунок 14). Преобладают жилые дома с корпусными и панельными стенами. Значительный объем деревянного жилищного фонда характерен для федеральных округов с низкой плотностью застройки и высокой долей индивидуального жилья.

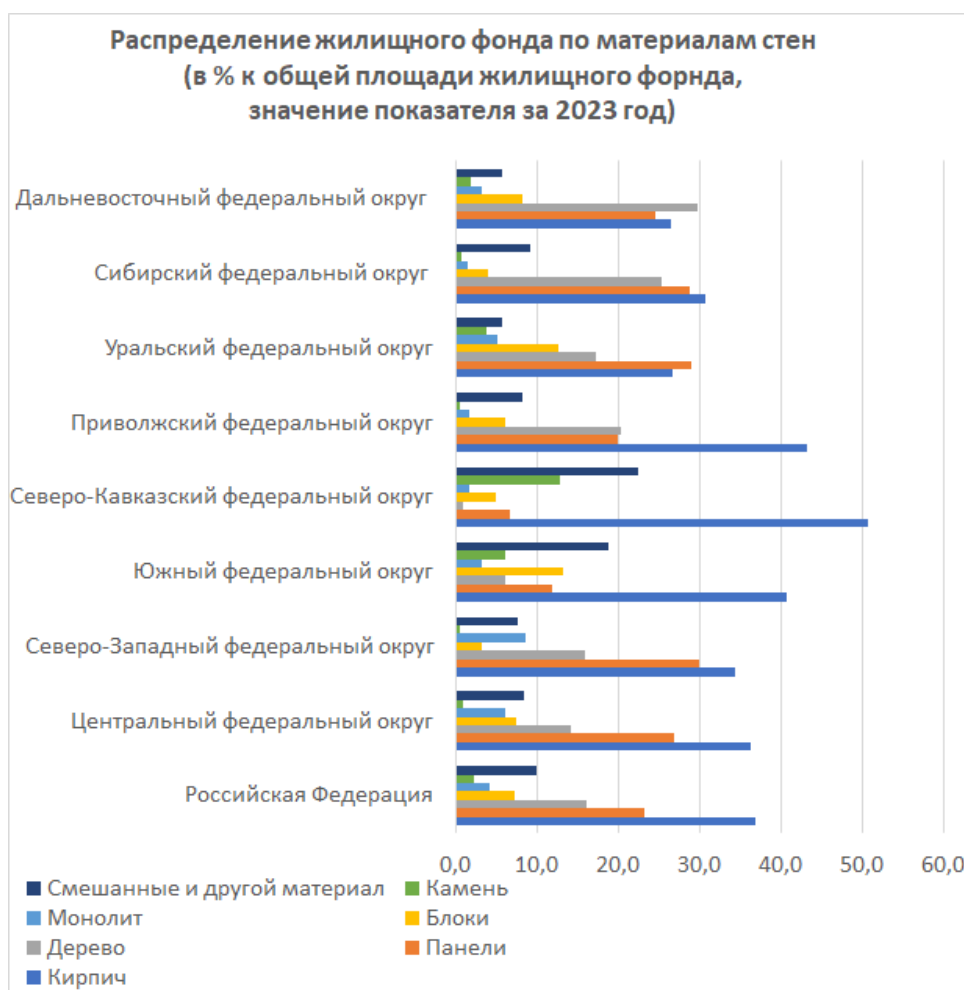


Рисунок 14 – Распределение жилищного фонда по материалам стен (значение показателя за 2023 год)

На интерактивных картах представлены данные о количестве и динамике изменения технического состояния групп жилищного фонда, введенного в эксплуатацию в эти периоды (Рисунок 15). Эти карты позволяют наглядно оценить распределение и степень износа объектов жилищного фонда в зависимости от времени их строительства, а также выявить региональные особенности их технического состояния.

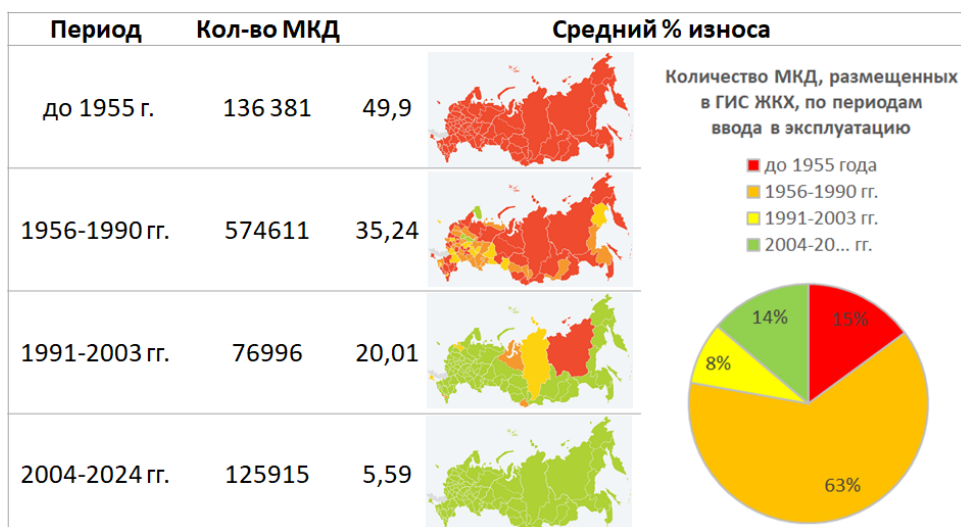


Рисунок 15 – Анализ технического состояния жилищного фонда в зависимости от года ввода объекта в эксплуатацию и региона

Таким образом, значительная часть существующего жилищного фонда представлена многоквартирными домами, уровень физического износа которых варьируется в пределах 20–40%. Эти объекты относятся к периоду массовой типовой застройки 1956–1990 годов, характерной для советской градостроительной политики. Согласно Приказу Министерства коммунального хозяйства РСФСР от 27 октября 1970 г. N 404 (Рисунок 16), указанный уровень износа соответствует удовлетворительному техническому состоянию и свидетельствует о необходимости проведения капитального ремонта.

Ориентировочная стоимость капитального ремонта на данном этапе эксплуатации составляет от 12 до 36% от восстановительной стоимости здания, что делает его проведение экономически целесообразным. На более ранних стадиях эксплуатации капитальный ремонт может быть оправдан только для отдельных конструктивных элементов здания при выявлении у них недопустимых дефектов или нарушений нормативных требований. При этом переход объекта в неудовлетворительное техническое состояние (износ более 40%) приводит к резкому увеличению затрат на капитальный ремонт, что подчеркивает важность своевременного проведения ремонтных мероприятий.

Физ. износ	Тех. Состояние	Общая характеристика технического состояния	Примерная стоимость кап. ремонта, % от восст. стоимости
0-20	Хорошее	Повреждений и деформаций нет. Имеются отдельные, устраняемые при текущем ремонте, мелкие дефекты, не влияющие на эксплуатацию конструктивного элемента. Капитальный ремонт может производиться лишь на отдельных участках, имеющих относительно повышенный износ.	0-11
21-40	Удовлетворительное	Конструктивные элементы в целом пригодны для эксплуатации, но требуют некоторого капитального ремонта, который наиболее целесообразен именно на данной стадии.	12-36
41-60	Неудовлетворительное	Эксплуатация конструктивных элементов возможна лишь при условии значительного капитального ремонта.	38-90

Рисунок 16 – Выкопировка из Приказа Министерства коммунального хозяйства РСФСР от 27 октября 1970 г. N 404 «Об утверждении методики определения физического износа гражданских зданий»

Сведения о техническом состоянии жилищного фонда Архангельской области согласно данных ГИС ЖКХ представлено на выкопировке с сайта (Рисунок 17). Укрупненное структурирование жилищного фонда Архангельской области показало, что соотношение площади многоквартирных домов к площади индивидуального жилищного фонда составляет 2,8:1. Высокий уровень урбанизации наблюдается только в областном центре г. Архангельск и районных центрах области (Рисунок 18).

АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ

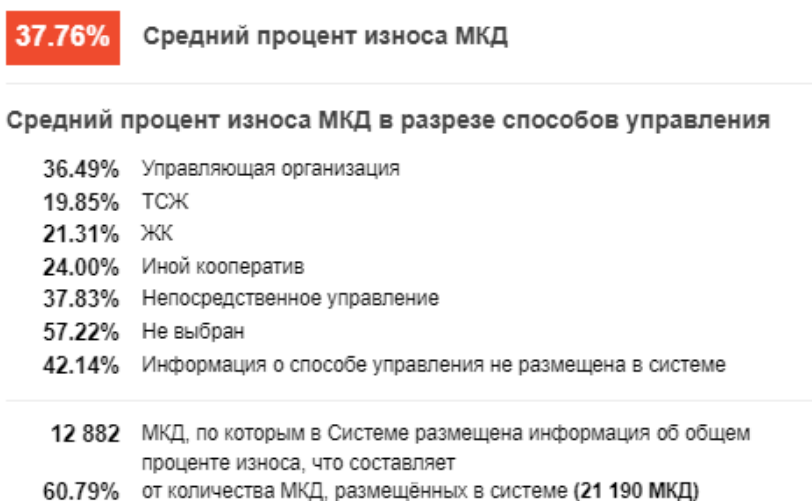


Рисунок 17 – Анализ технического состояния многоквартирных домов Архангельской области

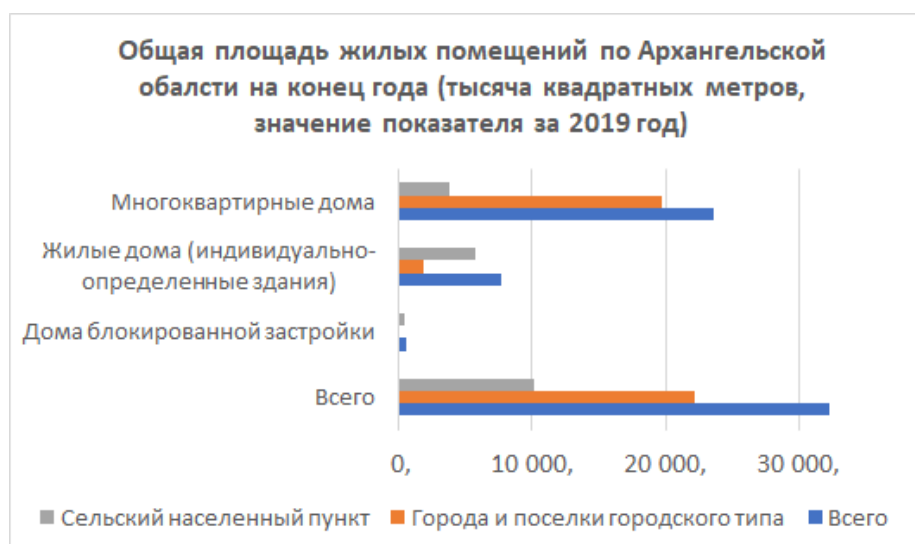


Рисунок 18 – Общая площадь жилых помещений на конец года по Архангельской области (тысяча квадратных метров, значение показателя за 2019 год)

Распределение жилищного фонда по материалам стен показывает, что в Архангельской области преобладают деревянные дома, тогда как в областном центре наибольшее количество пыльных и кирпичных домов (Рисунок 19). Это свидетельствует о том, что большая часть деревянного жилищного фонда, расположенных в Архангельской области являются индивидуальными жилыми домами и не включены в региональные программы капитального ремонта.

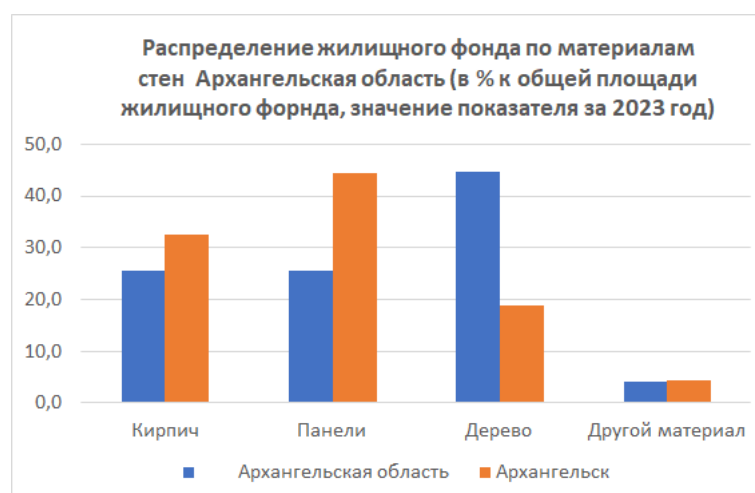


Рисунок 19 – Распределение жилищного фонда по материалам стен Архангельская область (значение показателя за 2023 год)

Характеристики жилищного фонда г. Архангельска представлены на графике (Рисунок 20). Основу жилищного фонда города составляют многоквартирные жилые дома, преимущественно панельные и кирпичные, построенные в период с 1960 по 1996 год. Согласно данным ГИС ЖКХ, предоставляемым управляющими

компаниями города, средний уровень физического износа жилищного фонда данного периода постройки варьируется в пределах 20–40%. Эти показатели соответствуют средним значениям по России, что свидетельствует о типичности ситуации для жилищного фонда страны.

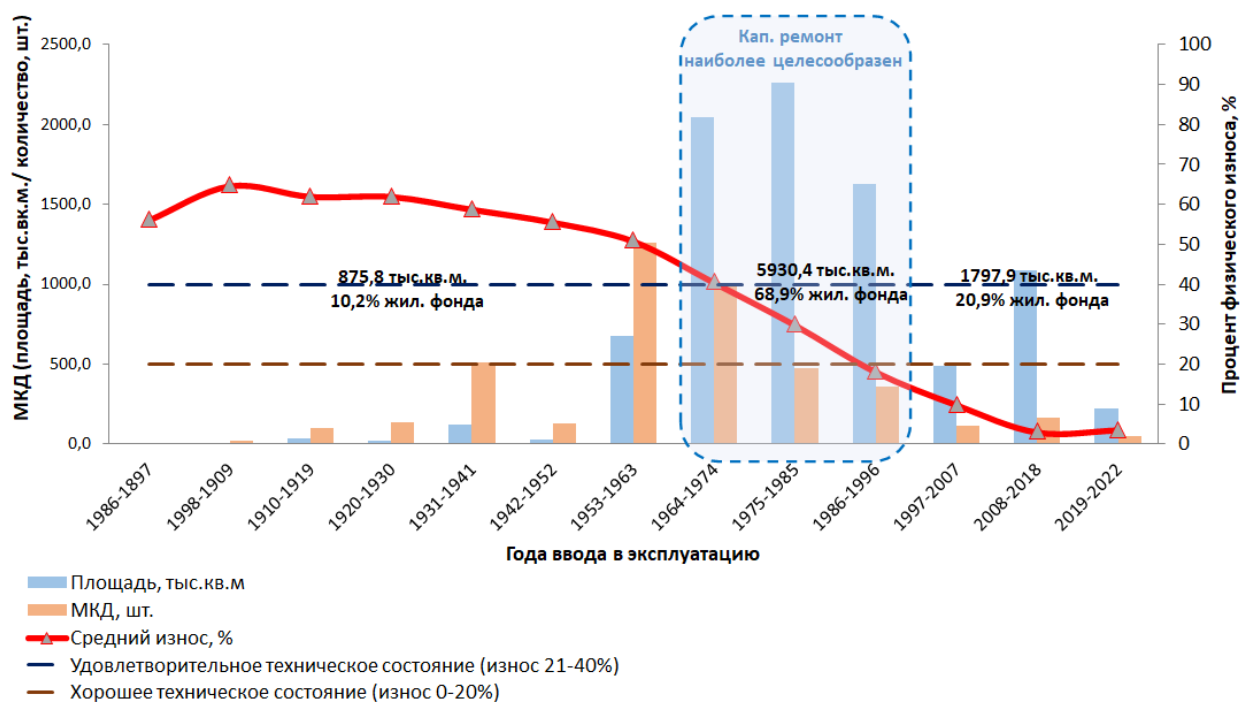


Рисунок 20 – Анализ технического состояния многоквартирных домов в г. Архангельск

Как было отмечено ранее, в соответствии с Приказом Министерства коммунального хозяйства РСФСР от 27 октября 1970 г. № 404, проведение капитального ремонта для данной группы домов является экономически целесообразным именно на текущем этапе. Уровень износа многоквартирных домов соответствует удовлетворительному техническому состоянию, при котором своевременное выполнение ремонтных работ позволяет предотвратить дальнейшее ухудшение состояния зданий и избежать значительного увеличения затрат в будущем.

Таким образом, для обеспечения долговечности и безопасности эксплуатации жилищного фонда необходимо активизировать реализацию программ капитального ремонта, ориентируясь на характеристики технического состояния зданий, региональные условия формирования и режимы эксплуатации жилья, и оптимизацию затрат.

1.4 Организация и инвестиционно-строительное планирование капитального ремонта жилищного фонда

Основой формирования современной системы капитального ремонта стало введение в действие в 2014 году Федерального закона № 271-ФЗ, который внес изменения в Жилищный кодекс Российской Федерации. В соответствии с этим законом в Жилищный кодекс был добавлен Раздел IX, регулирующий вопросы планирования, финансирования и реализации капитального ремонта.

Согласно ст. 167 и ст. 168 ЖК РФ, функции по планированию, организации и контролю за проведением капитального ремонта были переданы на уровень субъектов Российской Федерации. Это означает, что региональные власти получили полномочия разрабатывать и утверждать региональные программы капитального ремонта, а также регулировать данный процесс через подзаконные нормативные акты. Основные аспекты региональной программы капитального ремонта и функции субъектов системы капитального ремонта жилищного фонда и представлены в Таблица 7 и Таблица 8, а также на организационной схеме региональной системы капитального ремонта (Рисунок 21)

Таблица 7 – Основные аспекты региональной программы капитального ремонта

Аспект	Описание
Сроки проведения	Устанавливаются предельные сроки для проведения капитального ремонта.
Перечень домов	Включает все многоквартирные дома, кроме аварийных и подлежащих сносу.
Виды работ	Определяются перечни услуг и работ по капитальному ремонту.
Финансирование	Формируется за счет взносов собственников и государственной поддержки.
Контроль	Осуществляется за целевым использованием средств и качеством работ.

Таблица 8 – Функции субъектов системы капитального ремонта жилищного фонда

Субъект	Функции и полномочия	Нормативные акты и регулирование	Примечания
Федеральные органы власти	1. Устанавливают общие требования к капитальному ремонту. 2. Утверждают методические рекомендации для регионов. 3. Контролируют исполнение законодательства в сфере ЖКХ.	Федеральные законы, постановления Правительства РФ.	Координируют деятельность регионов в рамках единой государственной политики.
Органы государственной власти субъекта РФ	1. Устанавливают минимальный размер взноса на капитальный ремонт. 2. Определяют порядок эксплуатационного контроля за техническим состоянием многоквартирных домов. 3. Устанавливают порядок обследования технического состояния домов и учета результатов при формировании региональной программы. 4. Создают регионального оператора, утверждают его учредительные документы и порядок деятельности. 5. Утверждают порядок предоставления государственной поддержки на капитальный ремонт. 6. Устанавливают порядок подготовки и утверждения региональной программы капитального ремонта. 7. Определяют порядок предоставления сведений владельцами специальных счетов и региональным оператором. 8. Устанавливают порядок выплаты средств фонда капитального ремонта и их использования. 9. Контролируют целевое расходование средств фонда капитального ремонта. 10. Информировать собственников и управляющие компании о содержании региональной программы и результатах обследования.	Нормативные правовые акты субъекта РФ, регулирующие капитальный ремонт.	Полномочия включают создание регионального оператора и контроль за его деятельностью.
Региональный оператор	1. Осуществляет планирование и организацию капитального ремонта. 2. Формирует фонд капитального ремонта. 3. Проводит закупки товаров и материалов для капитального ремонта. 4. Контролирует выполнение работ. 5. Предоставляет отчетность и сведения органам власти.	Учредительные документы и нормативные акты субъекта РФ.	Назначается на конкурсной основе, действует в рамках региональной программы.

Субъект	Функции и полномочия	Нормативные акты и регулирование	Примечания
Собственники помещений	1. Участвуют в принятии решений о капитальном ремонте. 2. Формируют фонд капитального ремонта через взносы. 3. Предоставляют сведения о состоянии дома. 4. Участвуют в общих собраниях по вопросам капитального ремонта.	Жилищный кодекс РФ, нормативные акты субъекта РФ.	Собственники могут инициировать изменения в программе капитального ремонта.
Управляющие компании	1. Осуществляют эксплуатационный контроль за техническим состоянием домов. 2. Предоставляют сведения о состоянии домов для региональной программы. 3. Участвуют в организации капитального ремонта.	Договоры управления многоквартирными домами, нормативные акты.	Управляющие компании взаимодействуют с региональным оператором и собственниками.

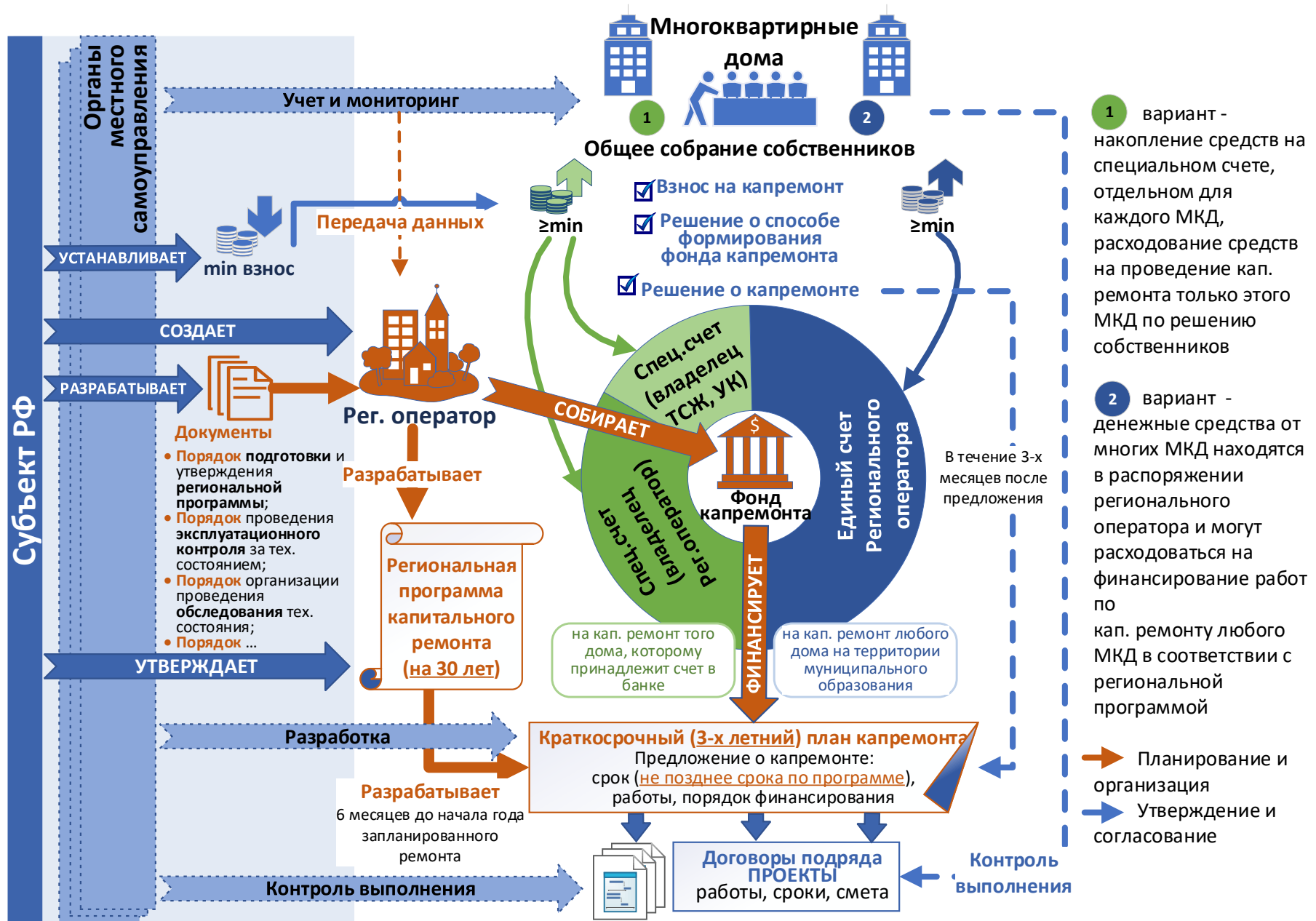


Рисунок 21 – Региональная система капитального ремонта РФ

Действующая система капитального ремонта включает следующие ключевые элементы:

- формирование региональных программ – определение перечня многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту, и установление сроков выполнения работ;
- создание фондов капитального ремонта – накопление средств, необходимых для финансирования ремонтных работ, через взносы собственников помещений в многоквартирных домах;
- организация проведения работ – выбор подрядных организаций, заключение договоров и контроль за выполнением работ;
- контроль качества – обеспечение соответствия выполненных работ нормативным требованиям и стандартам.

Таким образом, современная система капитального ремонта, основанная на Разделе IX ЖК РФ, направлена на централизованное управление процессом, что должно позволить оптимизировать расходы, повысить прозрачность и эффективность использования средств, а также обеспечить своевременное выполнение работ для сохранения и улучшения жилищного фонда.

Анализ системы капитального ремонта многоквартирных домов (МКД) (Таблица 9) позволяет выявить характерные особенности по России, федеральным округам и субъектам РФ.

Таблица 9 – Анализ реализации системы капитального ремонта в РФ

Категория	Характеристика	Примеры регионов/округов
Общие тенденции по России	67,62% МКД включены в программы капремонта.	-
	97,78% МКД выбрали способ формирования фонда.	-
	Основной способ формирования фонда – через регионального оператора (84,04%).	-
	32,38% МКД не включены в программы.	-
Федеральные округа		
Дальневосточный ФО	Низкий охват программ (52,32%).	-

Продолжение таблицы 9

Категория	Характеристика	Примеры регионов/округов
Приволжский ФО	Высокий охват программ (84,84%).	-
Северо-Западный ФО	Средний охват программ (68,23%).	-
Северо-Кавказский ФО	Высокий охват программ (76,01%).	-
Сибирский ФО	Средний охват программ (60,43%).	-
Уральский ФО	Высокий охват программ (81,65%).	-
Центральный ФО	Средний охват программ (61,92%).	-
Южный ФО	Низкий охват программ (49,39%).	-
Субъекты РФ		
Регионы с высоким охватом	Охват программ близок к 100%.	Татарстан (98,46%), Красноярский край (99,00%), Москва (83,62%).
Регионы с низким охватом	Программы капремонта отсутствуют или охват близок к 0%.	Белгородская область (0%), Кемеровская область (0%), Приморский край (0%).
Регионы с высокой долей через регионального оператора	Основной способ формирования фонда – через регионального оператора.	Ингушетия (100%), Чукотский АО (100%), Сахалинская область (99,26%).
Регионы с низкой долей через регионального оператора	Низкая доля формирования фонда через регионального оператора.	Костромская область (55,17%), Удмуртская Республика (49,32%), Новгородская область (74,84%).
Регионы с высокой долей через ТСЖ	Высокая доля формирования фонда через ТСЖ.	Костромская область (23,87%), Тульская область (19,58%), Пензенская область (17,58%).
Регионы с высокой долей через ЖК, ЖСК и кооперативы	Высокая доля формирования фонда через ЖК, ЖСК и иные кооперативы.	Нижегородская область (5,49%), Самарская область (5,27%), Краснодарский край (3,81%).
Регионы с проблемами информации	Высокая доля МКД, где информация о способе формирования фонда не размещена в системе.	Карелия (34,82%), Костромская область (18,29%), Удмуртская Республика (38,76%).

Примечания:

МКД – многоквартирные дома.

ТСЖ – товарищество собственников жилья.

ЖК, ЖСК – жилищные кооперативы.

УО – управляющие организации.

На основе анализа реализации программ капитального ремонта в РФ можно выделить следующие особенности систем капитального ремонта для субъектов РФ:

– **Региональные различия:** Наблюдается значительная разница в охвате программ капитального ремонта между регионами. В некоторых субъектах РФ (например, Татарстан, Красноярский край) охват близок к 100%, тогда как в других

(например, Белгородская область, Кемеровская область) программы капитального ремонта отсутствуют.

– *Доминирование регионального оператора:* В большинстве регионов основной способ формирования фонда капитального ремонта – через регионального оператора. Это свидетельствует о *преобладании централизованного управления финансированием*. Однако в некоторых субъектах РФ (например, Костромская область, Удмуртская Республика) значительная доля фондов формируется через ТСЖ. Это является показателем низкой активности регионального оператора.

– *Проблемы с информацией:* В ряде регионов (например, Карелия Республика, Костромская область) наблюдается высокая доля МКД, где информация о способе формирования фонда не размещена в системе (до 34,82% в Карелии).

Анализ данных сайта ГИС ЖКХ по Архангельской области выявил типичные для всех регионов тенденции системы капитального ремонта (Таблица 10):

1) Охват программ капремонта:

– в Архангельской области в программы капитального ремонта включены 50,63% МКД, что ниже среднего показателя по России (67,62%);

– почти половина МКД (49,37%) не охвачены программами капремонта;

2) Способ формирования фонда:

– основной способ формирования фонда – через регионального оператора (76,04% МКД);

– значительная доля МКД формирует фонд через ТСЖ (15,18%), что выше среднего показателя по России (4,91%);

– доля МКД, формирующих фонд через ЖК, ЖСК и кооперативы, составляет 3,15%, что близко к среднему по стране (3,22%);

– в 4,86% МКД информация о способе формирования фонда не размещена в системе.

3) Проблемные зоны:

– низкий охват программ капремонта (50,63%);

– высокая доля МКД, формирующих фонд через ТСЖ (15,18%), что может указывать на недостаточную активность регионального оператора;

– отсутствие информации о способе формирования фонда в 4,86% МКД.

Таблица 10 – Анализ реализации системы капитального ремонта в Архангельской области

Категория	Характеристика	Данные по Архангельской области
Общее количество МКД	Общее количество многоквартирных домов в регионе.	18 038 МКД.
Охват программ капремонта	Доля МКД, включенных в региональную программу капитального ремонта.	50,63% (9 133 МКД).
Выбор способа формирования фонда	Доля МКД, в которых выбран способ формирования фонда капремонта.	97,76% (8 928 МКД из 9 133).
Способ формирования фонда	Распределение по способам формирования фонда:	
	- Через регионального оператора.	76,04% (6 789 МКД).
	- Через ТСЖ.	15,18% (1 355 МКД).
	- Через ЖК, ЖСК и иные кооперативы.	3,15% (281 МКД).
	- Через управляющие организации (УО).	0,77% (69 МКД).
	- Информация о способе формирования фонда не размещена в системе.	4,86% (434 МКД).
Не включены в программы	Доля МКД, не включенных в программы капитального ремонта.	49,37% (8 905 МКД).

Для анализа исполнения краткосрочных планов реализации программ капитального ремонта многоквартирных домов (МКД) за 2024 год и сравнения с предыдущими годами (2023, 2022, 2021, 2020, 2019, 2018, 2017, 2016) представим данные в табличном виде (Таблица 11, Таблица 12).

Таблица 11 – Основные показатели реализации программ и краткосрочных планов в РФ

Год	Всего МКД в системе	МКД в региональных программах (%)	МКД в краткосрочных планах (%)	Выполнено ремонта (% от плана)	Выполнено видов работ (% от плана)	Собрано взносов (% от начисленных)	Задолженность по взносам (млн руб.)
2024	887 100	81 990 (9%)	28 778 (3%)	13 248 (46%)	27 706 (26%)	40 906,58 / 40 907,19 (~100%)	83 475,72
2023	883 396	91 838 (10%)	31 662 (4%)	15 465 (49%)	37 414 (37%)	24 273,43 / 24 065,63 (~101%)	57 057,32
2022	878 138	93 740 (11%)	41 285 (5%)	19 546 (47%)	48 955 (30%)	13 350,28 / 13 426,65 (~99%)	38 560,85
2021	872 965	91 598 (10%)	53 184 (6%)	16 012 (30%)	41 637 (21%)	10 374,85 / 10 975,23 (~95%)	32 472,88

Продолжение таблицы 11

Год	Всего МКД в системе	МКД в региональных программах (%)	МКД в краткосрочных планах (%)	Выполнено ремонта (% от плана)	Выполнено видов работ (% от плана)	Собрано взносов (% от начисленных)	Задолженность по взносам (млн руб.)
2020	867 782	93 188 (11%)	41 227 (5%)	16 694 (40%)	42 354 (30%)	8 115,67 / 8 395,82 (~97%)	26 206,62
2019	862 428	89 437 (10%)	48 448 (6%)	19 380 (40%)	51 521 (27%)	5 900,33 / 6 092,82 (~97%)	17 046,09
2018	856 707	85 095 (10%)	36 784 (4%)	12 666 (34%)	44 461 (32%)	5 197,29 / 5 346,60 (~97%)	9 504,86
2017	851 002	84 783 (10%)	33 401 (4%)	11 841 (35%)	38 096 (32%)	2 277,46 / 2 383,97 (~96%)	3 939,65
2016	843 791	59 745 (7%)	23 588 (3%)	7 198 (31%)	25 171 (35%)	856,83 / 1 012,69 (~85%)	2 127,28

Таблица 12 – Финансовые показатели по годам

Год	Поступление денежных средств (млн руб.)	Расходы денежных средств (млн руб.)	% выполнения плана по расходам
2024	136 227,75	60 061,86	19,02%
2023	81 534,26	26 903,55	9,65%
2022	55 774,45	20 815,70	4,53%
2021	41 456,21	14 696,42	4,23%
2020	25 722,31	8 424,46	3,10%
2019	31 699,17	5 919,72	2,11%
2018	51 047,21	2 771,50	1,29%
2017	24 694,14	509,29	0,30%
2016	1 346,20	105,86	0,10%

Анализ данных позволяет сформулировать основные выводы реализации программ и краткосрочных планов капитального ремонта многоквартирных домов в РФ относительно:

- 1) динамики охвата МКД программами капитального ремонта:
 - доля МКД, включенных в региональные программы, колеблется в пределах 7–11% от общего числа МКД в системе;
 - доля МКД в краткосрочных планах снизилась с 6% в 2021 году до 3% в 2024 году, что может свидетельствовать о сокращении объемов планируемых работ;
- 2) выполнения планов капитального ремонта:

- процент выполнения ремонта в МКД остается на уровне 30–49%, что указывает на неполное выполнение планов;

- доля выполненных видов работ варьируется от 21% до 37%, что также свидетельствует о низкой эффективности реализации программ;

3) финансовых показателей:

- объем поступлений денежных средств на капитальный ремонт значительно вырос с 1 346.20 млн руб. в 2016 году до 136 227.75 млн руб. в 2024 году;

- однако процент выполнения плана по расходам остается крайне низким (19.02% в 2024 году), что указывает на неэффективное использование средств;

4) собираемости взносов:

- собираемость взносов улучшилась с 85% в 2016 году до почти 100% в 2024 году, что свидетельствует о повышении дисциплины платежей;

- при этом задолженность по взносам выросла с 2 127.28 млн руб. в 2016 году до 83 475.72 млн руб. в 2024 году, что может быть связано с увеличением тарифов или экономическими трудностями у собственников;

5) общих тенденций:

- несмотря на рост финансирования, эффективность реализации программ капитального ремонта остается низкой;

- наблюдается снижение доли МКД в краткосрочных планах, что может быть связано с пересмотром приоритетов или недостатком ресурсов;

- необходимо повышать прозрачность и контроль за использованием средств, а также оптимизировать процессы планирования и выполнения работ.

По данным [Фонда развития территорий, 2025] URL: <https://фрт.рф/>] реализация программы капитального ремонта Архангельской области характеризуется следующими ключевыми проблемами реализации (Таблица 13):

- низкими темпами выполнения работ: особенно для газоснабжения: 0 завершенных работ при 99,88% включения в программу. Фундаменты и подвальные помещения: крайне низкие темпы выполнения;

– отсутствием мероприятий энергосбережения: за отчетный период не проведено ни одного мероприятия по энергосбережению, что указывает на отсутствие прогресса в этой области;

– высоким уровнем износа жилищного фонда – объектов с износом более 70%: отсутствие данных по таким домам может указывать на недостаточный мониторинг и учет технического состояния и выявление аварийного жилья;

– отсутствием данных об объектах культурного наследия: Данные отсутствуют, что может свидетельствовать о недостаточном внимании к таким объектам.

Таблица 13 – Основные показатели реализации программ и краткосрочных планов в Архангельской области

Категория	Общее количество (шт.)	Включено в программу (шт.)	Доля включения (%)	Целевое значение (шт.)	Запланировано завершение (шт.)	Фактически завершено (шт.)	Темп включения в план (%)	Темп выполнения (%)
Конструктивные элементы и системы, всего	72 591	67 766	93,35	2 607	372	383	14,27	13,72
Внутридомовые инженерные системы электроснабжения	9 036	8 858	98,03	341	13	13	3,81	-
Внутридомовые инженерные системы теплоснабжения	8 871	8 324	93,83	321	42	42	13,08	-
Внутридомовые инженерные системы газоснабжения	5 044	5 038	99,88	194	0	0	0,00	-
Внутридомовые инженерные системы водоснабжения	7 122	6 287	88,28	242	83	87	34,30	-
Внутридомовые инженерные системы водоотведения	8 790	8 357	95,07	322	39	40	12,11	-
Лифты, лифтовые шахты	2 927	1 721	58,80	67	54	54	80,60	-
Крыши	9 036	7 897	87,39	304	110	115	36,18	-
Подвальные помещения, относящиеся к общему имуществу в многоквартирном доме	3 693	3 671	99,40	142	3	3	2,11	-
Фасады	9 036	8 827	97,69	340	22	23	6,47	-
Фундаменты	9 036	8 786	97,23	338	6	6	1,78	-

На графике и диаграмме (Рисунок 22) представлены запланированные сроки и виды работ в рамках региональной программы капитального ремонта для города Архангельска, охватывающей 2843 многоквартирных дома (МКД). Линия тренда на графике демонстрирует, что для большинства МКД, независимо от года ввода в

эксплуатацию, капитальный ремонт основных элементов зданий запланирован на период 2035–2043 годов.

Согласно программе, у 1888 зданий (66% от общего числа) все работы предусмотрено выполнить в течение одного года. Для 839 зданий (30%) ремонтные работы распределены на два этапа, и лишь для 116 зданий (4%) запланировано проведение ремонта конструкций в 3–4 этапа.

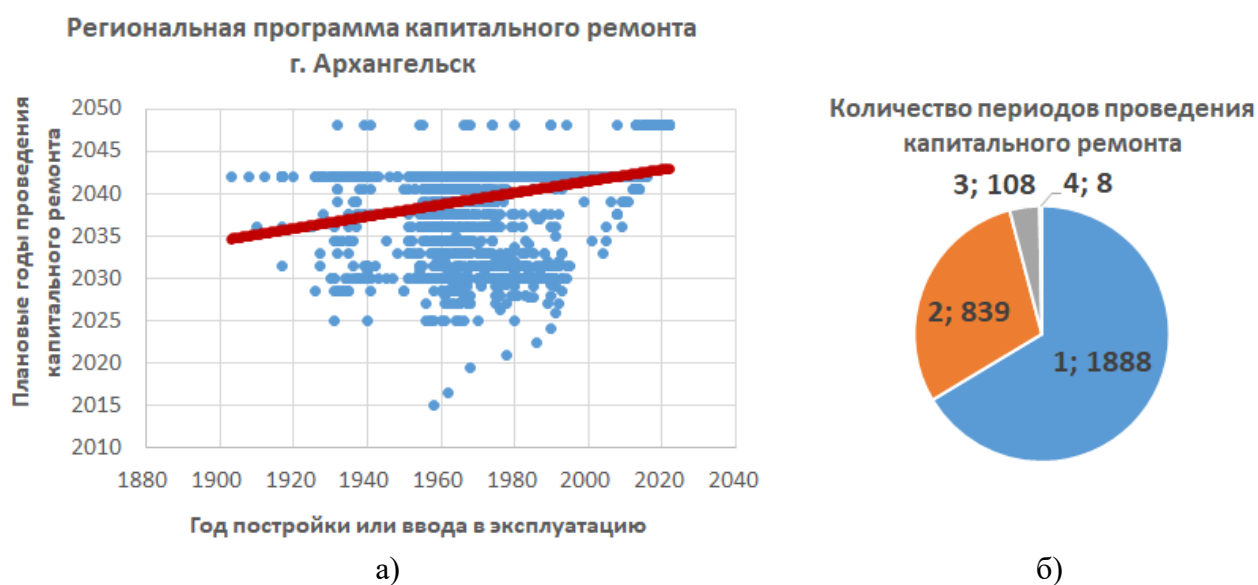


Рисунок 22 – Анализ программы капитального ремонта жилищного фонда г. Архангельска: а) запланированные сроки ремонта элементов здания в зависимости от ввода объекта в эксплуатацию; б) плановая периодичность ремонтно-строительных работ

Таким образом, можно сделать вывод, что текущая региональная программа, разработанная региональным оператором и утвержденная исполнительным органом субъекта РФ (Рисунок 21), не учитывает фактическое техническое состояние элементов зданий, а также динамику их изменения. В условиях жесткой централизации планирования и регулирования, включая доминирование регионального оператора при формировании фонда капитального ремонта, определение сроков проведения ремонта фактически перекладывается на собственников.

В таблице представлены особенности принятия решений о сроках проведения капитального ремонта при различных способах формирования фонда капитального ремонта (Таблица 14).

Таблица 14 – Анализ принятия решений о сроках проведения капитального ремонта и их изменения

Аспект	Формирование фонда на счете регионального оператора	Формирование фонда на специальном счете
Отличительные особенности	Решение о сроках принимается собственниками или органом местного самоуправления.	Решение о сроках принимается исключительно собственниками.
	Сроки могут быть изменены по решению собрания собственников или в случае аварий.	Сроки могут быть изменены только по решению собрания собственников.
	Региональный оператор играет ключевую роль в организации и финансировании ремонта.	В случае невыполнения сроков орган местного самоуправления может перевести средства на счет регионального оператора.
Общие моменты	В обоих случаях сроки проведения капитального ремонта должны соответствовать региональной программе.	
	Изменение сроков возможно только при наличии обоснованных причин и в установленном порядке.	
	Контроль за целевым использованием средств осуществляется как собственниками, так и органами власти.	

Таким образом, перед собственниками возникает ряд обстоятельств, затрудняющих или делающих невозможным перенос сроков капитального ремонта по инициативе собственников (Таблица 15).

Таблица 15 – Необходимые условия для переноса сроков капитального ремонта

Необходимое условие	Формирование фонда на счете регионального оператора	Формирование фонда на специальном счете
Необходимое условие	Средства распределяются региональным оператором, и их недостаток может сделать перенос невозможным.	Собственники могут принять решение о дополнительных взносах или кредитовании для покрытия недостатка средств.
Наличие достаточных средств в фонде капитального ремонта	Без решения ОСС перенос сроков невозможен, так как требуется согласие собственников.	
Решение общего собрания собственников (ОСС) о переносе сроков	Без технического заключения, подтверждающего необходимость ремонта, перенос сроков невозможен.	
Техническое заключение о необходимости ремонта	Без подтверждения угрозы жизни и здоровью граждан перенос сроков может быть отклонен.	
Документы, подтверждающие угрозу жизни и здоровью граждан	Сроки и очередность ремонта определяются региональной программой, и их изменение требует обоснования.	Сроки могут быть изменены по решению ОСС, но должны соответствовать региональной программе.
Соответствие региональной программе капитального ремонта	Уполномоченный орган может отказать в переносе сроков, если не будет предоставлено достаточных обоснований.	

Продолжение таблицы 15

Необходимое условие	Формирование фонда на счете регионального оператора	Формирование фонда на специальном счете
Поддержка уполномоченного органа	Не применимо, так как средства формируются на счете регионального оператора.	Если средств на специальном счете недостаточно, перенос сроков невозможен без дополнительных взносов или кредита.
Наличие протокола ОСС о переносе сроков	Без протокола ОСС перенос сроков невозможен.	
Акт обследования состояния дома	Без акта обследования перенос сроков невозможен.	
Смета или документы о стоимости работ	Без сметы или документов о стоимости работ перенос сроков невозможен.	
Справка об отсутствии долгов по взносам	Без справки об отсутствии долгов перенос сроков может быть отклонен.	
Соответствие требованиям регионального законодательства	Региональное законодательство может устанавливать дополнительные ограничения для переноса сроков.	
Поддержка регионального оператора	Региональный оператор может отказать в переносе сроков, если не будет предоставлено достаточных обоснований.	
Наличие кворума на ОСС для принятия решения	Без кворума решение ОСС не может быть принято, что делает перенос сроков невозможным.	
Экспертное заключение о состоянии конструктивных элементов	Без экспертного заключения перенос сроков невозможен.	
Протокол органа ГЖН, подтверждающий уровень безопасности	Без протокола органа ГЖН перенос сроков может быть отклонен.	

Для переноса сроков капитального ремонта необходимо выполнение ряда условий, включая наличие решения общего собрания собственников (ОСС), технического заключения, актов обследования и других документов, подтверждающих необходимость ремонта. При этом ключевым фактором является достаточность средств в фонде капитального ремонта.

Если фонд формируется на счете регионального оператора, собственники сталкиваются с ограничениями, так как управление средствами и одобрение переноса сроков зависят от решений уполномоченного органа и регионального оператора. В случае недостаточности средств в таком фонде, возможности для маневра существенно сокращаются.

Напротив, при формировании фонда на специальном счете у собственников появляется больше возможностей для управления сроками. Они могут

устанавливать дополнительные взносы, привлекать кредитные средства или иным образом регулировать финансовые потоки. Однако даже в этом случае необходимо соблюдение всех установленных условий, включая решение ОСС и наличие необходимой документации.

Отсутствие любого из обязательных условий – будь то недостаток средств, отсутствие документов или поддержки со стороны уполномоченных органов – может сделать перенос сроков капитального ремонта невозможным.

Таким образом, представленная система капитального ремонта (Рисунок 21) имеет одно ключевое противоречие, препятствующее эффективной реализации программ капитального ремонта. Оно заключается в несоответствии распределения прав и обязанностей между субъектами. Несмотря на то, что финансовая нагрузка и ответственность за состояние жилищного фонда лежат на собственниках, планирование и организация капитального ремонта полностью строго централизованы и зависят от регионального оператора. Именно он принимает решения о сроках проведения работ, основываясь в текущей системе в основном на показателях финансовой дисциплины собственников МКД.

Формирование программ и планов капитального ремонта должно в первую очередь учитывать техническое состояние каждого объекта и его специфику. Однако анализ мониторинга региональных программ и динамики их реализации показывает, что на практике это требование часто игнорируется, что снижает эффективность капитального ремонта и не позволяет своевременно решать проблемы жилищного фонда.

Однако в региональной системе капитального ремонта ключевым фактором, затрудняющим реализацию программ, является исключение из процессов проектирования, организации и технологии таких важных аспектов, как идентификация реального технического состояния зданий, а также определение и прогнозирование обоснованных сроков, объемов и адекватной стоимости ремонтно-строительных работ.

В результате текущая система капитального ремонта характеризуется непрозрачностью и недостаточной обоснованностью принимаемых решений, программ

и планов. Это свидетельствует о необходимости внесения коренных изменений в методологические подходы к организационно-технологическому проектированию капитального ремонта в рамках региональных программ.

Выводы по Главе 1

Региональные программы капитального ремонта жилищного фонда играют ключевую роль в обеспечении долговечности, безопасности и комфорта многоквартирных домов. Анализ типов технической эксплуатации (корректирующего, профилактического и предупредительного) позволил сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1. Для повышения эффективности программ капитального ремонта необходимо сочетать профилактический и предупредительный типы эксплуатации. Профилактические работы следует применять для элементов, состояние которых сложно контролировать, а предупредительные – для оптимизации затрат и минимизации аварий. Такой подход позволяет обеспечить плановый ремонт и снизить риски внезапных отказов конструкций.

2. В крупных городах и регионах с развитой инфраструктурой целесообразно внедрять предупредительный метод с использованием систем анализа данных, IoT и информационного моделирования. Это позволит перейти от реактивного управления к прогнозированию и предотвращению проблем.

3. Стабильное финансирование и долгосрочное планирование являются ключевыми условиями успешной реализации программ капитального ремонта. Необходимо учитывать реальное состояние жилищного фонда, выявлять приоритетные объекты и распределять ресурсы на основе их технического состояния.

Предупредительная эксплуатация, основанная на поэлементной оценке технического состояния зданий, является наиболее эффективной. Она позволяет рационально распределять бюджет и минимизировать затраты на ремонт. Такой подход требует детального анализа конструктивных элементов и инженерных систем, а также долгосрочного планирования ремонтных работ.

2. Основные проблемы реализации предупредительного подхода включают отсутствие полной информации о техническом состоянии объектов, недостаток методик для реализации комплексного подхода в рамках программ массового ремонта жилищного фонда.

Анализ технического состояния и системы капитального ремонта в России и Архангельской области позволил выявить следующие ключевые аспекты:

1. Уровень износа жилищного фонда требует своевременного капитального ремонта для предотвращения дальнейшего ухудшения и роста затрат.
2. Региональные программы капремонта характеризуются низким охватом, неэффективным выполнением планов и недостаточной прозрачностью.
3. Неэффективность текущей системы капитального ремонта обусловлена непрозрачностью принятия решений и несоответствием в распределении полномочий между субъектами. Централизованное управление через регионального оператора не учитывает фактическое техническое состояние зданий, что снижает обоснованность программ.

Для повышения эффективности региональных программ капитального ремонта жилищного фонда необходимо разработать методики, методы и способы реализации комплексного предупредительного подхода в программах массового ремонта жилищного фонда. Это требует решения следующих задач:

1. Разработать и обосновать методологию организационно-технологического проектирования комплексного ремонта жилищного фонда, основанную на поэлементной количественной оценке технического состояния зданий и обеспечивающую внедрение унифицированного подхода к адресному проектированию ремонтных работ.
2. Разработать процессно-ориентированный подход к формированию информационной модели здания, интегрирующий динамические характеристики технического состояния элементов, изменяющиеся под воздействием процессов эксплуатационной деградации, технического обслуживания и ремонтов, в отличие от статической модели, основанной на неизменных характеристиках, что обеспечит

основу для многокритериальной поэлементной оценки технического состояния и алгоритмической обработки данных.

3. Сформировать систему многокритериальной поэлементной оценки технического состояния объектов капитального строительства, предусматривающую унификацию критериев и формализацию данных для их последующей алгоритмической обработки, что обеспечит внедрение унифицированного подхода к адресному организационно-технологическому проектированию ремонтных работ.

4. Разработать методику организационно-технологического проектирования комплексного ремонта в рамках массовых программ, сочетающую преимущества массового подхода (охват большого количества объектов) с адресностью и эффективностью предупредительной эксплуатации на основе применения современных методов анализа данных и прогнозирования.

5. Разработать методику формирования программ капитального ремонта на основе выявления приоритетных объектов и элементов, применяя методики прогнозного планирования изменений характеристик строительных элементов с интеграцией методов прогнозирования и оптимизации для планирования краткосрочных и долгосрочных работ с учетом критериев технического состояния и ограниченности ресурсов.

6. Разработать способы информационного моделирования объектов капитального строительства на этапе эксплуатации для сбора и обработки данных о техническом состоянии жилищного фонда, направленные на повышение информационной прозрачности для регионального оператора и устранение дефицита информации в открытых источниках.

7. Разработать механизм взаимодействия субъектов системы капитального ремонта (собственников, управляющих организаций, регионального оператора), основанный на принципах информационной открытости и скоординированного планирования.

Таким образом, сочетание массового и комплексного подходов в рамках региональных программ капитального ремонта позволит повысить эффективность

использования средств фондов капитального ремонта, обеспечить безопасность и долговечность жилищного фонда.

Глава 2. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

2.1 Теоретические основы управления системой: анализ и синтез подходов

В современной инженерии и управлении сложными техническими системами ключевым элементом является понятие **системы**, которое регламентируется как международными, так и национальными стандартами. Анализ нормативных документов позволяет выделить общие черты в определении системы и её области применения, а также выявить специфику, связанную с различными отраслями и подходами (Таблица 16).

Во всех рассмотренных стандартах система определяется как совокупность взаимодействующих элементов, организованных для достижения определенных целей. Это определение является универсальным и применяется в различных контекстах:

- ISO/IEC/IEEE 15288:2023 и ГОСТ Р 57193-2025 подчеркивают, что система – это совокупность элементов, взаимодействующих для выполнения задач жизненного цикла, включая проектирование, эксплуатацию и утилизацию;
- ISO/IEC 81346-1:2022 акцентирует внимание на структурированности системы, определяя её как набор объектов, связанных отношениями;
- ГОСТ Р 55062-2021 и IEEE/ISO/IEC 24748-4-2016 дополняют это определение, указывая на функциональную направленность системы, которая заключается в выполнении определенных задач или функций.

Таким образом, система в стандартах рассматривается как интегрированный комплекс элементов, которые взаимодействуют между собой для достижения поставленных целей. Это определение применимо как к техническим, так и к организационным системам.

Понятие системы в международных и национальных стандартах является универсальным и определяется как совокупность взаимодействующих элементов, организованных для достижения целей.

Таблица 16 – Анализ понятия системы и области её применения на основе международных и национальных стандартов

Нормативный документ	Область применения	Понятие системы	Содержание и подходы к управлению сложными системами
ISO/IEC 15288:2023	Системная и программная инженерия. Жизненный цикл систем.	Система – совокупность взаимодействующих элементов, организованных для достижения определенных целей.	Системный подход: Описывает процессы жизненного цикла систем, включая планирование, проектирование, эксплуатацию и утилизацию.
ISO/IEC 81346-1:2022	Промышленные системы, установки и оборудование.	Система – структурированный набор объектов, связанных отношениями.	Системный подход: Устанавливает принципы структурирования и обозначения компонентов систем.
ISO/IEC/IEEE 24765:2017	Системная и программная инженерия. Словарь терминов.	Система – совокупность элементов, взаимодействующих для выполнения определенных функций.	(терминология)
ISO 15926 (серия)	Автоматизация и интеграция промышленных систем (нефтегазовая отрасль).	Система – интегрированный набор объектов, обеспечивающих выполнение задач жизненного цикла.	Интеграционный подход: Описывает интеграцию данных жизненного цикла для сложных технических систем.
ГОСТ Р 57193-2025	Системная и программная инженерия. Жизненный цикл систем.	Система – совокупность взаимодействующих элементов, организованных для достижения целей.	Системный подход: Адаптированная версия ISO/IEC 15288, регламентирующая процессы жизненного цикла систем.
ГОСТ Р 55062-2021	Управление проектированием и производством сложной технической продукции.	Система – комплекс взаимосвязанных элементов, выполняющих определенные функции.	Процессный подход: Устанавливает требования к системам менеджмента для проектирования и производства сложных систем.
ГОСТ Р 59793–2021 и др.	Автоматизированные системы.	Система – совокупность средств, методов и процессов для автоматизации задач.	Процессный подход: Регламентирует создание и эксплуатацию автоматизированных систем.
ГОСТ Р 58607-2019/ISO/IEC/IEEE 24748-4:2016	Системная инженерия. Управление процессами.	Система – интегрированный набор элементов, взаимодействующих для достижения целей.	Системно-процессный подход: Описывает процессы системной инженерии, включая управление требованиями и интеграцию систем.
INCOSE Systems Engineering Handbook	Системная инженерия. Руководство по управлению сложными системами.	Система – совокупность взаимодействующих элементов, организованных для выполнения задач.	Комплексный системный подход: Содержит подробное описание подходов к системной инженерии, включая управление жизненным циклом.

Область применения систем охватывает широкий спектр отраслей, включая промышленность, энергетику, строительство, информационные технологии и автоматизацию.

Международные стандарты обеспечивают глобальный подход к управлению системами, в то время как национальные стандарты адаптированы к специфике локальных условий и отраслей.

Этот анализ позволяет сделать вывод, что использование как международных, так и национальных стандартов обеспечивает комплексный подход к проектированию, управлению и эксплуатации сложных технических систем.

Система – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, организованных для достижения определенных целей. Система – это сложный объект, который обладает набором свойств, обеспечивающих её функционирование как единого целого. Эти свойства позволяют анализировать, проектировать и управлять системами в различных отраслях, от техники до биологии и социологии. Понимание этих характеристик является ключевым для применения системного подхода в решении сложных задач.

Основные свойства (характеристики) системы.

Целостность. Система функционирует как единое целое, и её свойства не сводятся к простой сумме свойств её элементов. Изменение одного элемента может повлиять на всю систему.

Структурность. Система имеет четкую структуру, состоящую из элементов (подсистем), которые связаны между собой определенными отношениями.

Иерархичность. Система может быть частью более крупной системы (надсистемы) и, в свою очередь, состоять из подсистем. Это свойство позволяет декомпозировать сложные системы на более простые компоненты.

Взаимосвязь элементов. Элементы системы взаимодействуют друг с другом, что обеспечивает её функционирование. Эти взаимодействия могут быть как внутренними, так и внешними (с окружающей средой).

Эмерджентность. Появление у системы новых свойств, которые не присущи её отдельным элементам. Например, инженерная система отопления как

система обладает свойствами, которых нет у его отдельных компонентов (трубопроводов, отопительных приборов (радиаторы), циркуляционных насосов, запорно-регулирующей арматуры и т.д.).

Функциональность. Система предназначена для выполнения определенных функций или задач. Её элементы работают совместно для достижения общей цели.

Адаптивность. Способность системы изменяться и приспосабливаться к изменениям внешней среды или внутренних условий.

Устойчивость. Способность системы сохранять свои свойства и функции при воздействии внешних или внутренних возмущений.

Динамичность. Система может изменяться во времени, развиваться или деградировать в зависимости от условий эксплуатации.

Сложность. Система может быть описана на разных уровнях детализации, что позволяет анализировать её как в целом, так и по частям.

Целенаправленность. Система создается и функционирует для достижения определенных целей, которые могут быть как явными, так и скрытыми.

Ограниченность. Система имеет границы, которые отделяют её от внешней среды. Эти границы могут быть как физическими, так и функциональными.

Дополнительные свойства систем.

Открытость/закрытость. Открытые системы взаимодействуют с внешней средой (например, экосистемы), а закрытые системы изолированы от внешних воздействий.

Самоорганизация. Способность системы самостоятельно изменять свою структуру для достижения оптимального состояния.

Надежность. Способность системы выполнять свои функции в заданных условиях в течение определенного времени.

Масштабируемость. Возможность расширения или уменьшения системы без потери её функциональности.

Рассмотрим ключевые характеристики строительных объектов с позиции системного подхода (Таблица 17). В таблице рассмотрены свойства, определяющие функциональность, устойчивость и адаптивность строительных объектов.

Таблица 17 – Основные свойства системы применительно к объектам капитального строительства

Свойство	Техническое определение	Пример для здания/сооружения
Основные свойства системы		
Целостность	Система обладает интегративными характеристиками, неаддитивными по отношению к свойствам её элементов.	Несущая способность здания определяется системным взаимодействием фундамента, каркаса и ограждающих конструкций, а не их индивидуальными прочностными показателями.
Структурность	Организация системы в виде упорядоченного множества взаимосвязанных подсистем с четкими функциональными связями.	Конструктивная система здания включает несущие конструкции (колонны, балки, плиты), инженерные сети (ОВК, электроснабжение) и архитектурно-строительные элементы.
Иерархичность	Принцип вложенности подсистем, позволяющий проводить декомпозицию сложных систем.	Градостроительный ансамбль → отдельное здание → конструктивные уровни (подземная часть, надземные этажи) → узлы и элементы.
Взаимосвязь элементов	Наличие устойчивых функциональных и конструктивных связей между элементами системы.	Работа системы отопления зависит от теплопотерь через ограждающие конструкции и параметров теплоносителя в трубопроводах.
Эмерджентность	Возникновение системных свойств, не выводимых из характеристик отдельных компонентов.	Акустический комфорт в помещении достигается за счет комплексного взаимодействия материалов стен, перекрытий и звукоизоляционных решений, а не их изолированных свойств.
Функциональность	Способность системы выполнять целевую функцию в соответствии с проектным назначением.	Каркас промышленного цеха обеспечивает монтаж кранового оборудования и устойчивость к динамическим нагрузкам.
Адаптивность	Способность системы модифицировать структуру и параметры в ответ на изменения внешних условий.	Регулируемые фасадные системы, изменяющие светопропускание в зависимости от инсоляции.
Устойчивость	Сохранение функциональности при внешних воздействиях в пределах допустимых отклонений.	Расчетная устойчивость высотного здания к ветровой нагрузке с учетом аэродинамических колебаний.
Динамичность	Эволюция системы во времени под влиянием эксплуатационных факторов и деградации материалов.	Ползучесть бетонных конструкций, коррозия арматуры, старение полимерных мембран кровли.
Сложность	Многоуровневость описания системы с возможностью детализации до элементарных компонентов.	Моделирование здания в BIM включает архитектурные, конструктивные и инженерные слои (LOD 100–500).
Целенаправленность	Наличие явно выраженного проектного замысла, определяющего критерии эффективности системы.	Энергоэффективное здание проектируется с учетом показателей удельного энергопотребления (kWh/m ² /год).

Продолжение таблицы 1718

Свойство	Техническое определение	Пример для здания/сооружения
Основные свойства системы		
Ограниченность	Фиксированные границы системы, отделяющие её от внешней среды.	Геотехнический контур котлована, зоны влияния строительных вибраций на смежные объекты.
Дополнительные свойства систем в строительстве		
Открытость/закрытость	Степень обмена веществом, энергией и информацией с внешней средой	Открытая: Вентиляционная система с воздухообменом Закрытая: Гермокамера для испытаний материалов
Самоорганизация	Автооптимизация параметров на основе обратных связей	Интеллектуальная система управления зданием (BMS), регулирующая энергопотребление по датчикам присутствия
Надежность	Вероятность сохранения эксплуатационных характеристик в заданных условиях	Обеспечение несущей способности конструкций в течение нормативного срока службы (50-100 лет)
Масштабируемость	Возможность пространственно-функционального расширения без нарушения целостности	Каркасно-модульные здания с унифицированными соединительными узлами для надстройки этажей

Здание представляет собой техническую и технологическую систему, где принципы целостности и эмерджентности обуславливают нелинейную зависимость интегральных характеристик от свойств отдельных элементов. Модификация любого компонента (например, несущих конструкций) вызывает системный отклик, изменяющий поведение объекта в целом. Структурность и иерархичность обеспечивают рациональную организацию проектирования через декомпозицию на взаимосвязанные подсистемы (фундаменты, каркас, инженерные коммуникации), образующие четкую архитектуру объекта.

Адаптивность и динамичность отражают способность системы к трансформации параметров в процессе эксплуатации под влиянием факторов деградации материалов и меняющихся эксплуатационных требований. Надежность и устойчивость гарантируют сохранение эксплуатационных характеристик в пределах нормативных показателей (СП, ГОСТ), обеспечивая выполнение заданных функций при проектных воздействиях в течение установленного срока службы.

Параметр открытости/закрытости системы определяет степень ее энерго-массообмена с внешней средой, что находит отражение в проектных решениях по

организации воздухообмена и теплозащиты ограждающих конструкций. Принцип самоорганизации реализуется в интеллектуальных зданиях посредством автоматизированных систем управления инженерным оборудованием, обеспечивающих адаптацию рабочих параметров к изменяющимся условиям эксплуатации. Свойство масштабируемости позволяет осуществлять пространственно-функциональное развитие объектов капитального строительства за счет модульной организации структурных элементов и унификации узлов сопряжения, что особенно актуально для объектов с переменными эксплуатационными требованиями.

Документы предлагают различные подходы к работе со сложными системами (Таблица 16), включая системный, процессный, интеграционный и комплексный подходы. Эти подходы позволяют эффективно анализировать, проектировать и управлять сложными техническими системами в различных отраслях. Подходов к управлению системами применяются в зависимости от типа системы, целей управления и контекста. Ниже приведена сводная таблица с основными подходами и ссылками на нормативные документы (Таблица 19).

Таблица 19 – Подходы к управлению системами

Подход	Описание	Нормативные документы
Системный подход	Рассмотрение системы как целостного объекта, состоящего из взаимосвязанных элементов.	ГОСТ Р 57193-2016 «Системный подход в управлении» ISO/IEC/IEEE 15288:2023 «Системная и программная инженерия»
Процессный подход	Управление на основе процессов, направленное на достижение целей системы.	ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества»
Проектный подход	Управление через реализацию проектов, направленных на достижение целей.	ГОСТ Р 54869-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом» ГОСТ Р ИСО 21500-2023 «Управление проектами, программами и портфелями проектов».

Системный и процессный подходы – это два различных метода анализа и управления сложными объектами, каждый из которых имеет свои особенности и области применения (Таблица 20).

Таблица 20 – Сравнительный анализ системного и процессного подходов

Критерий	Системный подход	Процессный подход
Основная идея	Рассматривает объект как целостную систему взаимосвязанных элементов (подсистем), взаимодействующих для достижения общей цели. Акцент на структуре, связях и свойствах системы как единого целого.	Рассматривает объект как совокупность процессов, преобразующих входы в выходы. Акцент на последовательности действий, этапах и операциях для достижения результата.
Фокус внимания	- Структура и элементы системы. - Взаимодействие элементов между собой и с внешней средой. - Пример: анализ предприятия как системы (производство, логистика, финансы).	- Процессы и операции. - Преобразование входных данных (ресурсов) в выходные (результаты). - Пример: анализ производственного цикла (от закупки материалов до выпуска продукции).
Уровень детализации	Работает на высоком уровне абстракции, рассматривая систему как единое целое. Подходит для анализа сложных объектов с важными взаимосвязями.	Работает на детальном уровне, изучая последовательность действий. Подходит для оптимизации конкретных процессов.
Цели применения	- Понимание системы в целом. - Выявление структуры, свойств и взаимодействий. - Применяется в проектировании, анализе и управлении сложными системами (техническими, организационными).	- Оптимизация процессов. - Повышение эффективности, снижение затрат, улучшение качества. - Применяется в управлении бизнес-процессами, производственными операциями.
Примеры применения	- Проектирование сложных технических систем (самолеты, энергоустановки). - Анализ организации как системы (подразделения, их взаимодействие).	- Оптимизация производства на заводе. - Управление цепочками поставок и бизнес-процессами.
Взаимосвязь подходов	Помогает понять систему в целом, выделить ключевые элементы и их взаимодействие.	Позволяет углубиться в детали, оптимизировать процессы и повысить их эффективность. Дополняют друг друга: например, сначала системный анализ компании, затем процессная оптимизация.
Итог	Взгляд на объект как на целостную систему (структура, взаимодействие элементов).	Взгляд на объект как на последовательность действий (оптимизация процессов).

Оба подхода важны для управления сложными объектами, но применяются в разных контекстах и для разных целей.

Согласно системному подходу, система – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, организованных для достижения определенных целей. Свойства системы, такие как целостность, структурность, иерархичность и эмерджентность, подчеркивают необходимость рассмотрения ОКС как единого

целого. Например, изменение одного элемента (например, несущей конструкции) или процесса (например, этапа проектирования) может повлиять на всю систему, что требует комплексного подхода к управлению. Кроме того, адаптивность и устойчивость системы позволяют ей функционировать в условиях изменяющейся внешней среды, что особенно важно при эксплуатации зданий.

Для эффективного управления такой сложной системой необходимо применять системный и процессный подходы. Системный подход позволяет рассматривать ОКС как целостный объект, выделяя взаимосвязи между его элементами и процессами, что обеспечивает согласованность решений. Процессный подход, в свою очередь, фокусируется на оптимизации последовательности действий на всех этапах жизненного цикла, в том числе таких как диагностика, ремонт и восстановление элементов, что повышает эффективность использования ресурсов и снижает затраты.

Только при таком рассмотрении объекта как системы можно решить поставленную задачу, поскольку это позволяет:

- учитывать взаимосвязи между элементами и процессами системы, что минимизирует риски возникновения конфликтов и ошибок при проектировании, строительстве и в процессе эксплуатации;
- оптимизировать процессы на всех этапах жизненного цикла, включая диагностику, ремонт и восстановление, что повышает качество выполнения работ и оптимизирует сроки их выполнения;
- обеспечить комплексный подход к управлению жизненным циклом здания, начиная от проектирования и заканчивая его эксплуатацией и утилизацией.

Таким образом, системный и процессный подходы не являются взаимоисключающими и обычно оба интегрированы в систему управления сложным объектом.

Интеграция системного и процессного подходов.

Системно-процессный подход («система в процессе»). Этот подход предполагает, что сложный объект формируется через последовательную реализацию процессов, формирующих сложный объект, например:

- на этапе проектирования создаётся информационная модель, которая декомпозирует объект на подсистемы и компоненты;
- на этапе строительства реализуются процессы монтажа и установки, которые формируют физический объект.

Процессно-системный подход («процесс в системе»). Этот подход заключается в изменении характеристик элементов системы под воздействием совокупности влияющих на элемент процессов, например:

- процессы эксплуатации (например, мониторинг состояния оборудования) изменяют характеристики элементов системы (например, износ оборудования);
- процессы ремонта и модернизации улучшают или восстанавливают характеристики элементов системы.

Таким образом, в рамках управления объектами капитального строительства наиболее методологически обоснованным представляется применение системно-процессного подхода на этапах проектирования и возведения, тогда как на этапе эксплуатации целесообразен переход к процессно-системной модели.

Основу организационно-технологического проектирования капитального ремонта составляет изменение эксплуатационных характеристик объекта, обусловленная: деструктивным воздействием факторов физического и функционального старения; мероприятиями по восстановлению и модернизации строительных конструкций.

2.2 Концепция процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию ремонта на основе информационного моделирования объекта

На данный момент наиболее эффективным инструментом формирования и управления зданием как сложным техническим и технологическим объектом являются технологии информационного моделирования (ТИМ). Они позволяют структурировать массивы данных об объектах капитального строительства (ОКС). Основой представления объекта капитального строительства как системы служит информационная модель.

Применение системного и процессного подходов в технологиях информационного моделирования в строительстве позволяет эффективно управлять проектами, оптимизировать процессы и повышать качество результатов. Рассмотрим, как каждый из подходов используется в контексте технологий информационного моделирования (Таблица 21, Таблица 22).

Таблица 21 – Сравнительная таблица системного и процессного подходов в ТИМ

Аспект	Системный подход в ТИМ	Процессный подход в ТИМ
Основная идея	Рассматривает здание или инфраструктурный объект как целостную систему, состоящую из взаимосвязанных элементов (конструкций, инженерных систем и т. Д.).	Фокусируется на оптимизации процессов проектирования, строительства и эксплуатации за счет автоматизации и стандартизации.
Реализация в BIM	Создание единой информационной модели, объединяющей все данные об объекте от всех участников проекта.	Управление данными на каждом этапе, автоматизация процессов (генерация спецификаций, проверка коллизий, расчет смет).
Применение	Интеграция данных от архитекторов, инженеров, конструкторов. Управление жизненным циклом объекта. Анализ влияния изменений в одном элементе на другие.	Оптимизация этапов проектирования. Планирование строительных процессов. Автоматизация рутинных задач (документооборот, контроль сроков).
Пример использования	При проектировании здания учитывается, как архитектурные решения влияют на несущие конструкции, а инженерные системы – на энергоэффективность.	При строительстве оптимизируется последовательность монтажа, чтобы минимизировать простои техники и улучшить координацию подрядчиков.
Преимущества	Согласованность данных между специалистами. Снижение ошибок и конфликтов. Комплексный анализ объекта.	Сокращение сроков и затрат. Повышение эффективности процессов. Улучшение управляемости проекта.
Итоги	Обеспечивает целостное представление объекта, что критично для сложных проектов. Позволяет анализировать взаимосвязи всех элементов системы.	Повышает операционную эффективность, сокращая время и затраты. Оптимизирует рабочие процессы на всех этапах жизненного цикла объекта.

Таблица 22 – Взаимодействие подходов на разных этапах

Этап	Системный подход	Процессный подход	Итоги взаимодействия
Проектирование	Формирование единой BIM-модели с учетом всех элементов и их взаимосвязей.	Оптимизация рабочих процессов (например, параллельное проектирование архитектуры и инженерных систем).	Синхронизация данных и процессов позволяет избежать ошибок на ранних этапах и ускорить проектирование.

Продолжение таблица 21

Этап	Системный подход	Процессный подход	Итоги взаимодействия
Строительство	Контроль соответствия реального объекта модели, анализ коллизий.	Планирование графика работ, логистики, автоматизация отчетности.	Минимизация простоев и переделок за счет четкого соблюдения модели и оптимизированных процессов.
Эксплуатация	Мониторинг состояния объекта как системы (например, износ конструкций, эффективность инж. Систем).	Автоматизация обслуживания, управление ремонтами, анализ энергопотребления.	Максимальная эффективность эксплуатации за счет системного контроля и автоматизированного управления.

Системный подход в ТИМ фокусируется на создании целостной информационной модели, которая объединяет все данные об объекте и его элементах. Процессный подход в ТИМ направлен на оптимизацию процессов работы с моделью, начиная от проектирования и заканчивая эксплуатацией. Оба подхода дополняют друг друга и позволяют эффективно использовать технологии информационного моделирования в строительстве, обеспечивая высокое качество проектов, снижение затрат и улучшение управления жизненным циклом объектов.

Базовым инструментом информационного моделирования является Классификатор строительной информации (КСИ). Применение классификации строительной информации является обязательным требованием согласно статье 57.6 Градостроительного кодекса РФ, которая устанавливает, что КСИ представляет собой обязательный государственный реестр, систематизирующий данные об объектах капитального строительства по классам, группам и видам. Его использование обязательно при создании информационных моделей объектов в случаях, предусмотренных Градостроительным кодексом РФ. Формированием и ведением КСИ занимается уполномоченный федеральный орган власти в сфере строительства, при этом структура и правила работы с классификатором утверждаются Правительством РФ.

С 1 декабря 2020 года в соответствии с Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 6 августа 2020 г. № 430/пр «Об утверждении структуры и состава классификатора строительной информации» введен единый Классификатор строительной информации (КСИ). Выкопировка приложения к структуре КСИ с распределением базовых классов строительной

информации по базовым категориям строительной информации и типы связей с другими базовыми классами строительной информации представлена в Приложении А.

Научное и практическое значение КСИ подтверждается теоретическими исследованиями [85], представленными в методических рекомендациях и научных публикациях, а также практическим опытом применения (Рисунок 23). Классификатор представляет систему через иерархическую организацию базовых классов, включающую выделение четырех базовых категорий: «Результат» (конечные продукты строительства), «Процессы» (этапы создания объекта), «Ресурсы» (используемые материалы и оборудование) и «Характеристики» (параметры и свойства элементов).

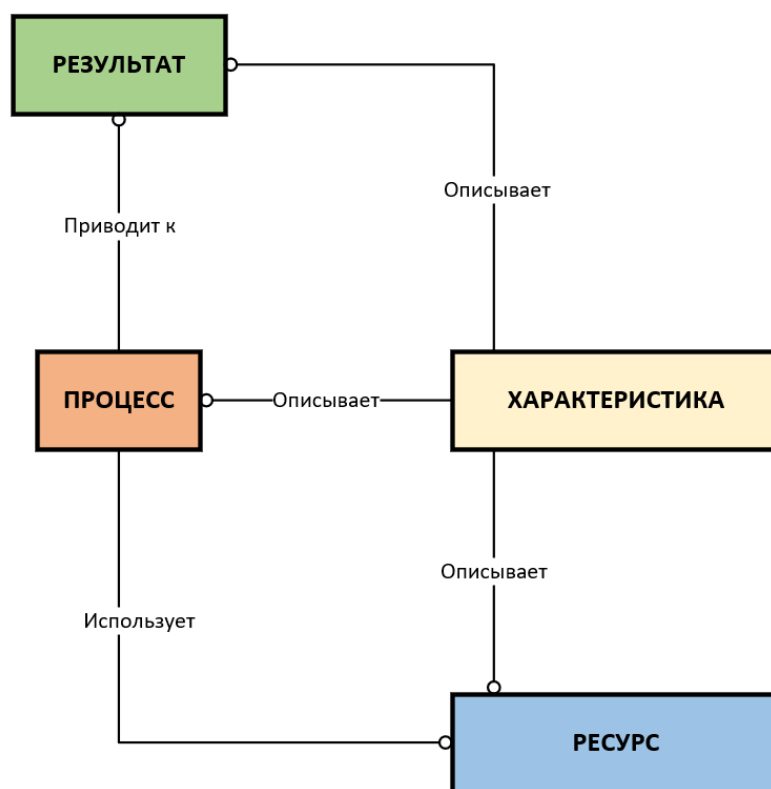


Рисунок 23 – Схема отношений между базовыми категориями строительной информации [85, 125]

Согласно [85, 131] «Базовые категории строительной информации позволяют моделировать основной процесс ... заключающийся в том, что получение некоторого определенного результата (строительного) является прямым следствием ряда процессов взаимодействия с некоторыми ресурсами (строительными). ... Данная

конфигурация отношений между базовыми категориями строительной информации является универсальной и сохраняется на всем протяжении ЖЦ ОКС».

Проведенный анализ структуры КСИ с позиций методологии управления системой позволяет: идентифицировать ключевые принципы его структурной организации; определить основные закономерности функционирования; установить взаимосвязи между элементами классификационной системы (Рисунок 24).



Рисунок 24. Схема базовых категорий (классов) строительной информации и их отношений согласно КСИ

На схеме представлена детализация 22 базовых класса и установление связей между классами (часть-целое, тип-подтип). Структурирование строительной информации осуществляется по принципам целостности (взаимосвязь всех элементов системы), иерархичности (зона → помещение → объект → комплекс) и функциональности (выделение технических и функциональных систем). Примеры системных связей включают отношение «Объект капитального строительства» как часть «Комплекса объектов», «Техническая система» как часть «Функциональной системы» и «Компонент» как элемент «Технической системы».

«Процессы», описывающие этапы жизненного цикла объекта, и «Результат», систематизирующие элементы зданий и сооружений являются ключевыми разделами структуры классификатора. Взаимосвязь этих разделов, позволяет

комплексно описывать сложные объекты капитального строительства через совокупность связанных процессов.

Системный и процессный подходы к управлению информационной моделью реализуются посредством разработки специализированных механизмов стандартизации и классификации строительных данных. Взаимодействие системного и процессного подходов в классификаторе проявляется в **системно-процессных** связях, где результаты (объекты) связаны с процессами их создания, ресурсы привязаны к процессам их использования, а характеристики описывают как объекты, так и процессы. Двойственная природа некоторых классов («Управление» как системный элемент и процесс одновременно, «Технические системы» как результат процессов и элемент системы) и комплексное описание строительных объектов (системная структура и процессная организация) подчеркивают интеграцию подходов.

Таким образом, на основе анализа структуры КСИ можно сделать вывод, что в нем в большей степени описан **системно-процессный (проектный) подход**, который фокусируется на совокупности процессов на этапах изысканий, проектирования и строительства, приводящих к результату – построенному объекту, т.е. ОКС как сложный технологический объект – это совокупность взаимосвязанных **«Процессов»** создания отдельных элементов, совокупность которых представляет собой единую систему **«Результат»**. Характеристики элементов зафиксированы и не подвержены изменениям на этапе эксплуатации (статичны).

Статичность характеристик системы зафиксирована способом ее представления на этапе эксплуатации, представленной в [131] на примере водяного насоса (Рисунок 25).



Атрибут	Значение
Производитель #XNT_0008	ЗАО «Производитель»
Марка #XNT_0005	Helix V 205-1/16/E/S/400-50
Производительность #XF_0033	4[м3/ч]
Вес #XPW_0001	19,4[кг]
КСИ класс строительной информации #XNKC0001	Com

а

Атрибут
Срок службы #XNT_0007
Гарантийный срок службы #CU_0007
Артикул по каталогу #XNT_0010
Дата последнего ремонта #CU_0008
Дата последнего осмотра #CU_0009

б

Рисунок 25 – Пример записи атрибутивного состава водяного насоса: а) как элемента ИМ; б) значимый с точки зрения службы эксплуатации [2]

В рамках [131] рассматриваются методологические основы формирования структуры и состава классификатора строительной информации (КСИ), обеспечивающие эффективное внедрение технологий информационного моделирования на этапах проектирования и строительства объектов капитального строительства (ОКС). На этапе эксплуатации особое внимание уделяется вопросам эксплуатации инженерных систем и оборудования здания, с акцентом на оперативном управлении их техническим состоянием в рамках системно-процессного подхода, что позволяет достоверно фиксировать текущее состояние систем и оборудования.

Ключевые компоненты подхода включают:

- оперативный контроль параметров с использованием цифровых технологий (ЦИМ – цифровая информационная модель, IoT (Internet of Things) – «интернет вещей») для мониторинга рабочих характеристик оборудования (температура, давление, энергопотребление);
- создание цифрового двойника здания, отражающего актуальное состояние систем в реальном времени и обеспечивающего оперативное реагирование на аварии и неисправности;
- учет статических параметров технического обслуживания (срок службы, гарантийные обязательства, периодичность осмотров и ремонтов).

Таким образом, в рамках системно-процессного подхода, предусмотренного классификатором строительной информации (КСИ), подсистемы строительных элементов и инженерных систем описываются посредством фиксации статических характеристик, что не учитывает их динамического изменения под воздействием эксплуатационных факторов, технического обслуживания и ремонтных мероприятий. Существующий подход не предусматривает механизмов оценки и прогнозирования технического состояния, учитывающих процессы естественного износа и процессы восстановления эксплуатационных характеристик. Данное ограничение существенно снижает эффективность управления жизненным циклом объектов капитального строительства.

Рассмотрим на примере упрощенной схемы взаимосвязи процессов и результатов на этапе проектирования и строительства и на этапе эксплуатации (Рисунок

26). Из схемы видно, что система процессов этапов проектирования и строительства формируют систему элементов ОКС («Результат»). Но система процессы на этапе эксплуатации не может формировать элементы ОКС.



Рисунок 26 – Схема *системно-процессных* связей элементов системы ОКС

Особенностью комплексного (поэлементного) организационно-технологического проектирования, основанного на превентивном методе, является интеграция двух взаимосвязанных классов процессов: «**Процесс эксплуатации**» и «**Процесс ремонта**», применяемых к каждому конструктивному элементу объекта. Данная концепция определяет методологическую обоснованность применения *процессно-системного подхода* как наиболее соответствующего методологического инструментария для реализации поэлементной системы технического обслуживания строительных объектов (Рисунок 27). Схема демонстрирует, что процессы эксплуатации и ремонта не создают новую систему, а воздействуют на её качественные и/или количественные характеристики (ОКС → ОКС*).



Рисунок 27 – Схема *процессно-системных* связей элементов системы ОКС

Согласно исследованию [85], в представленной выкопировке таблицы (Рисунок 28) показаны примеры взаимосвязей между классами строительной информации. Однако существующая структура классификатора строительной информации (КСИ) и регламенты его применения обладают существенным ограничением – они не позволяют адекватно отражать динамику изменения характеристик элементов системы ОКС. Это обусловлено отсутствием в базовой категории КСИ класса «Результат», который должен включать представленные виды классов строительной информации, что подтверждается анализом (см. Рисунок 24 и данные Приложения А).

Таблица 4.4.2 – Примеры отношений между отдельными классами СИ, соотнесенными с базовыми категориями строительной информации, для различных стадий ЖЦ ОКС

Стадия ЖЦ ОКС	Процесс (-ы)	Ресурс (-ы)	Результат (-ы)
Инженерные изыскания	Топографическая съемка местности Обработка данных тахеометрической съемки	Геодезическая бригада, тахеометр, ЭВМ	Цифровая модель местности
Проектирование	Расчет строительных конструкций	Инженер-расчетчик, задание на проектирование, архитектурные решения, строительные нормы и правила	Расчетно-пояснительная записка с обоснованием проектных решений
Строительство	Устройство монолитной железобетонной фундаментной плиты	Арматурщик, бетонщик, арматура, арматурные каркасы, сетки, бетонная смесь, технологическая карта, бетономешалка, бетононасос	Фундаментная плита здания или сооружения
Эксплуатация	Сезонный осмотр здания (сооружения)	Сотрудник службы эксплуатации, средства фиксации повреждений и физического износа строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения	Ведомость объемов (корректировка) работ по текущему ремонту на летний период и капитальному ремонту на будущий год
Реконструкция	Реконструкция кровли здания	Кровельные материалы, бригада рабочих	Мансардный этаж здания
Капитальный ремонт	Ремонт кровли (замена стропильной системы)	Кровельные материалы, брус деревянный, доска, бригада рабочих	Изменение эксплуатационных характеристик объекта капитального строительства (увеличение срока службы)
Снос здания или сооружения	Снос ветхого жилья	Строительные машины и механизмы	Пространство под новую застройку

Рисунок 28 – Пример связей между отдельными классами строительной информации [85]

Для формализации описания элементов системы предложено использование базовой категории «Характеристика». В соответствии с положениями ГОСТ Р ИСО 22274-2016, характеристика определяется как отличительное свойство объекта, тогда как свойство, согласно тому же стандарту, представляет собой конкретную характеристику, пригодную для описания и дифференциации объектов в пределах заданного класса.

Следует отметить, что нормативные формулировки и взаимосвязь понятий «характеристика» и «свойство» в ГОСТ Р ИСО 22274-2016 не имеют четкого разграничения. Тем не менее, на основании сложившейся практики применения данных терминов в профессиональной среде, возможно предложить следующую интерпретацию:

Свойство – объективная особенность объекта (материала, системы, процесса), обусловленная его природой и сохраняющая инвариантность независимо от условий наблюдения (примеры: теплопроводность материала; прочность бетона; электропроводность металла).

Характеристика – количественное или качественное выражение свойства, зафиксированное в конкретных условиях и подверженное изменению под воздействием внешних факторов (примеры: коэффициент теплопроводности при температуре 20°C; прочность бетона через 28 суток твердения; сопротивление проводника при заданной температуре).

Данная интерпретация позволяет установить основные отличия и методологическую связь между устойчивыми свойствами объектов и их переменными характеристиками, что особенно важно для системного анализа и управления параметрами в процессе эксплуатации (Таблица 23).

Методологическое разграничение данных понятий предполагает:

- Свойство – это обобщенное качественное понятие (например, «прочность»);
- Характеристика – его конкретное измеримое выражение (например, «предел прочности на сжатие 50 Мпа»).

Таблица 23 – Ключевые отличия понятий «Свойство» и «Характеристика»

Критерий	Свойство	Характеристика
Природа	Объективное, неизменное качество	Конкретное проявление свойства
Зависимость	Не зависит от условий	Может варьироваться в зависимости от условий
Измеряемость	Абстрактное понятие	Имеет количественное или качественное выражение
Пример	Твердость материала	Твердость стали по шкале Роквелла HRC 60

Взаимосвязь между рассматриваемыми категориями может быть сформулирована следующим образом: характеристика представляет собой конкретное выражение свойства в заданных условиях эксплуатации.

Практическое применение данной концепции в технической сфере и управлении проявляется в следующих аспектах:

- в информационных моделях (ИМ) свойства описывают базовые параметры объекта, тогда как характеристики используются для оперативного управления (например, мониторинг степени износа конструкций);
- в рамках процессного подхода свойства определяют потенциальные возможности системы, а характеристики позволяют оценивать её актуальное состояние и динамику изменений.

Таким образом, свойства задают фундаментальные возможности объекта, в то время как характеристики обеспечивают инструментарий для их измерения, контроля и практического использования в управленческих процессах. Концепция свойств имеет ключевое значение для внедрения процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию капитального ремонта и управления этапом эксплуатации ОКС.

Каждый элемент системы ОКС (компонент, техническая система, функциональный узел или объект в целом – в зависимости от уровня детализации модели) обладает определенной совокупностью свойств, которые закладываются на этапах проектирования и строительства через архитектурно-строительные и конструктивные решения, описаны соответствующими характеристиками (Рисунок 29) и проявляются в процессе технической эксплуатации

На этапе эксплуатации именно свойства элементов подлежат системному учету и целенаправленному воздействию (Рисунок 30). Важно подчеркнуть, что «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. Поэтому целесообразно разделить понятия и выделить из класса «Характеристик» класс «Свойства», с возможностью их

качественного и количественного описания, включив последнее в перечень категории «Результат».

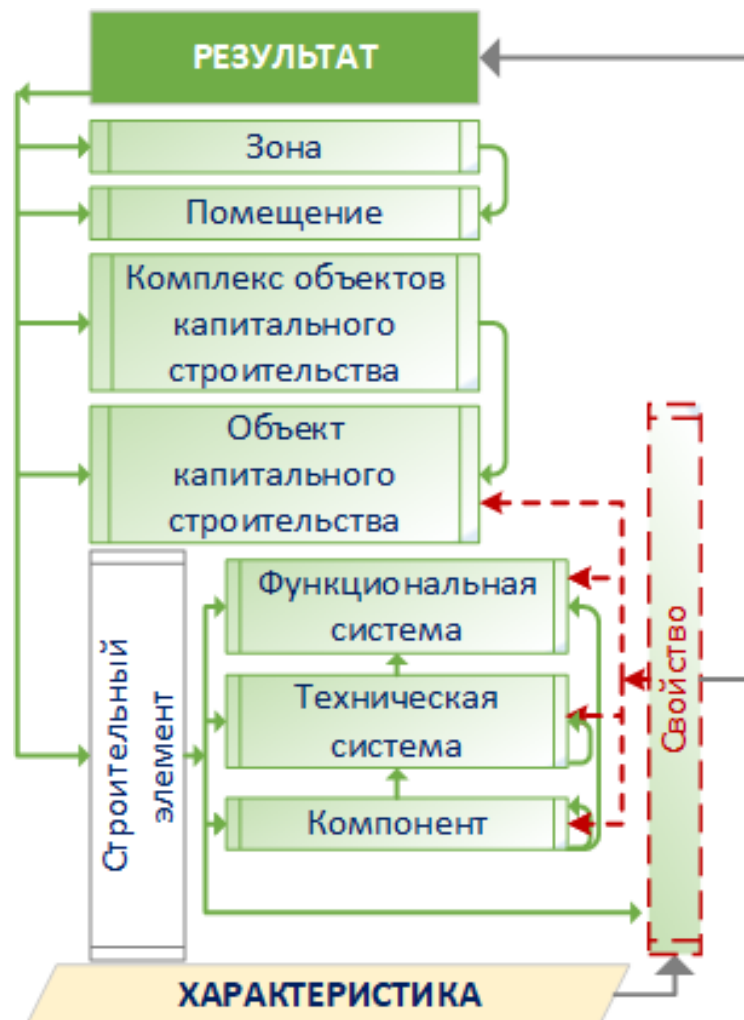


Рисунок 29. Фрагмент модифицированной структуры КСИ



Рисунок 30. Процессно-системный подход на этапе эксплуатации

Изменение состояния объекта капитального строительства (ОКС → ОКС*) в процессе эксплуатации представляет собой интегральный показатель трансформации свойств (Свойство → Свойство*) его строительных элементов под воздействием эксплуатационных нагрузок, внешних факторов, естественного старения, а также восстановительных мероприятий. В перечень групп свойств объекта могут быть включены: физико-механические (прочность, деформативность), эксплуатационно-технические (энергоэффективность, надежность систем), функциональные (безопасность, пропускная способность) и архитектурно-эстетические и другие характеристики. Данные изменения носят системный характер и требуют комплексного подхода к мониторингу и управлению техническим состоянием объекта.

2.3 Содержание и особенности организационно-технологического проектирования в системе капитального ремонта: анализ понятия, нормативных требований и отраслевой практики

Основополагающим понятием данного исследования выступает организационно-технологическое проектирование капитального ремонта жилищного фонда. Указанный термин находит широкое применение в научно-технической литературе и охватывает комплекс процессов, связанных с различными этапами жизненного цикла объектов капитального строительства, включая проектирование, реализацию и эксплуатацию.

Для проведения анализа были привлечены материалы, представленные в российской научной базе данных РИНЦ, а также дополнительные источники. Отбор публикаций осуществлялся на основе критерия наличия термина «организационно-технологическое проектирование» в заголовках, ключевых словах или аннотациях научных работ. Важно отметить, что анализу подверглись исключительно работы отечественных исследователей, поскольку понятие организационно-технологического проектирования тесно связано с нормативно-техническим регулированием в строительной отрасли и имеет ярко выраженную специфику, обусловленную особенностями законодательной базы и практики строительства в Российской Федерации.

На графике (Рисунок 31) иллюстрируется динамика роста публикационной активности в области организационно-технологического проектирования в строительной отрасли. Всего было выявлено порядка 110 научных статей, что позволяет сделать вывод о возрастающем интересе к данной проблематике в научном сообществе.



Рисунок 31 – Количество научных исследований в области организационно-технологического проектирования по годам

В таблице (Таблица 23) систематизированы содержание и специфика отдельных отечественных исследований в области организационно-технологического проектирования, основанных на анализе 50 научных работ, что обеспечивает репрезентативность выборки и позволяет выделить ключевые аспекты, включаемые в понятие. График (Рисунок 32) позволяет осуществить сравнительную оценку и определить, какое сущностное содержание исследователи вкладывают в понятие организационно-технологического проектирования.

Таблица 2324 – Аспекты организационно-технологического проектирования в отечественных научных исследованиях

Аспекты организационно-технологического проектирования (тезисно)	Количество статей	Ссылки
Учет условий строительства	38	[66], [67], [75], [82], [83], [84], [93], [99], [100], [101], [103], [105], [106], [109], [111], [113], [114], [115], [120], [121], [122], [124], [128], [129], [130], [135], [136], [137], [139], [164], [165], [166], [171], [172], [175], [177], [181], [191], [217]
Повышение эффективности	36	[66], [73], [75], [77], [82], [84], [99], [100], [101], [102], [103], [105], [106], [107], [109], [111], [113], [115], [120], [121], [128], [129], [130], [136], [137], [139], [141], [142], [143], [164], [171], [177], [180], [181], [191]
Оптимизация процессов Оценка качества решений Оптимизация модели	17	[66], [84], [100], [105], [106], [107], [109], [111], [121], [122], [128], [135], [137], [139], [164], [171], [181]
Оптимизация ресурсов Распределение ресурсов Управление ресурсами Учет ресурсов	17	[73], [77], [87], [106], [114], [122], [124], [135], [136], [142], [143], [165], [166], [171], [180], [191], [217]
Комплексное проектирование Модернизация проектирования Оптимизация проектирования	13	[67], [77], [82], [99], [101], [102], [103], [113], [120], [130], [136], [175], [177]
Внедрение BIM технологий Автоматизация проектирования Внедрение информационных технологий Использование цифровых технологий Информационные технологии	7	[66], [73], [103], [107], [109], [129], [175]
Сетевое моделирование Минимизация простоев Оптимизация последовательности работ Совершенствование методов календарного планирования Использование ресурсных профилей Оптимизация поточного производства Оптимизация последовательности работ Оптимизация календарного планирования	7	[77], [82], [107], [115], [124], [158], [166]
Упоминается минимизация затрат, оценка стоимости работ через технико-экономические показатели, но без детализации стоимости работ	7	[84], [93], [114], [124], [165], [166], [217]

Продолжение таблицы 2325

Аспекты организационно-технологического проектирования (тезисно)	Количество статей	Ссылки
Контроль качества Повышение надежности конструкций Совершенствование неразрушающих методов Повышение эксплуатационных качеств Повышение надежности строительных процессов Оценка параметров	6	[67], [102], [105], [130], [172], [177]
Применение математических моделей Применение математических методов Интеллектуальное планирование Нейросетевые модели	6	[93], [101], [102], [165], [166], [181]
Моделирование работы бригад Моделирование процессов Разработка моделей Моделирование пространственной декомпозиции Рациональные схемы	5	[73], [75], [100], [120], [135]
Внедрение инноваций Внедрение современных технологий	4	[122], [137], [138], [164]
Организация строительной площадки Учет стесненных условий Оптимизация использования пространства (СГП)	4	[73], [111], [142], [180]
Внедрение энергосберегающих технологий Энергоэффективность Сокращение энергозатрат	5	[99], [113], [114], [217], [218]
Научно-техническое сопровождение Организационно-технологическая платформа Концептуально-методологические аспекты Научный анализ	3	[67], [121], [128]
Оптимизация реконструкции Оптимизация реновации Ликвидационный цикл	2	[141], [171]
Механизация процессов Оптимизация работы техники	2	[83], [93]
Повышение производительности Интенсификация процессов	2	[83], [191]
Технико-экономическое обоснование Учет инвестиционных аспектов Учет экономических факторов	2	[141], [143]
Оптимизация технологий	1	[83]
Экологичность строительства	1	[129]



Рисунок 32 – Аспекты организационно-технологического проектирования в отечественных научных исследованиях

Как можно заметить в работах многих авторов, на протяжении последних двух десятилетий термин организационно-технологическое проектирование активно используется в различных аспектах, однако единого, четко сформулированного определения этого понятия до сих пор не существует. Анализ научной литературы показывает, что совокупность составляющих данного понятия остается размытой и интерпретируется по-разному в зависимости от контекста.

Наиболее часто организационно-технологическое проектирование рассматривается в контексте учета условий строительства, что подчеркивает важность адаптации проектных решений к конкретным условиям строительной площадки. При этом основное внимание исследователей сосредоточено на повышении эффективности строительных процессов, что свидетельствует о стремлении к

оптимизации результатов. Однако вопросы технико-экономического обоснования и детализации стоимости, а также минимизации затрат остаются слабо проработанными (упоминаются лишь в 7 статьях), что существенно ограничивает возможность практического применения разработанных методик.

С точки зрения предметного содержания исследований, наибольшее внимание уделяется вопросам организации строительных процессов. Сюда входят такие аспекты, как оптимизация проектирования, календарное планирование, управление ресурсами и организация строительной площадки. В то же время, значительно меньше работ акцентируют внимание на технологических аспектах, таких как оптимизация технологий, механизация процессов и повышение производительности труда. Это говорит о том, что научное сообщество в большей степени воспринимает организационно-технологическое проектирование как инструмент, определяющий организацию строительного производства, а не как комплексный подход, включающий как организационные, так и технологические компоненты.

В последние годы наблюдается рост интереса к вопросам информационных технологий, что отражается в увеличении числа исследований, посвященных использованию современных методов моделирования, математических методов оптимизации, а также внедрению инноваций в строительную отрасль. Тем не менее, вопросы технологии производства работ (включая оптимизацию технологий, механизацию и повышение производительности труда) и архитектурно-строительного проектирования в рамках организационно-технологического проектирования остаются недостаточно изученными. Таким образом, исследователи чаще ассоциируют организационно-технологическое проектирование с вопросами сопровождения процессов организации строительного производства, а не с их технологической составляющей.

Кроме того, такие актуальные вопросы, как энергоэффективность и экологичность, практически не рассматриваются в контексте организационно-технологического проектирования, что свидетельствует о недостаточном внимании к этим аспектам в научных исследованиях.

Анализ применения понятия организационно-технологического проектирования на разных стадиях жизненного цикла здания (Рисунок 33) показывает, что оно преимущественно используется на этапах проектирования и строительства. Исследования, посвященные организационно-технологическому проектированию на этапах эксплуатации (капитальный ремонт и реконструкция) и ликвидации (снос) объектов капитального строительства, встречаются значительно реже. При этом в таких работах стадия проектирования часто выделяется отдельно в тексте и ключевых словах исследования (см. Таблица 23 и Рисунок 32). Также стоит отметить, что понятие организационно-технологического проектирования объективно не затрагивает этап инженерных изысканий.

Таким образом, можно сделать вывод, что, несмотря на активное использование термина «организационно-технологическое проектирование» в научной литературе, его содержание и применение остаются недостаточно систематизированными. Это требует дальнейшего изучения и уточнения, особенно в контексте технологических аспектов, энергоэффективности и экологичности, а также применения на этапах эксплуатации и ликвидации объектов.



Рисунок 33 – Стадии жизненного цикла, упоминаемые в отечественных исследованиях ОТП

Как было отмечено ранее, сущность понятия организационно-технологического проектирования в первую очередь связана с нормативно-техническим регулированием в строительной отрасли и обладает спецификой, характерной для Российской Федерации. Однако, в нормативных документах редко встречается прямое

определение термина «организационно-технологическое проектирование», так как это скорее обобщенное понятие, которое включает в себя разработку проекта организации строительства (ПОС) и проекта производства работ (ППР). В некоторых документах есть упоминания, связанные с этим понятием (Таблица 26). Данная таблица позволяет провести сравнительный анализ требований и подходов, изложенных в различных нормативных документах, в контексте организационно-технологического проектирования в строительстве.

Таблица 26 – Сводная таблица нормативных документов, включающих аспекты проектирования организации строительства и технологии строительства

Нормативный документ	Основные положения содержания организационно-технологического проектирования	Ключевые аспекты
ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020	В документе представлены общие термины, используемые в области строительства зданий и сооружений. Однако понятие организационно-технологического проектирования явно не упоминается.	Отсутствие прямого упоминания организационно-технологического проектирования.
Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87	Проектная документация должна включать раздел «Проект организации строительства (ПОС)», содержащий организационно-технологические решения, направленные на обеспечение выполнения строительно-монтажных работ.	Организационно-технологические решения в ПОС.
Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87	В разделе ПОС должны быть отражены: последовательность выполнения работ, потребность в ресурсах, мероприятия по обеспечению безопасности и охране труда, а также графики выполнения работ.	Последовательность работ, ресурсы, безопасность, графики.
СП 48.13330.2019	Проект организации строительства (ПОС) должен включать организационно-технологические решения, обеспечивающие выполнение строительно-монтажных работ в установленные сроки с соблюдением требований качества и безопасности.	Организационно-технологические решения в ПОС, сроки, качество, безопасность.
СП 48.13330.2019	Организационно-технологические решения в ПОС должны учитывать особенности строительной площадки, климатические условия, наличие ресурсов и требования проектной документации.	Учет условий строительства, ресурсов, проектной документации.
МДС 12-29.2006	Организационно-технологическое проектирование в рамках ППР включает разработку технологических карт, схем выполнения работ, графиков поставки материалов и мероприятий по охране труда.	Технологические карты, схемы работ, графики поставки, охраны труда.

Продолжение таблицы 2427

Нормативный документ	Основные положения содержания организационно-технологического проектирования	Ключевые аспекты
МДС 12-29.2006	Целью организационно-технологического проектирования является обеспечение выполнения строительных работ в соответствии с проектной документацией и нормативными требованиями.	Соответствие проектной документации, нормативные требования.
ГОСТ Р 21.1101-2020	Организационно-технологическая часть проектной документации должна содержать решения по организации строительства, включая последовательность выполнения работ, потребность в ресурсах и мероприятия по обеспечению безопасности.	Последовательность работ, ресурсы, безопасность.
МДС 12-81.2007	Организационно-технологическое проектирование в строительстве включает разработку решений по организации строительной площадки, выбору методов производства работ, обеспечению строительства ресурсами и контролю качества.	Организация площадки, методы работ, ресурсы, контроль качества.
МДС 12-81.2007	Основной задачей организационно-технологического проектирования является создание условий для эффективного и безопасного выполнения строительно-монтажных работ.	Эффективность, безопасность.
СП 45.13330.2017	Организационно-технологические решения при производстве земляных работ должны учитывать особенности грунтов, климатические условия и требования безопасности.	Учет грунтов, климата, безопасности.
СП 70.13330.2012	Организационно-технологические решения при монтаже конструкций должны обеспечивать их устойчивость, точность установки и безопасность выполнения работ.	Устойчивость, точность, безопасность.
СниП 12-03-2001	Организационно-технологические решения должны включать мероприятия по обеспечению безопасности работ, включая инструктаж рабочих, применение средств индивидуальной защиты и ограждение опасных зон.	Безопасность, инструктаж, СИЗ, ограждение зон.
СТО НОСТРОЙ 2.33.51-2011	Организационно-технологическое проектирование рассматривается как часть процесса планирования и управления строительством. Включает разработку технологических карт, схем выполнения работ, графиков поставки материалов и мероприятий по охране труда.	Технологические карты, схемы работ, графики поставки, охрана труда, безопасность.

Можно сформулировать общие выводы:

1. ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020 представляет собой исключение, поскольку не содержит прямого упоминания организационно-технологического проектирования, ограничиваясь общей терминологией, связанной со строительством.

2. Организационно-технологическое проектирование является обязательным компонентом проектной документации, особенно в разделе «Проект организации строительства (ПОС)».

3. Основные аспекты организационно-технологического проектирования включают:

- определение последовательности выполнения строительных работ;
- расчет потребности в ресурсах (материалы, оборудование, трудовые ресурсы);
- разработку мероприятий по обеспечению безопасности и охране труда;
- учет особенностей строительной площадки, климатических условий и требований проектной документации.

4. Целью организационно-технологического проектирования является обеспечение выполнения строительных работ в установленные сроки с соблюдением требований качества, безопасности и экологических норм.

5. Нормативные документы подчеркивают необходимость разработки:

- технологических карт,
- схем выполнения работ,
- графиков поставки материалов,
- мероприятий по охране труда.

Анализ содержания организационно-технологического проектирования схематично представлен на схеме (Рисунок 34). Данный анализ основывается на интерпретации ключевых понятий, таких как «проект», «организация» и «технология» строительства, которые детализируются через совокупность нормативно-технических документов, регулирующих каждый этап жизненного цикла строительного объекта. Эти документы включают требования к разработке проектной документации, организации строительного производства, технологическим процессам, а также к обеспечению безопасности, качества и соблюдению сроков выполнения работ.

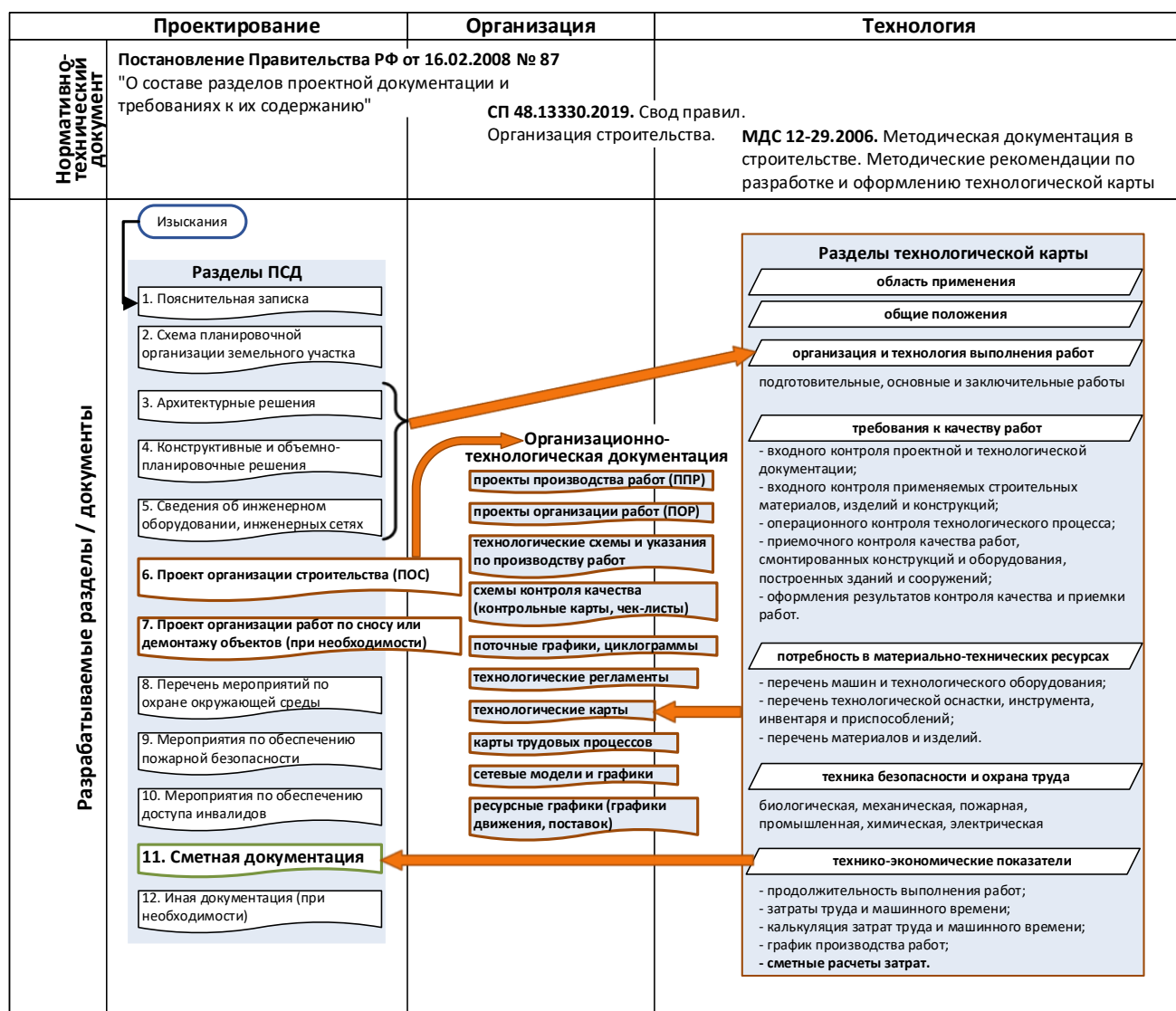


Рисунок 34 – Взаимосвязь процессов и документов организационно-технологического проектирования строительно-монтажных работ

На схеме отражена взаимосвязь между проектно-сметной документацией и документами, регулирующими процессы организации и технологии строительного производства. Важно отметить, что данная связь носит не только прямой, но и обратный характер: аспекты организационно-технологического проектирования (ОТП) оказывают существенное влияние на содержание и корректировку проектно-сметной документации. Это подчеркивает важность ОТП как инструмента оптимизации строительных процессов.

Основные аспекты понятия организационно-технологического проектирования, представленные в соответствии с требованиями нормативных документов, систематизированы в таблице (Таблица 25).

Таблица 28 – Систематизация требований нормативных документов к ОТП

Аспект	Содержание
Определение	Процесс разработки решений, направленных на эффективное выполнение строительно-монтажных работ.
Включает	- Планирование последовательности работ. - Выбор методов и технологий строительства. - Определение потребности в ресурсах (материалы, оборудование, трудовые ресурсы). - Разработку мероприятий по обеспечению безопасности, качества и сроков выполнения работ.
Цель	- Оптимизация строительного процесса. - Минимизация затрат. - Обеспечение высокого качества строительства.
Нормативные ограничения	- Прямое определение термина в нормативных документах отсутствует. - Суть раскрывается через требования к разработке ПОС и ППР.
Основные аспекты в нормативных документах	- Учет особенностей строительной площадки, климатических условий, ресурсов и проектной документации. - Обеспечение безопасности, качества и сроков выполнения работ. - Разработка технологических карт, схем выполнения работ, графиков поставки материалов. - Мероприятия по охране труда и безопасности.
Ключевые нормативные документы	- МДС 12-81.2007 и СП 48.13330.2019: наиболее полно раскрывает понятие организационно-технологического проектирования. - Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 : требования к организационно-технологическим решениям в рамках ПОС и проектной документации.

На основании проведенного анализа можно дать следующую формулировку понятия **организационно-технологического проектирования в строительстве** – это комплексный процесс разработки решений, направленных на оптимизацию строительного процесса, включая планирование, выбор технологий, обеспечение ресурсами, контроль качества и безопасности, а также соблюдение сроков выполнения работ.

Таким образом, во многих научных работах термин организационно-технологическое проектирование используется в некорректной коннотации, что зачастую вводит в заблуждение при формулировании цели, задач, предмета и объекта исследования. Безусловно, понятие организационно-технологического проектирования, как и сам процесс, тесно связано с архитектурно-строительным и инвестиционно-строительным проектированием, однако оно имеет четко выраженную

сущность, которая в первую очередь связана с организацией и технологией строительного процесса.

Наиболее точная формулировка понятия представлена в МДС 12-81.2007, где детально раскрыты такие ключевые элементы, как проект организации строительства (ПОС), проект производства работ (ППР) и технологическая карта (ТК). При поиске и анализе существующих исследований, использующих понятие организационно-технологического проектирования, возникают сложности в определении их специализации, что подчеркивает необходимость более четкого разграничения терминологии. Формирование тематики новых исследований должно основываться на осмысленном использовании данного понятия с учетом специфики объекта и предмета исследования.

В настоящей работе формулировка понятия организационно-технологического проектирования должна учитывать особенности проектирования, организации и технологии капитального ремонта жилищного фонда. Как было отмечено ранее, исследований в области организационно-технологического проектирования на этапе эксплуатации представлено незначительно. Основой для формулировки понятия при капитальном ремонте служит нормативно-техническая документация, регламентирующая процессы капитального ремонта, включая требования к проектно-сметной документации, организации и технологии работ, обеспечению ресурсами, безопасности и качеству выполнения.

Для реализации капитального ремонта жилищного фонда разработан комплекс подзаконных нормативных актов федерального и регионального уровня, включая методические рекомендации, технические регламенты и разъяснительные письма соответствующих ведомств. Эти документы направлены на унификацию и упрощение процедур проектирования, определения стоимости работ и организации ремонтно-строительных работ, что способствует повышению эффективности и прозрачности процесса. Основные нормативные документы, регулирующие данный процесс, представлены в сводной таблице нормативных актов (Таблица 26, Таблица 27).

Таблица 29 – Сводная таблица нормативных документов, отражающих особенности проектирования, организации и технологии капитального ремонта

Нормативный документ	Краткое описание содержания
Градостроительный кодекс РФ (статья 49)	Устанавливает случаи, когда экспертиза проектной документации не требуется (например, для капитального ремонта, не затрагивающего несущие конструкции).
Градостроительный кодекс РФ (статья 48, п. 12.2)	Устанавливает, что смета на капитальный ремонт составляется на основе акта, утвержденного застройщиком или техническим заказчиком, содержащего перечень дефектов. Иные разделы разрабатываются по инициативе застройщика.
Письмо Минстроя России от 21 февраля 2022 г. № 3363-ОГ/08	Разъясняет вопросы разработки проектной документации при капитальном ремонте, ссылаясь на Федеральный закон № 384-ФЗ и Градостроительный кодекс РФ.
Письмо от 28.10.2020 № 43518-ИФ/09	Содержит порядок проверки сметной стоимости капитального ремонта объектов капитального строительства.
СП 368.1325800.2017 «Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта»	Регламентирует проектирование капитального ремонта жилых зданий, включая использование типовых решений.

Таблица 30 – Требования к проектно-сметной документации при капитальном ремонте зданий (особенно многоквартирных домов)

Аспект	Требования	Нормативные документы
Обязательность разработки	Проектная документация обязательна при финансировании капитального ремонта из бюджетных средств или средств государственных/муниципальных организаций. В остальных случаях застройщик может ограничиться сметой.	Часть 12.2 статьи 48 ГрК РФ, Письмо Минстроя от 28.10.2020 № 43518-ИФ/09
Смета на капитальный ремонт	Разрабатывается на основании дефектного акта, утвержденного застройщиком или техническим заказчиком. Дефектный акт содержит перечень дефектов с указанием качественных и количественных характеристик.	Часть 12.2 статьи 48 ГрК РФ, Письмо Минстроя от 28.10.2020 № 43518-ИФ/09
Дефектный акт	Должен содержать перечень дефектов оснований, строительных конструкций, инженерных систем и сетей с указанием их характеристик.	Часть 12.2 статьи 48 ГрК РФ
Дополнительные разделы проектной документации	Застройщик вправе по собственной инициативе разработать иные разделы проектной документации, если это необходимо для выполнения работ.	Часть 12.2 статьи 48 ГрК РФ
Состав проектной документации	Устанавливается Правительством РФ и зависит от вида объекта, назначения, вида работ и источников финансирования.	Часть 13 статьи 48 ГрК РФ, Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (Положение о составе разделов)

Продолжение таблицы 27

Аспект	Требования	Нормативные документы
Требования к содержанию разделов	Проектная документация должна включать решения, обеспечивающие безопасность здания, доступность элементов конструкций и инженерных систем для контроля.	Статья 15 Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
Особенности для многоквартирных домов	При капитальном ремонте общего имущества многоквартирных домов проектная документация может не разрабатываться в полном объеме. Основной документ – смета на основании дефектного акта.	Письмо Минстроя от 28.10.2020 № 43518-ИФ/09, СП 368.1325800.2017
Проверка сметной стоимости	Проверка обязательна, если сметная стоимость превышает 10 млн рублей и финансирование осуществляется из бюджетных средств.	Часть 2 статьи 8.3 ГрК РФ, Положение № 145 (Постановление Правительства РФ от 05.03.2007 № 145)
Плата за проверку сметной стоимости	Для многоквартирных домов плата за проверку составляет 24 тыс. рублей (включая НДС).	Пункты 57 и 57(3) Положения № 145
Проектирование капитального ремонта жилых зданий	Проектная документация должна включать смету, подготовленную на основании дефектного акта. Застройщик вправе разработать дополнительные разделы.	СП 368.1325800.2017 «Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта»
Экспертиза проектной документации	Экспертиза проектной документации не проводится для разделов, подготовленных для капитального ремонта, за исключением случаев, когда сметная стоимость подлежит проверке.	Часть 3 статьи 49 ГрК РФ

Пояснения:

ГрК РФ – Градостроительный кодекс Российской Федерации.

Федеральный закон № 384-ФЗ – «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Положение № 145 – Постановление Правительства РФ от 05.03.2007 № 145 «Об организации и проведении государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

Положение № 87 – Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

СП 368.1325800.2017 – Свод правил «Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта».

Отличительные особенности проектно-сметной документации при новом строительстве и капитальном ремонте систематизированы и представлены в Таблица 31. Данный сравнительный анализ позволяет выделить ключевые различия в подходах к формированию документации, включая специфику требований к проектированию, организации работ, расчету ресурсов и сметной стоимости.

Таблица 31 – Сравнительная таблица особенностей проектно-сметной документации для капитального ремонта

Критерий	Стандартные требования	С учетом послаблений
Изыскания	- Техническое заключение	- Дефектный акт
Состав разделов проектной документации	Полный перечень разделов, включая:	Упрощенный состав разделов:
	- Пояснительная записка	- Пояснительная записка
	- Архитектурно-строительные решения	- Архитектурно-строительные решения (необязательно)
	- Конструктивные решения	- Конструктивные решения (только при изменении несущих конструкций)
	- Инженерные решения	- Инженерные решения (только при изменении инженерных систем)
	- Проект организации строительства (ПОС)	- Упрощенный ПОКР (без детализации этапов)
	- Охрана окружающей среды	- Раздел «Охрана окружающей среды» не требуется, если нет значительного воздействия
	- Пожарная безопасность	- Раздел «Пожарная безопасность» не требуется, если не изменяются системы
	- Доступность для маломобильных групп	- Раздел «Доступность для маломобильных групп» не требуется, если не предусмотрены изменения
	- Сметная документация	- Сметная документация (укрупненные расчеты)
Выводы по содержанию ПСД при капитальном ремонте		
Техническое заключение	Полноценное техническое заключение с детальным обследованием	Возможность использования дефектных актов вместо полноценного технического заключения
Проект организации капитального ремонта (ПОКР)	Детализированный календарный план, мероприятия по безопасности, схемы организации строительной площадки	Упрощенный календарный план без детализации этапов
Типовые решения	Индивидуальные проектные решения для каждого объекта	Использование типовых проектных решений для стандартных работ (например, замена кровли, ремонт фасадов)
Сметная документация	Детализированные локальные сметы, сводный сметный расчет, обоснование стоимости	Укрупненные сметные расчеты, использование типовых показателей стоимости
Экспертиза	Обязательная экспертиза для всех видов капитального ремонта	Экспертиза не требуется, если:
		- Работы не затрагивают несущие конструкции
		- Не изменяются параметры здания (высота, площадь, этажность)
		- Не изменяются инженерные системы, влияющие на безопасность

На схеме (Рисунок 35) представлен перечень документов, которые должны входить в состав проектно-сметной документации на капитальный ремонт. Независимо от формы финансирования капитального ремонта, обязательными остаются сметная документация и результаты инженерных изысканий, направленных на выявление и идентификацию дефектов строительных конструкций и инженерных систем. При этом обязанность разработки дополнительных организационно-технологических документов (ОТД) нормативно не закреплена.

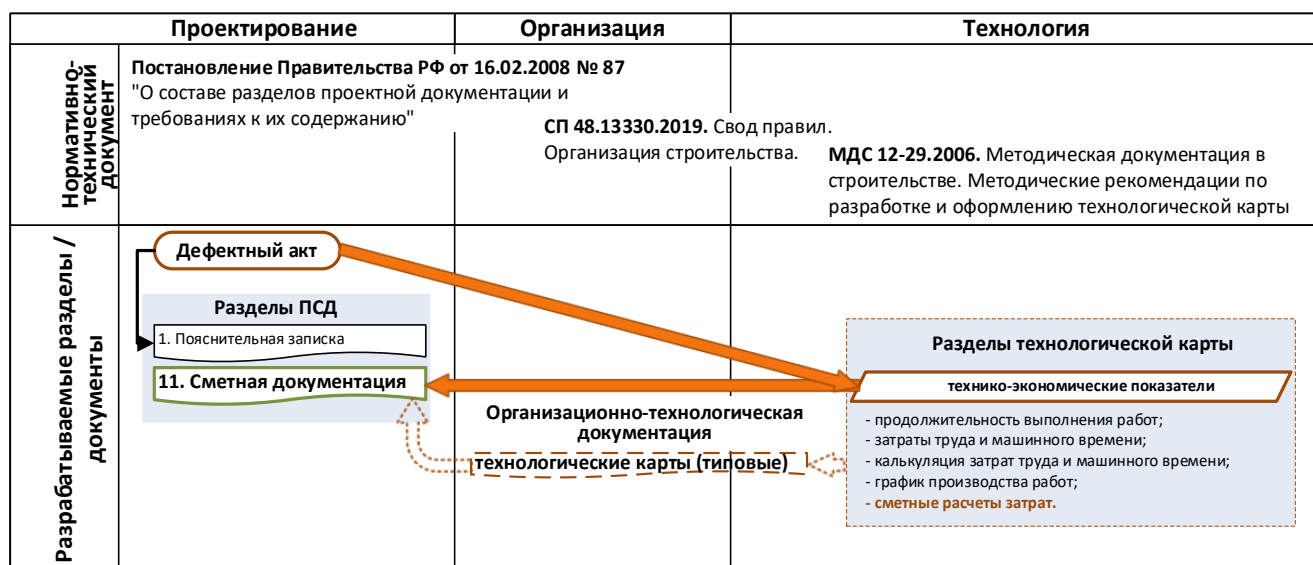


Рисунок 35 – Взаимосвязь процессов и документов организационно-технологического проектирования капитального ремонта

Для капитального ремонта установлен упрощенный состав проектной документации, что позволяет сократить временные и финансовые затраты на ее подготовку. Основные послабления касаются сокращения числа обязательных разделов, упрощения сметных расчетов и уменьшения объема согласований, возможности применения типовых проектных решений для типовых работ и отсутствие экспертизы проектной документации, если работы не затрагивают несущие конструкции и не изменяют параметры здания, что упрощает процесс проектирования и сокращает сроки подготовки документации.

Послабления в требованиях к проектно-сметной документации для капитального ремонта направлены на оптимизацию процесса проектирования и ускорение реализации проектов, особенно в сфере жилищного фонда. Однако при этом

должны быть обеспечены безопасность и надежность зданий, качество строительно-монтажных работ [22, 84, 87, 90, 91, 185, 186], что является приоритетным требованием в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ.

В соответствии со ст. 48 п. 12.2 Градостроительного кодекса Российской Федерации, разработка сметной документации на капитальный ремонт является обязательной процедурой. Смета формируется на основе дефектного акта, который утверждается застройщиком или техническим заказчиком. Остальные разделы проектной документации разрабатываются по усмотрению застройщика, если это необходимо для обеспечения выполнения строительно-монтажных работ. Таким образом, смета и дефектный акт становятся ключевыми элементами проектно-сметной документации, в которой детально отражаются виды, технологии и объемы ремонтно-строительных работ, а также расчет необходимых материально-технических ресурсов и стоимости выполнения работ.

Практические наблюдения свидетельствуют о том, что большинство заказчиков ограничиваются минимальным комплектом документов, включающим сметную документацию и результаты инженерных изысканий, что подчеркивает их ключевую роль в процессе организации капитального ремонта. Такой подход существенно снижает значимость и качество организационно-технологического проектирования, сводя его преимущественно к распределению ограниченных финансовых средств фондов капитального ремонта.

Ввиду отсутствия нормативной обязательности разработки большинства документов организационно-технологического проектирования, таких как проект организации строительства (ПОС) и проект производства работ (ППР), этап инженерных изысканий (выявление и определение перечня дефектов) становится базовым элементом организационно-технологического проектирования капитального ремонта. При этом сметная стоимость затрат зачастую становится его итоговым результатом (см. Рисунок 35).

Таким образом, сметная документация в рамках организационно-технологического проектирования при капитальном ремонте приобретает новое функциональное значение. Она выступает в качестве документа, содержащего

исчерпывающий перечень и объемы строительно-монтажных работ, и фактически интегрируется в состав организационно-технологической документации. Это подчеркивает ее важность как основного инструмента планирования, контроля и финансирования выполнения ремонтных работ.

Исходя из вышеизложенного, определение понятия организационно-технологического проектирования при капитальном ремонте можно сформулировать следующим образом:

Организационно-технологическое проектирование применительно к ремонтно-строительным работам и планированию капитального ремонта – это процесс разработки комплекса организационных, технологических и экономических решений, направленных на эффективное выполнение ремонтных работ. Оно включает в себя определение дефектов, выбор методов и технологий ремонта, планирование последовательности работ, определение потребности в ресурсах (материалы, оборудование, трудовые ресурсы), расчет стоимости работ на основе сметной документации, а также разработку мероприятий по обеспечению безопасности, качества и сроков выполнения работ.

Основная цель организационно-технологического проектирования в ремонтно-строительных работах – оптимизация процесса ремонта, минимизация затрат и обеспечение высокого качества выполнения работ при строгом соблюдении сметной стоимости в рамках бюджетных ограничений.

Процесс организационно-технологического проектирования при капитальном ремонте включает разработку комплекса решений, включающих:

- 1) *организационные*:
 - планирование последовательности и сроков выполнения работ;
 - определение потребности в ресурсах (материалы, оборудование, трудовые ресурсы);
 - обеспечение безопасности и минимизация воздействия на эксплуатацию объекта;
- 2) *технологические*:
 - выбор методов и технологий выполнения ремонтных работ;

- разработка технологических карт и проектов производства работ (ППР);

3) экономические:

- расчет стоимости работ на основе сметной документации;
- формирование локальных и сводных смет как основного документа проектно-сметной документации капитального ремонта;
- контроль за соблюдением сметной стоимости на всех этапах выполнения работ.

Исходя из уточненного определения понятия организационно-технологического проектирования при капитальном ремонте, сметная документация представляет собой его ключевой результат. Она служит основой для инвестиционно-строительного планирования, что подчеркивает комплексный характер процесса. Таким образом, капитальный ремонт жилищного фонда базируется не только на организации и технологии ремонтно-строительных работ, но и на инвестиционно-строительном планировании.

Понятия организационно-технологического проектирования и инвестиционно-строительного планирования капитального ремонта тесно взаимосвязаны. Организационно-технологическое проектирование обеспечивает технико-экономическое обоснование ремонтных работ, включая определение объемов, сроков и стоимости. Инвестиционно-строительное планирование, в свою очередь, направлено на оптимизацию финансовых и временных ресурсов, обеспечивая эффективное распределение средств и контроль за их использованием.

В совокупности эти процессы формируют основу для эффективного управления капитальным ремонтом, обеспечивая соблюдение нормативных требований, прозрачность принимаемых решений и достижение запланированных результатов. Такой подход позволяет минимизировать риски, связанные с недофинансированием, необоснованным затягиванием сроков и низким качеством работ, что особенно важно в условиях реализации региональных программ капитального ремонта.

Организационно-технологическое проектирование и планирование, а также организация инвестиционно-строительной деятельности – это взаимосвязанные, но различные по масштабу и содержанию понятия.

Организационно-технологическое проектирование представляет собой часть более широкого процесса планирования и организации инвестиционно-строительной деятельности. Оно фокусируется на технико-экономическом обосновании, разработке технологических решений и определении оптимальных методов выполнения работ.

Планирование и организация инвестиционно-строительной деятельности охватывают весь жизненный цикл проекта, включая предпроектные исследования, проектирование, строительство, ввод в эксплуатацию и последующую эксплуатацию объекта.

Таким образом, организационно-технологическое проектирование является неотъемлемым элементом планирования и организации инвестиционно-строительной деятельности.

Применительно к капитальному ремонту зданий важно учитывать специфику этого процесса, который существенно отличается от нового строительства. Капитальный ремонт требует тщательного анализа текущего состояния объекта, прогнозирования изменений его технических характеристик и разработки решений, которые обеспечат долговечность и безопасность здания.

Реализация планирования и организации инвестиционно-строительной деятельности при капитальном ремонте невозможна без организационно-технологического проектирования. Именно данный этап обеспечивает:

- эффективность – определение оптимальных объемов, сроков и стоимости работ;
- безопасность – разработка решений, соответствующих нормативным требованиям и условиям эксплуатации объекта;
- качество – выбор технологий и материалов, которые гарантируют долговечность и надежность выполненных работ.

Отсутствие организационно-технологического проектирования может привести к ряду негативных последствий, таких как:

- необоснованное завышение или занижение объемов и стоимости работ;
- нарушение сроков выполнения ремонта из-за неправильного планирования ресурсов;
- снижение качества работ и, как следствие, сокращение срока службы отремонтированных конструкций;
- повышение рисков аварийных ситуаций из-за недостаточного учета технического состояния объекта.

Эти негативные последствия являются критическими при реализации программ капитального ремонта жилищного фонда, поскольку они напрямую влияют на экономическую целесообразность и техническую выполнимость проектов.

Организационно-технологическое проектирование является ключевым этапом, который обеспечивает успешную реализацию капитального ремонта и достижение запланированных результатов. Его игнорирование или недостаточная проработка могут привести к значительным финансовым, временным и техническим потерям.

Однако, наблюдается проблема противоречия между необходимостью упрощения процедур капитального ремонта и ослаблением требований к организационно-технологическому проектированию. С одной стороны, снижение нормативных требований к проектированию может способствовать ускорению процессов, но, с другой стороны, попытка исключить или минимизировать этап организационно-технологического проектирования сопряжена с существенными рисками.

Инвестиционно-строительная деятельность в рамках капитального ремонта предполагает формирование как краткосрочных планов, так и долгосрочных программ ремонтных мероприятий. Основой для этого служит оценка фактической и прогнозной стоимости работ, полученная на этапе организационно-технологического проектирования. При этом учитываются ограниченные финансовые ресурсы, как текущие, так и прогнозируемые, что требует тщательного анализа и балансировки между техническими, экономическими и временными параметрами проекта.

Такой подход позволяет обеспечить рациональное использование ресурсов и достижение поставленных целей в рамках установленных бюджетных ограничений.

Таким образом, организационно-технологическое проектирование остается ключевым элементом, обеспечивающим эффективность и устойчивость программ капитального ремонта. Его исключение или упрощение может привести к значительным негативным последствиям, что подчеркивает необходимость сохранения этого этапа как неотъемлемой части процесса.

2.4 Методология организационно-технологического проектирования комплексного ремонта

Содержание организационно-технологического проектирования строительно-монтажных работ при новом строительстве (см. Рисунок 34) представляет собой комплексный процесс, основанный на данных архитектурно-строительного проектирования (АСП). Внешними входами данными АСП выступают результаты инженерно-технических изысканий, включая геодезические, геологические и экологические исследования.

Архитектурно-конструктивные решения в проектной документации служат достаточным основанием для определения номенклатуры технологических операций (видов строительно-монтажных работ), разработки ведомости объемов работ (ВОР) с детализацией по конструктивным элементам здания в рамках АСП. То есть данные АСП формируют методологическую основу для последующего организационно-технологического проектирования, в рамках которого разрабатываются документы, регламентирующие производственный процесс: проект организации строительства (ПОС) с приложением календарного графика строительства и стройгенплана, проект производства работ (ППР) [СП 48.13330.2019] и технологические карты (ТК) [МДС 12-29.2006] на выполнение отдельных видов работ.

Сметное нормирование не входит в контур организационно-технологического проектирования и осуществляется на базе утвержденной номенклатуры работ, при этом каждый технологический процесс определен архитектурно-

строительным решением подлежит стоимостной оценке в рамках сметной документации (локальных сметных расчетов (ЛСР)) (Рисунок 36).

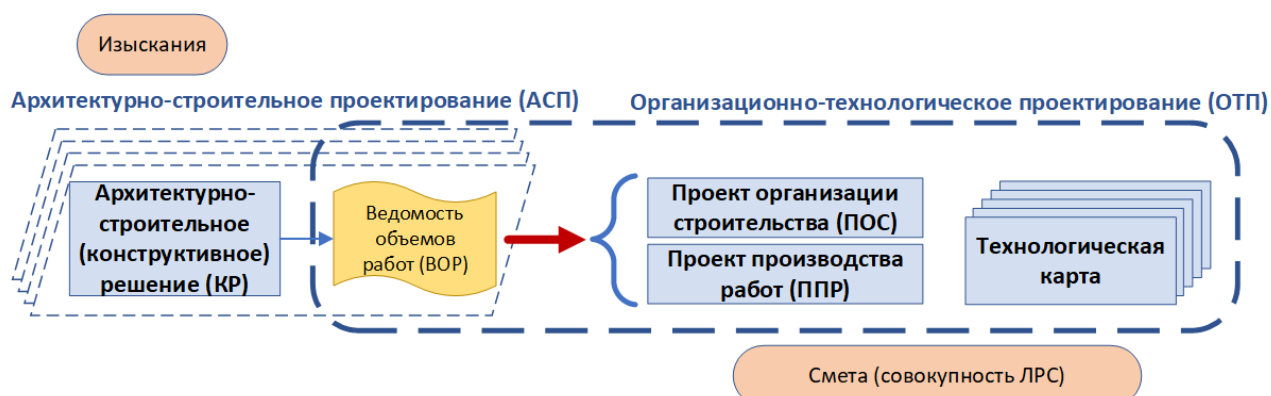


Рисунок 36 – Алгоритм организационно-технологического проектирования при новом строительстве

Ключевой особенностью организационно-технологического проектирования капитального ремонта является то, что в отличие от нового строительства, основой для формирования ведомости объемов работ служат результаты технического обследования объекта, включающего оценку технического состояния здания и выявление дефектов конструктивных элементов (см. Рисунок 35). При этом архитектурные и конструктивные решения (данные архитектурно-строительного проектирования) используются в качестве внешней исходной информации.

Таким образом, результаты изысканий на этапе эксплуатации здания включаются в систему организационно-технологического проектирования капитального ремонта как определяющие факторы для:

- формирования технологических процессов и операций;
- определения объемов ремонтных работ.

Упрощенный состав проектной документации включает сметные расчеты как основной документ организационно-технологического планирования (долгосрочного календарного планирования при прогнозируемом и конкурирующем характере ремонтных работ). При этом смета становится неотъемлемой частью организационно-технологической документации капитального ремонта, поскольку:

- определяет технологии строительных работ (включая технологические процессы и операции);

- фиксирует объемы работ и потребность в ресурсах;
- служит основой для организации капитального ремонта, в том числе для определения сроков производства работ в рамках долгосрочного календарного планирования.

Таким образом, рамки организационно-технологического проектирования капитального ремонта расширяются и могут быть сформулированы базовый укрупненным алгоритм организационно-технологического проектирования капитального ремонта для строительного элемента (Рисунок 37). Этот алгоритм включает следующие этапы:

- 1) Анализ архитектурно-строительных решений – изучение исходных данных проектирования.
- 2) Техническое обследование объекта – оценка технического состояния, формирование перечня дефектов и их причин, определение факторов, влияющих на объем и характер ремонтных работ.
- 3) Разработка технологических решений – выбор методов и технологий устранения дефектов.
- 4) Формирование ведомости объемов работ – расчет необходимых объемов работ на основе выявленных дефектов и выбранных технологий.
- 5) Составление сметной документации – определение стоимости работ с учетом материальных и трудовых ресурсов.
- 6) Разработка организационно-технологической документации, оптимизация и планирование – определение приоритетов работ, составление долгосрочного календарного плана и распределение ресурсов.

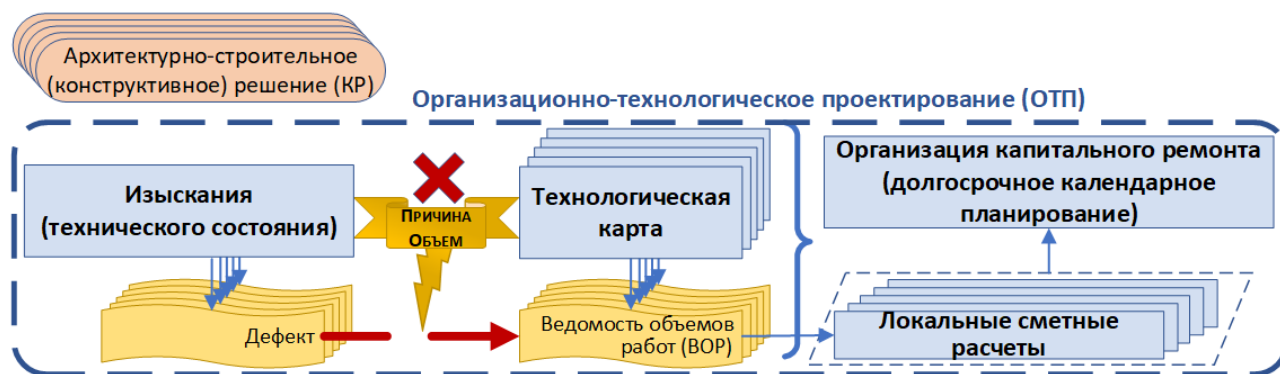


Рисунок 37. Укрупненная схема алгоритма поэлементного предупредительного организационно-технологического проектирования капитального ремонта

В ходе эксплуатации объектов наблюдается следующая закономерность: однотипные элементы типовых жилых зданий, находящиеся в эксплуатации одинаковый период времени, могут иметь различный перечень дефектов. Это обусловлено различиями в режимах эксплуатации, внешних воздействиях и качестве первоначального строительства. Данный факт делает невозможным определение номенклатуры и объемов ремонтных работ исключительно на основе конструктивных, объемно-планировочных и технических характеристик элементов.

Важным аспектом проектирования капитального ремонта является то, что ведомость объемов работ не может быть однозначно определена даже при наличии исчерпывающих данных об архитектурно-строительных решениях и техническом состоянии здания. Формирование ведомости объемов работ осуществляется с учетом технологий их выполнения, а также обязательного анализа причин возникновения дефектов.

Например, увлажнение стен подвала может быть вызвано рядом причин: плохая гидроизоляция, трещины в цоколе, отсутствие вентиляции подвальных помещений, протечки в инженерных сетях и другие факторы, либо их совокупностью. В зависимости от выявленных причин варьируются технологические решения и объемы работ, что, в свою очередь, влияет на материальные ресурсы и стоимостные показатели. Таким образом, признак и причина возникновения дефекта не могут служить единственным критерием оценки технического состояния. При определении технического состояния объекта необходимо не только выявить дефекты, но и установить виды и объемы работ по их устранению.

Именно причины возникновения дефектов, их объемы и сформированная на этой основе технология выполнения работ создают фактор неопределенности, затрудняющий организационно-технологическое проектирование капитального ремонта, особенно при реализации массовых региональных программ.

Анализ причин дефектов позволяет прогнозировать динамику их развития, что является ключевым фактором для разработки стратегии поэлементного ремонта в условиях ограниченных финансовых ресурсов. Это требует проведения комплексного анализа и оптимизации ремонтных мероприятий, а также

определения приоритетов выполнения работ на основе критериев технической необходимости и экономической целесообразности.

Процесс организационно-технологического проектирования капитального ремонта здания методически может быть разделен на ключевые этапы, что отражено в функциональной блок-схеме. (Рисунок 38).

I и II этапы заключаются в проведении обследования конструкций силами эксплуатирующих организаций. При этом, согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации, капитальному ремонту не подлежат аварийные и ограниченно-работоспособные элементы. Обнаружение таких элементов автоматически влечет необходимость проведения дополнительного обследования и мониторинга с привлечением специализированных изыскательских организаций. Проектирование работ по восстановлению (если оно возможно) предполагает разработку полного комплекта проектной документации. Отсутствие признаков аварийного или ограниченно-работоспособного состояния конструкций позволяет эксплуатирующей организации осуществить II этап обследования.

III и IV этапы находятся в компетенции подрядной ремонтно-строительной организации. Согласно представленному алгоритму, подрядчик на основании дефектного ведомости:

- определяет технологию и объемы ремонтно-строительных работ;
- разрабатывает организационно-технологическую документацию капитального ремонта.

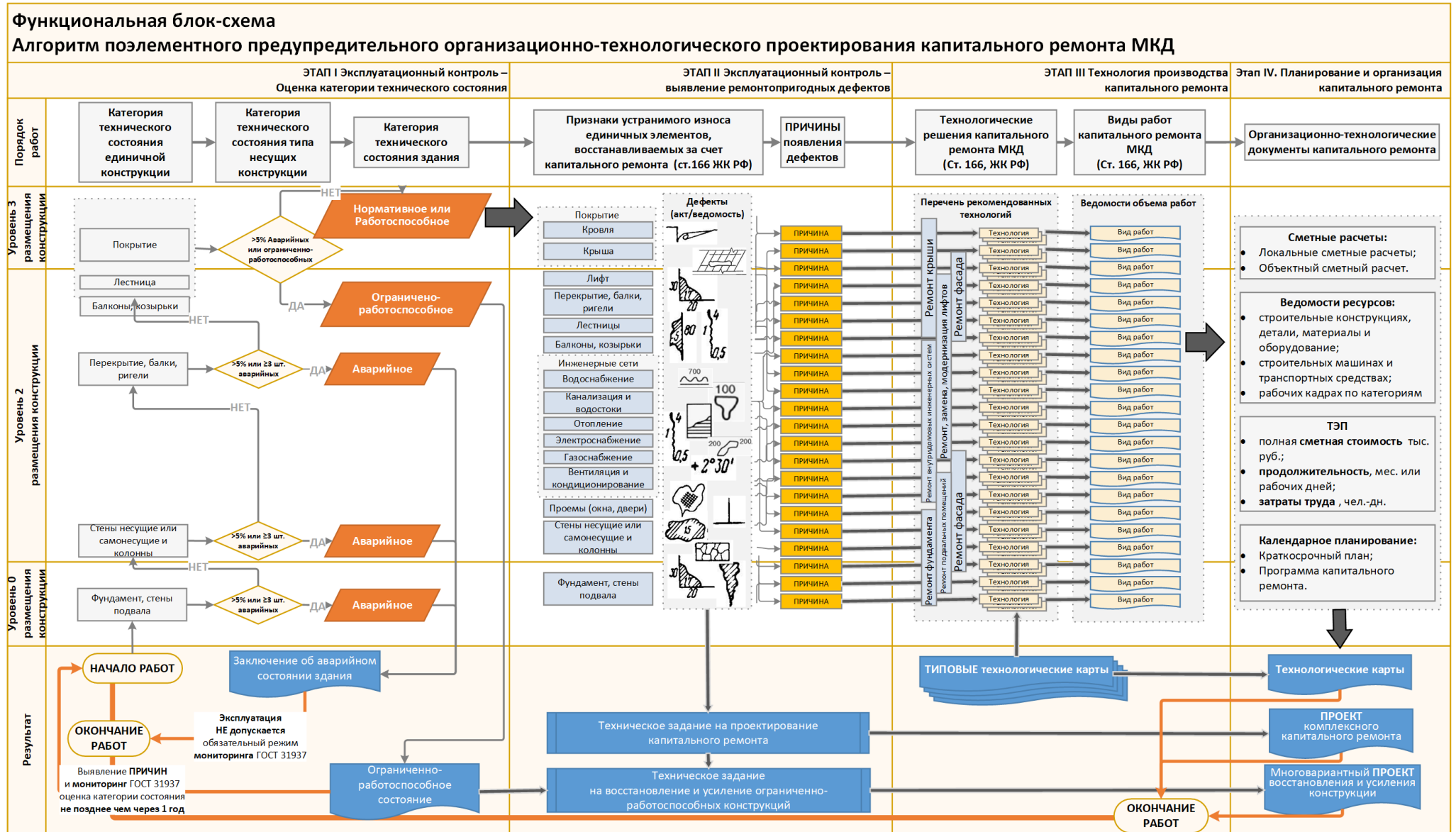


Рисунок 38 – Функциональная блок-схема алгоритма ОТП комплексного предупредительного капитального ремонта

ЭТАП I. Эксплуатационный контроль – определение категории технического состояния

Анализ жилищного фонда и региональных программ капитального ремонта указывает на недостаточный мониторинг и учет технического состояния и выявление аварийного жилья – динамика выявления жилищного фонда, непригодного для дальнейшей эксплуатации низкая. Поэтому при мониторинге технического состояния прежде всего необходимо выявить такие объекты.

На первом этапе эксплуатирующая организация проводит визуальный и инструментальный осмотр несущих конструкций здания, включая фундаменты, стены, перекрытия, кровлю и инженерные системы. Результатом данного этапа является определение категории технического состояния здания в соответствии с СП 454.1325800.2019 «Правила оценки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния». Если выявлены признаки аварийного или ограниченно-работоспособного состояния, работы эксплуатирующей организации завершаются. Для дальнейшего обследования привлекается специализированная организация, обладающая необходимыми компетенциями и лицензиями. Решение о сносе или возможности будущей эксплуатации после проведения реконструкции принимается на основании заключения специализированной организации.

Следует отметить, что процессы реконструкции и сноса не входят в состав работ по капитальному ремонту жилищного фонда и не финансируются за счет фонда капитального ремонта. В связи с этим они исключаются из дальнейшего рассмотрения в рамках настоящего исследования.

ЭТАП II. Эксплуатационный контроль – выявление ремонтпригодных дефектов

Реализация второго этапа силами эксплуатирующей организации возможна только при условии того, что объект находится в работоспособном или нормативном состоянии. На этом этапе необходимо:

1. Произвести моделирование (декомпозиция) системы строительных элементов в соответствии со структурой работ, входящих в перечень капитального ремонта многоквартирных домов (МКД) согласно ст. 166. ЖК РФ.

2. Необходимо выявить всю совокупность имеющихся дефектов по соответствующим признаками износа, при котором отдельные контролируемые характеристики элементов не отвечают требованиям проекта или нормативным требованиям, такие как трещины, коррозия арматуры, деформации, протечки, биопоражения и другие признаки износа.

Этот этап требует детального анализа состояния конструкций и формирования базы данных для дальнейшего планирования ремонтных работ. При этом особое внимание уделяется классификации дефектов по степени их критичности и влиянию на эксплуатационные характеристики здания.

Этап III. Технологии производства капитального ремонта

На третьем этапе осуществляется формирование перечня технологических решений для выполнения ремонтно-строительных и специальных строительных работ. Этот этап предполагает детальный анализ выявленных дефектов и выбор оптимальных методов их устранения с учетом причин возникновения, степени повреждения и эксплуатационных требований к конструкциям.

Однотипные дефекты (например, трещины, коррозия, деформации) могут быть вызваны различными причинами, такими как:

- механические нагрузки (сейсмические воздействия, усадка фундамента);
- агрессивные среды (повышенная влажность, химические воздействия);
- эксплуатационные факторы (износ материалов, нарушение температурно-влажностного режима).

В связи с этим для устранения дефектов требуется применение различных технологических решений, например, таких как:

- инъектирование трещин с использованием полимерных или цементных составов для восстановления монолитности конструкций;

- гидроизоляция с применением рулонных, обмазочных или проникающих материалов для защиты от протечек и капиллярного подсоса влаги;
- усиление конструкций с использованием композитных материалов (углеволокно, стеклопластик) или стальных конструкций (накладки, обоймы);
- замена изношенных элементов, таких как кровельное покрытие, оконные и дверные блоки, с применением современных материалов, отвечающих требованиям энергоэффективности и долговечности и др.

При выборе технологий учитываются:

- технические характеристики материалов (прочность, долговечность, адгезия);
- требования к механизмам и оборудованию (краны, подъемники, сварочные аппараты);
- экономическая целесообразность (стоимость материалов, трудоемкость работ);
- местные условия производства работ, характеризующиеся природно-климатическими, инженерно-геодезическими особенностями, влияющими на техническое состояние зданий и строительное производство.

Данный этап требует высокой квалификации специалистов, включая инженеров-строителей, технологов и сметчиков, поэтому на практике эксплуатирующие организации обычно привлекают ремонтно-строительных организаций, которые будут реализовывать капитальный ремонт и обладают необходимым опытом и техническими ресурсами. Практика показывает, что данные сформированных на этапе эксплуатационного контроля технического состояния дефектных актов оказывается недостаточно для формирования ведомостей объемов работ, что возвращает процесс организационно-технологического проектирования на этап II по причине укрупненного и усредненного характера сформированных эксплуатационной организацией признаков дефектов. Это значительно повышает трудоемкость работ ввиду дублирования операций.

Этап IV. Планирование и организация капитального ремонта

На основе определенных технологических решений осуществляется формирование ведомостей объемов работ, сметной документации, определение необходимых ресурсов. Также возможна (но не обязательна) разработка элементов проекта организации строительства (ПОС) и проекта производства работ (ППР).

Ведомости объемов работ включают:

- перечень всех видов работ (демонтажные, монтажные, отделочные, специальные);
- объемы работ в натуральных показателях (m^2 , m^3 , шт.);
- требования к материалам, оборудованию и трудовым ресурсам.

Организационно-технологическое проектирование при капитальном ремонте в обязательном порядке предполагает разработку сметы. Перечень и объемы работ сметной документации определяют технико-экономические показатели, такие как продолжительность работ (основа для календарного планирования), перечень и объем ресурсов (материалы, оборудование, трудовые ресурсы).

Сметная документация является основой для инвестиционно-строительного планирования, как краткосрочного, так и долгосрочного. Организационно-технологическое проектирование при капитальном ремонте в обязательном порядке предполагает разработку сметы, которая служит основой для:

- календарного планирования и контроля выполнения работ;
- обеспечения прозрачности и обоснованности затрат;
- формирования отчетности перед заказчиком и контролирующими органами.

Выводы по Главе 2

1. В ходе исследования выявлены и систематизированы ключевые методологические ограничения существующего системно-процессного подхода и классификатора строительной информации (КСИ) на этапе эксплуатации, доказана их несостоятельность для управления динамическими процессами изменения технического состояния, что определяет необходимость разработки новой методологии,

направленной на устранение конкретных пробелов в теории и практике управления жизненным циклом объектов капитального строительства.

2. Для устранения терминологической неопределенности сформулированы и научно обоснованы авторские определения ключевых понятий «организационно-технологическое проектирование» и «инвестиционно-строительное планирование» капитального ремонта, что вносит вклад в формализацию понятийного аппарата и создает основу для разработки четких регламентов, снижая риски разночтений и повышая качество управления отраслевыми программами.

3. Разработана и теоретически обоснована новая методология организационно-технологического проектирования, основанная на адаптированном процессно-системном подходе, который преодолевает выявленные ограничения за счет четкого выделения результатов управления и декомпозиции взаимосвязей «Процессы-Результаты», что развивает теорию информационного моделирования для этапа эксплуатации и позволяет на практике реализовать переход к предупредительному ремонту, повышая точность оценок и снижая трудоемкость работ.

4. Предложенный алгоритм организационно-технологического проектирования, систематизирующий процесс оценки технического состояния и обеспечивающий научно обоснованное планирование ремонтов, конкретизирует и формализует методологию, делая ее пригодной для апробации и практического применения в качестве инструмента для рационального распределения ограниченных финансовых ресурсов в региональных программах.

5. В рамках разработки методологии показана необходимость создания комплекса научно-методических рекомендаций, включающего стандартизированные методики, переходные алгоритмы и каталоги свойств, направленного на обеспечение прямого перехода от данных дефектного акта к ведомости объемов работ; данный комплекс представляет собой готовое методическое обеспечение, детализирующее методологию, и позволяет на практике значительно повысить эффективность работы проектировщиков за счет автоматизации рутинных операций, минимизации ошибок и исключения повторных обследований, сокращая сроки и стоимость подготовки проекта.

6. Теоретически обосновано, что внедрение предложенной методологии организационно-технологического проектирования на основе концепции процессно-системного подхода через информационное моделирование зданий создает основу для полноценной цифровизации этапа эксплуатации путем интеграции данных ИМ ОКС в процессы управления, что является ключевым условием для перехода к предупредительной модели управления жилищным фондом, а практическая ценность данного перехода предполагается в повышении обоснованности управленческих решений, снижении субъективности и повышении прозрачности использования средств.

Глава 3. МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕМОНТА

Необходимость реализации поэлементной идентификации и мониторинга технического состояния при осуществлении капитального ремонта зданий обусловлена высокой ресурсоемкостью начальных инвестиций и сложностью организационного обеспечения процесса. Указанные факторы формируют существенные ограничения для применения комплексной предупредительной эксплуатации, особенно в контексте массового организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда.

Функциональная блок-схема алгоритма организационно-технологического проектирования комплексного предупредительного капитального ремонта (Рисунок 38) свидетельствует о том, что объект капитального строительства (ОКС) представляет собой технологически и технически сложную систему. Структура такой системы может быть декомпозирована на совокупность взаимосвязанных элементов (подсистем) и процессов, что подчеркивает необходимость применения системного и процессного подходов к управлению. В случае ОКС такими элементами являются строительные элементы (например, конструкции, отделочные материалы) и инженерные системы (например, отопление, вентиляция, водоснабжение), а также процессы на всех этапах жизненного цикла (проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт, утилизация). Эти элементы и процессы взаимодействуют между собой и с внешней средой, формируя сложную динамическую систему.

Целью исследования является проведение комплексного анализа сложного объекта (ОКС) с последующей разработкой методологических основ для реализации комплексного (поэлементного) организационно-технологического проектирования технической эксплуатации зданий. Эти основы направлены на восстановление элементов системы, оптимизацию процессов на всех этапах жизненного цикла и, как следствие, улучшение характеристик системы в целом.

3.1 Многокритериальная поэлементная оценка технического состояния как элемента системы объекта капитального строительства

Основной причиной изменения (ухудшения) свойств строительных элементов объекта капитального строительства (ОКС) является их деградация. Восстановление свойств происходит в результате эксплуатационных процессов и ремонта, а улучшение – благодаря реконструкции и модернизации. Как уже отмечалось, в зависимости от архитектурно-строительного (конструктивного) решения строительного элемента или инженерной системы формируются его конкретные свойства, в том числе перечень возможных дефектов, например: трещины (в бетоне, кирпичной кладке, штукатурке); коррозия (арматуры, металлоконструкций, трубопроводов); износ покрытий (имеет индивидуальные признаки дефектов для разных видов конструкций: кровли, фасадов, полов).

Системное представление объекта капитального строительства (ОКС) рассматривается как ключевой подход для управления информацией на всех этапах жизненного цикла здания, включая эксплуатацию. Особенности системного представления для целей эксплуатации здания можно выделить следующим образом:

3. Декомпозиция на функциональные и технические системы.

Здание рассматривается как совокупность взаимосвязанных систем (например, системы отопления, вентиляции, электроснабжения, освещения и т.д.).

Для эксплуатации важно, чтобы каждая система была четко определена и структурирована. Это позволяет быстро находить и устранять неисправности, а также планировать техническое обслуживание.

4. Использование аспектов представления.

Объекты могут рассматриваться с разных точек зрения (аспектов), таких как функциональный, продуктный, местоположения, тип и пользовательский аспект.

Для эксплуатации здания особенно важны следующие аспекты:

– функциональный аспект: описывает функцию объекта в системе (например, насос перекачивает жидкость);

– аспект продукта: описывает устройство объекта (например, насос состоит из двигателя, рабочего колеса и корпуса);

- аспект местоположения: указывает место установки объекта (например, насос в техническом помещении на первом этаже);
- аспект типа: определяет класс объекта (например, циркуляционный насос);
- пользовательский аспект: учитывает потребности разных специалистов (например, габариты для архитектора, технические характеристики для инженера, техническое состояние для специалиста по эксплуатации).

Анализ структуры строительной информации показал, что структура классификационных таблиц соответствует Приказу Минстроя РФ № 430/пр от 6 августа 2020 г. (см. Приложение А) (Рисунок 39).

	A	B	C	D	E	F
1	№	Наименование	Код КТ	Версия	Описание	Сортировка
2	1	зона; помещение;	ПЗо / RZo	Рабочая версия		10
3	2	комплекс объектов капитального строительства;	КОС / CCo	Рабочая версия		20
4	3	объект капитального строительства;	ОКС / CEn	Рабочая версия		30
5	4	функциональная система;	ФНС / FnS	Рабочая версия		40
6	5	техническая система;	ТхС / TeS	Рабочая версия		50
7	6	компонент;	Ком / Com	Рабочая версия		60
8	7	управление;	УПр / Mng	Рабочая версия		70
9	8	стадия жизненного цикла объектов капитального строительства;	СЖЦ / LCS	Рабочая версия		80
10	9	процесс инженерных изысканий;	ПИИ / PER	Рабочая версия		90
11	10	процесс проектирования;	ППр / PDe	Рабочая версия		100
12	11	процесс строительства;	ПСт / PCo	Рабочая версия		110
13	12	процесс эксплуатации;	ПЭК / PMn	Рабочая версия		120
14	13	процесс реконструкции;	ПРк / PRe	Рабочая версия		130
15	14	процесс ремонта;	ПКР / PRf	Рабочая версия		140
16	15	процесс сноса здания или сооружения;	ПСЗ / PUt	Рабочая версия		150
17	16	строительное изделие;	СТИ / CPr	Рабочая версия		160
18	17	строительный материал;	СтМ / CMa	Рабочая версия		170
19	18	вспомогательный ресурс;	ВсР / ARe	Рабочая версия		180
20	19	трудовой ресурс;	ТрР / Hre	Рабочая версия		190
21	20	информация;	Инф / Inf	Рабочая версия		200
22	21	характеристика.	Хрк / Prp	Рабочая версия		210
23						
24						
25						

Рисунок 39 – Выкопировка классификационной таблицы КСИ

Декомпозиция строительных элементов для целей обследования технического состояния и реализации процессов на этапе эксплуатации произведена на основе декомпозиции информационной модели объекта капитального строительства

на отдельные функциональные системы жилого здания (ФнС – FnS согласно КСИ, Рисунок 40).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	№	Класс	Код	Наименование Класcа, Подкласcа, Элемента	Описание Класcа	Класcификация	Классификация	Ссылки	Источники		
2		A		Наземная система	Наземная простран	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcSystem,			
11		B		Стеновая система	Пространственная с	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcBuildingSystem, МССК: CC 10 20			
18		C		Система перекрытий	Пространственная с	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcBuildingSystem, МССК: CC 10 20			
23		D		Система крыши	Пространственная с	ФнС _ FnS		IFC-entity: 258.1311500.2016, 6707-1-2020			
24		E		Газовая и воздушная система	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcDistributionSystem,			
31		F		Водяная и жидкостная система	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcDistributionSystem,			
36		G		Система дренажа и удаления отходов	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcDistributionSystem,			
39		H		Система отопления и/или охлаждения	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcDistributionSystem,			
44		J		Система вентиляции	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcDistributionSystem, МССК: CC 30			
49		K		Система электроэнергии	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcDistributionSystem, МССК: CC 30			
53		L		Система автоматизации	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcDistributionSystem,			
54		M		Информационная и коммуникационная система	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcDistributionSystem, МССК: CC 40			
58		N		Система транспортировки	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: 18501-73, 6707-1-2020			
59		P		Система охраны и обеспечения безопасности	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcBuildingSystem,			
65		Q		Система освещения	Инженерная систем	ФнС _ FnS		IFC-entity: IfcBuildingSystem, МССК: CC 40 15			
70		R		Железнодорожная система	Инженерная систем	ФнС _ FnS		, 34530-2019			
71		S		Система обустройства	Функциональная сис	ФнС _ FnS		IFC-entity: 52766-2007, 56195-2014, 6707-1-20			
72		T		Система оснащения объектов транспорта	Инженерная систем	ФнС _ FnS		, 56670-2015			

Рисунок 40 – Выкопировка функциональных систем ИМ ОКС согласно КСИ

Анализ нормативно-технических документов по определению технического состояния зданий показал, что вариация признаков дефектов зависит от классификации их технических систем (ТхС – TeS согласно КСИ). Фрагмент выкопировки технических систем, входящих в функциональные системы здания, представлен на Рисунок 41 (полный перечень приведен в Приложении Б).

№	Класс	Подкласс	Код класса	Наименование Класса, Подкласса, Элемента	Описание Класса, Подкласса, Элемента	Классификатор
	B			Конструктивная система	Техническая система	TxC _ TeS
		BA		Основание здания или сооружения	Массив грунта, возм.	TxC _ TeS
			BA10	Естественное основание	Массив грунта в усл.	TxC _ TeS
			BA20	Искусственное основание	Площадка из грунта,	TxC _ TeS
		BB		Несущие конструкции фундамента	Система несущих ко	TxC _ TeS
			BB10	Ленточные фундаменты	Протяженный, узкий	TxC _ TeS
			BB20	Столбчатые фундаменты	Отдельные фундаме	TxC _ TeS
			BB30	Плитные фундаменты	Фундамент в виде сп	TxC _ TeS
			BB40	Свайные фундаменты	Фундамент, в которо	TxC _ TeS
			BB50	Комбинированные фундаменты	Конструкции фунда	TxC _ TeS
			BB60	Фундаменты оборудования	Конструкции для раз	TxC _ TeS
		BC		Несущие конструкции перекрытия	Система несущих ко	TxC _ TeS
			BC10	Сборные перекрытия	Конструкции перекры	TxC _ TeS
			BC20	Монолитные перекрытия	Конструкции перекры	TxC _ TeS
			BC30	Сборно-монолитные перекрытия	Составные конструк	TxC _ TeS
		BD		Несущие конструкции стены	Система несущих ко	TxC _ TeS
			BD10	Стены из кладки	Конструкции стен, в	TxC _ TeS
			BD20	Крупнопанельные стены	Конструкции стен из	TxC _ TeS
			BD30	Монолитные стены	Конструкции стен, в	TxC _ TeS
			BD40	Каркасные стены	Конструкции стен, в	TxC _ TeS
			BD50	Стены из брусев или бревен	Конструкции стен, в	TxC _ TeS
		BE		Несущие конструкции крыши	Система несущих ко	TxC _ TeS
			BE10	Стропильные конструкции крыши	Несущие элементы з	TxC _ TeS
			BE20	Балочные конструкции крыши	Конструкции крыши	TxC _ TeS
			BE30	Плитные конструкции крыши	Конструкции крыши	TxC _ TeS
			BE40	Оболочечные конструкции крыши	Конструкции крыши	TxC _ TeS
		BF		Конструкции пола	Система конструкций	TxC _ TeS
			BF10	Сплошные полы	Конструкции пола с	TxC _ TeS
			BF20	Штучные полы	Конструкции пола с	TxC _ TeS
			BF30	Рулонные полы	Конструкции пола с	TxC _ TeS
		BG		Потолочные конструкции	Система конструкций	TxC _ TeS
			BG10	Подшивные потолки	Конструкции, в кото	TxC _ TeS
			BG20	Подвесные потолки	Потолок, расположе	TxC _ TeS
			BG30	Натяжные потолки	Горизонтальные кон	TxC _ TeS
			BG40	Комбинированные потолки	Конструкции, состоя	TxC _ TeS

Рисунок 41 – Фрагмент таблицы технических систем (ТхС – ТеС) ИМ здания согласно КСИ

Пример системного представления структурных элементов здания в целях оценки технического состояния и процессов эксплуатации и ремонта демонстрируется посредством декомпозиции компонентов многоквартирного жилого здания на функциональные подсистемы, которые, в свою очередь, структурно состоят из отдельных технических систем, включающих их специфические свойства и приводят к совокупности необходимых процессов (Рисунок 42).



Рисунок 42 – Декомпозиция элементов ОКС для многокритериальной оценки технического состояния

Процессы ремонта достаточно подробно описаны КСИ посредством видов строительно-монтажных работ согласно их перечню в государственных элементных сметных нормах (ГЭСН) (Рисунок 43). Но для количественного описания технического состояния возможно использовать только одну характеристику – BF_0030 «Процент износа здания». Выборка полной совокупности характеристик, указывающих на техническое состояние представлена на Рисунок 44.

№	Класс	Подкл	Подкл	Подкл	Подкл	Код	Наименование	Класс, Подкласса, Элемента	Опис	Классифи	Ключевые	Ссылки	Источники
1	А						Земляные работы при производстве процесса капита		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
2		AA					Разработка грунта вручную при производстве процес		ПКР _ PRf			ГЭСН: ГЭС	ГЭСНр 81-02-51-202
3			AAA				Разработка грунта вручную		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
4			AAB				Устройство креплений откосов		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
5			AAC				Разборка креплений откосов		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
6			AAD				Обратная засыпка грунта с трамбованием ручными т		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
7			AAE				Удаление лишнего грунта		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
8			AAF				Устройство ходов для ручных тележек		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
9			AAG				Обратная засыпка грунта		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
10		AB					Изменение уровня пола в здании		ПКР _ PRf			ГЭСН: ГЭС	ГЭСНр 81-02-51-202
11			ABA				Перекидка грунта		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
12			ABB				Перемещение грунта		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
13			ABC				Планировка поверхности		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
14			ABD				Трамбование грунта ручными трамбовками		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
15			ABE				Устройство ходов для ручных тележек при изменени		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
16		AC					Рытье ям для установки стоек и столбов		ПКР _ PRf			ГЭСН: ГЭС	ГЭСНр 81-02-51-202
17			ACA				Разработка грунта вручную при рытье ям		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
18			ACB				Обратная засыпка при рытье ям		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202
19			ACC				Перекидка излишнего грунта при рытье ям		ПКР _ PRf				ГЭСНр 81-02-51-202

Рисунок 43 – Выкопировка таблицы класса «Процесс ремонта» (ПКР / PRf) – ремонтные работы

Т.е. несмотря на то, что класс «Характеристика» (Хрк / Prr) содержит как качественные и количественные характеристики, так и свойства элементов системы ОКС, оценка технического состояния описывается ограниченным количеством подклассов (элементами), которые не дают возможности однозначной унифицированной оценки дефектов. Изменяемые «Свойства», которыми можно было описать дефекты, сформулированы для отдельных строительных материалов и изделий, поэтому также имеют ограниченную возможность их применения для оценки технического состояния отдельных строительных элементов ОКС.

Методология организационно-технологического проектирования капитального ремонта здания, представленная в виде алгоритма (Рисунок 38), базируется на многокритериальной поэлементной оценке технических характеристик объекта капитального строительства. Метод количественной многокритериальной поэлементной оценки технического состояния в концепции процессно-системного подхода предполагает выявление всей совокупности возможных критериев оценки технического состояния строительных элементов и их кодировку путем формирования новой классификационной таблицы «Свойства».

Код кл.	Наименование Клас	Описание Класса,Подкласса,Элемента	Классиф.	Источники
BF__0030	Процент износа здания	Ухудшение технического состояния (потеря эксплуатационных, механических и других качеств), в результате чего происходит соответствующая утрата их стоимости	Хрк _ Prp	Приказ Минжилкомхоза РСФСР от 27.10.1970 N 404
BF__0033	Требования к системе общего мониторинга технического состояния несущих строительных	Требования к системе общего мониторинга технического состояния несущих строительных конструкций, которые содержатся в разделе проектной документации "Требования к безопасной эксплуатации объекта капитального строительства"	Хрк _ Prp	255.1325800.2016
MF__0024	Износостойкость	Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях эксплуатации или испытаний	Хрк _ Prp	46.13330.2012
SFHD0004	Надежность теплоснабжения	Характеристика состояния системы теплоснабжения, при котором обеспечиваются качество и безопасность теплоснабжения;	Хрк _ Prp	124.13330.2012
SFHD0005	Срок службы тепловых сетей	Период времени в календарных годах со дня ввода в эксплуатацию, по истечении которого следует провести экспертное обследование технического состояния трубопровода с целью определения допустимости, параметров и условий дальнейшей эксплуатации трубопровода или необходимости его демонтажа	Хрк _ Prp	124.13330.2012
XF__0003	Категория технического состояния	Степень эксплуатационной пригодности несущей строительной конструкции или здания и сооружения в целом, а также грунтов их основания, установленная в зависимости от доли снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик	Хрк _ Prp	31937-2011
XF__0009	Физический износ	Утрата конструкцией, элементом, системой инженерного оборудования и зданием в целом первоначальных технико-эксплуатационных качеств в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека	Хрк _ Prp	ВСН 53-86(р)/Госг
XF__0010	Дефект	Каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям	Хрк _ Prp	15467-79
XF__0017	График сервисного обслуживания	Планирование периодического обслуживания, во время которого требуется разборка машины согласно инструкции по применению и рекомендациям сервисного центра	Хрк _ Prp	60745-1-2011
XHT__0003	Дата оценки физического износа		Хрк _ Prp	
XHT__0004	Норматив времени оценки физического износа		Хрк _ Prp	
XHT__0005	Даты совершенных сервисов		Хрк _ Prp	
XHT__0006	Межсервисный интервал		Хрк _ Prp	
XHT__0007	Срок службы		Хрк _ Prp	
ZPA__0003	Степень заполненности помещения	Состояние помещения, характеризующееся степенью заполненности	Хрк _ Prp	3382-1-2013

Рисунок 44 – Характеристики оценки технического состояния согласно КСИ

Однако в текущих методах и нормативно-правовом регулировании не сформулированы четкие способы не только количественной, но и качественной оценки технического состояния, которые позволили бы подрядчику сформировать ведомость объемов работ без дополнительных изысканий (см. Рисунок 10). Основным препятствием при проектировании капитального ремонта является неопределенность и усредненность данных, содержащихся в дефектных актах.

Таким образом, спланировать и реализовать работы возможно только после повторного осмотра и формулирования технического состояния в категориях, необходимых для определения перечня и объемов работ, направленных на устранение дефектов. В настоящий момент отсутствует метод, который мог бы стать переходным звеном между дефектным актом и ведомостью объемов работ без необходимости повторного выполнения обследования строительного элемента. Это создает дополнительные временные и финансовые затраты, а также усложняет процесс организационно-технологического проектирования капитального ремонта.

Для решения данной проблемы требуется разработка более детализированных методик оценки технического состояния конструкций, которые позволили бы на основе данных дефектного акта сразу переходить к формированию ведомости объемов работ. Кроме того, необходимо уточнение нормативной базы, регулирующей процесс капитального ремонта, с целью стандартизации подходов к оценке состояния конструкций и составлению дефектных актов.

Дефекты и соответствующие им виды и технологии производства работ относятся не ко всему объекту в целом, а к отдельным его элементам. При этом состояние элементов здания зависит от сроков службы элементов, периода проведения последнего ремонта, режима его эксплуатации.

Оценка технического состояния объекта осуществляется исходя из совокупности оценок технического состояния отдельных элементов. Проектирование и проведение капитального ремонта осуществляется только в отношении элементов, состояние которых достигло критических значений.

Оценка технического состояния объекта выступает основой для организационно-технологического проектирования и осуществляется в рамках операционной деятельности эксплуатирующих организаций.

Формирование информационной базы об объектах строительства, включая их техническое состояние, осложняется проблемой унификации данных.

Для решения этой задачи проведен анализ признаков дефектов на основе технических регламентов и нормативно-правовых документов, регулирующих обследование ОКС, а также требований к планированию капитального ремонта [ВСН 53-86р, СП 454.1325800.2019, ГОСТ 31937-2024, Постановлении Госстроя РФ №170].

По результатам анализа разработаны унифицированные критерии оценки технического состояния строительных элементов, выявляемых в процессе эксплуатационного контроля (Приложение В). В результате систематизации технических нормативов в составе «Свойств» определены унифицированные виды дефектов строительных элементов (Таблица 32).

Таблица 32 – Сводная таблица свойств строительных элементов

Группа свойств	Свойство конструкции	Вид дефекта	Подтипы дефектов
Механические свойства	Трещиностойкость	Трещины	Волосные, средние, сквозные, критические сквозные, деформационные (в стыках)
	Несущая способность	Утрата элемента	Отсутствие, полное разрушение, критические сквозные трещины
	Герметичность	Нарушение герметичности	Разгерметизация швов/стыков, капельные течи, протечки, аварийные разрывы
	Устойчивость к деформациям	Деформации	Прогиб, крен/отклонение от вертикали, выпучивание, искривление, разрыв
Защитные свойства	Коррозионная стойкость	Коррозия и разрушение	Поверхностная, глубокая, сквозная (включая оголённую арматуру)
	Биостойкость	Биопоражения	Гниль (дерево), плесень/грибок, поражение вредителями
	Гидрофобность	Нарушение гидроизоляции	Капиллярный подсос влаги, протечки в изоляции
Эксплуатационные свойства	Теплозащита	Нарушение теплоизоляции	Мостики холода, недостаточное утепление (локальное/полное), теплопотери
	Водоотведение	Нарушение системы	Неисправность дренажа, засорение (частичное/критическое)

Продолжение таблицы 2933

Группа свойств	Свойство конструкции	Вид дефекта	Подтипы дефектов
	Вентилируемость	Нарушение воздухообмена	Отсутствие продухов, Закупорка каналов
	Безопасность	Отсутствие элементов	Нет переходных мостиков, ограждений, анкеров
Декоративные свойства	Адгезия покрытий	Дефекты отделки	Отслоение штукатурки, высолы, загрязнение
Комплектность	Полнота оснащения	Отсутствие элементов	Изоляции, Арматуры, Вентиляции, Крепежа

Классификационная таблица «Свойства» представлена и описана аналогично иным базовым классам строительной информации в соответствии с требованиями КСИ. Оценка технического состояния (дефекта) элемента привязана к свойствам, присущим данному классу строительных элементов. Таким образом, описание технического состояния каждого строительного элемента заключается в выявлении того или иного его «свойства» и его «характеристики» (дефекта, количественной оценки).

В рамках предложенной методологии организационно-технологического проектирования комплексного (поэлементного) предупредительного капитального ремонта предусмотрена двухэтапная система оценки технического состояния строительных объектов.

Первый этап включает определение категории технического состояния здания согласно нормативным требованиям. При подтверждении работоспособного или нормативного состояния (отсутствии признаков аварийности конструкций и ограниченной работоспособности инженерных систем) осуществляется второй этап обследования с последующей организацией капитального ремонта силами эксплуатационной службы с привлечением подрядных организаций. В случае выявления признаков дефектов неудовлетворительного технического состояния требуется проведение специализированного обследования проектно-изыскательской организацией для оценки возможности дальнейшей безопасной эксплуатации. Таким образом, разрабатываемая система диагностических признаков дефектов

должна обеспечивать комплексную оценку технического состояния на всех этапах эксплуатационного контроля (Таблица 34, Таблица 35).

Таблица 34 – Укрупненный перечень дефектов конструкций зданий для выявления аварийного или ограниченно-работоспособного состояния (1 этап) [СП 454.1325800.2019]

№	Свойство конструкции	Наименование общего вида дефекта	Перечень конструкций для данного дефекта	Критерии оценки
1	Трещиностойкость	Трещины	Фундаменты, стены, колонны, перекрытия, балки, лестницы, балконы, козырьки, своды	Ширина раскрытия, направление, локализация
2	Коррозионная и биологическая стойкость	Коррозия, гниль, биопоражения	Металлические колонны и балки, арматура в ЖБК, деревянные балки, стропила, настилы, сваи	% потери сечения, глубина поражения
3	Жёсткость и устойчивость к деформациям	Деформации (прогиб, крен, выпучивание)	Балки перекрытий, плиты, ригели, колонны, стены, стропильные системы, лестничные марши	Величина отклонения относительно габаритов конструкции
4	Прочность и износостойкость	Разрушение материала	Бетонные и ж/б элементы (плиты, колонны), кирпичная кладка, каменные своды, деревянные опоры	% разрушения толщины/сечения
5	Устойчивость конструкций	Потеря устойчивости	Металлические и деревянные колонны, узлы каркасов, стропильные системы, тонкостенные конструкции	Смещение узлов, выгиб, отклонение от оси
6	Комплектность и целостность	Физическое отсутствие элемента	Фундаментные блоки, участки стен, балки, ступени, элементы кровли, ограждения балконов	Факт отсутствия или полного разрушения
7	Надёжность соединений	Нарушение соединений	Стыки панелей, узлы крепления балок к колоннам, места анкеровки, швы кладки, деревянные врубки	Раскрытие швов, коррозия крепежа, разрыв связей

Таблица 35 – Укрупненный перечень устранимых типовых признаков износа строительных конструкций (этап 2)

№	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

Продолжение таблица 31

№	Типовые свойства износа (дефекты)	Характеристика – критерии измерения (ед. изм.)	Строительные элементы, обладающие свойством
3	Разрушение материала (бетон, кладка, дерево)	Площадь разрушения ($\text{м}^2/\text{см}^2$), 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 ($\text{м}^2/\text{см}^2$), 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
10	Протечки, намокание, затопление	Площадь протечки/намокания (м^2), интенсивность протечки (л/час), периодичность (раз/период)	Крыша, перекрытия, балконы/лоджии, окна/двери, фундамент (подвалы)

Имеющийся на текущий момент в КСИ перечень характеристик позволяет закрыть потребности количественного описания представленных в исследовании критериев измерения технического состояния единичных строительных элементов.

3.2 Декомпозиция системы элементов жилого здания для организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта

Методологический подход к декомпозиции системы базируется на двух ключевых принципах:

- идентификация минимальных структурных единиц системы (элементов);
- формализация процессов посредством классификации видов деятельности (работ).

Согласно ст. 166 ЖК РФ и Приложению к Методическим рекомендациям по определению услуг и (или) работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирном доме, выполнение которых финансируется за счет средств фонда капитального ремонта, структура элементов системы представлена в таблице (Таблица 37).

Таблица 36 – Элементы общего имущества МКД, подлежащие капитальному ремонту

№ п/п	Категория	Конкретные элементы
1	Фундамент	Фундамент, отмостка, приямки, входы в подвалы, места ввода коммуникаций
2	Фасад	Наружные стены, оконные и дверные блоки, балконы, лоджии, козырьки, водосточная система, архитектурные элементы
3	Подвальные помещения	Стены и пол подвала, перекрытия первого этажа, вентиляционные продухи, дренажные системы
4	Крыша	Кровельное покрытие, стропильная система, чердачные перекрытия, водостоки, вентиляционные шахты, снегозадержатели
5	Водоснабжение	Трубопроводы, стояки, запорная арматура, насосы, полотенцесушители
6	Водоотведение	Канализационные выпуски, стояки, фановые трубы, трапы, сантехприборы (в местах общего пользования)
7	Теплоснабжение	Трубопроводы, радиаторы, тепловые узлы, расширительные баки
8	Газоснабжение	Внутридомовые газопроводы, запорная арматура, приборы учета
9	Электроснабжение	Вводно-распределительные устройства (ВРУ), кабельные линии, щитовые, осветительные приборы (в местах общего пользования)
10	Лифтовое оборудование	Лифтовые шахты, машинные помещения, кабины, системы управления

Согласно методологии организационно-технологического проектирования капитального ремонта, сметная документация выступает ключевым системообразующим элементом. Ее функциональная значимость обусловлена тем, что в ней интегрируются не только стоимостная оценка работ, но и номенклатура технологических операций, и ресурсная потребность (материальные, трудовые, технические ресурсы). В отличие от нового строительства, где эти параметры распределены по разделам проектной документации (ПД) и организационно-технологической документации (ОТД), при капитальном ремонте смета выполняет консолидирующую функцию.

Современная практика формирования смет капитального ремонта жилищного фонда предполагает привлечение подрядной строительной организацией на

основе, которая составляет ведомости объёмов работ (ВОР) и рассчитывает сметную стоимость исходя из стоимости отдельных видов работ согласно государственных элементных сметных норм (ГЭСН). Согласно КСИ, «Процесс ремонта» как раз описывается таблицей ПКР/PRf, содержащей перечень работ ГЭСН (Рисунок 43).

Учитывая то, что существующая методологическая основа характеризуется отсутствием релевантных методик оценки технического состояния (см. Главу 1), то это делает смету единственным инструментом, позволяющим наиболее точно описать и унифицировать описание технического состояния объектов, давать количественно-качественную характеристику ремонтных мероприятий.

Представление элементов объектов капитального строительства посредством набора отдельных систем и элементов, формирующих эти системы, позволяет применять единый подход к структурированию информации.

Процесс декомпозиции представляет собой важнейшую задачу формирования информационной модели, заключающуюся в определении оптимальной структуры представления данных. Решение этой задачи может осуществляться различными способами. Критерии выделения значимых структурных единиц (систем) варьируются в зависимости от:

- целей создания модели;
- этапа жизненного цикла объекта;
- конкретных задач проектирования или эксплуатации.

Реализация процессно-системного подхода требует проведения многоуровневой декомпозиции по схеме «Результат – Процесс – Результат». Данная методология предполагает:

- четкое определение конечных целей для каждого элемента системы;
- детализацию технологических процессов;
- фиксацию ожидаемых результатов выполнения работ.

К разработанной структуре элементов привязываются соответствующие подпроцессы, характерные для различных стадий жизненного цикла объекта капитального строительства. Таким образом, процесс капитального ремонта формализуется через (Рисунок 45):

- системное описание объекта капитального строительства как сложного технического комплекса,

– детализацию видов работ в рамках «Процесса ремонта» (ПКР/PRf).

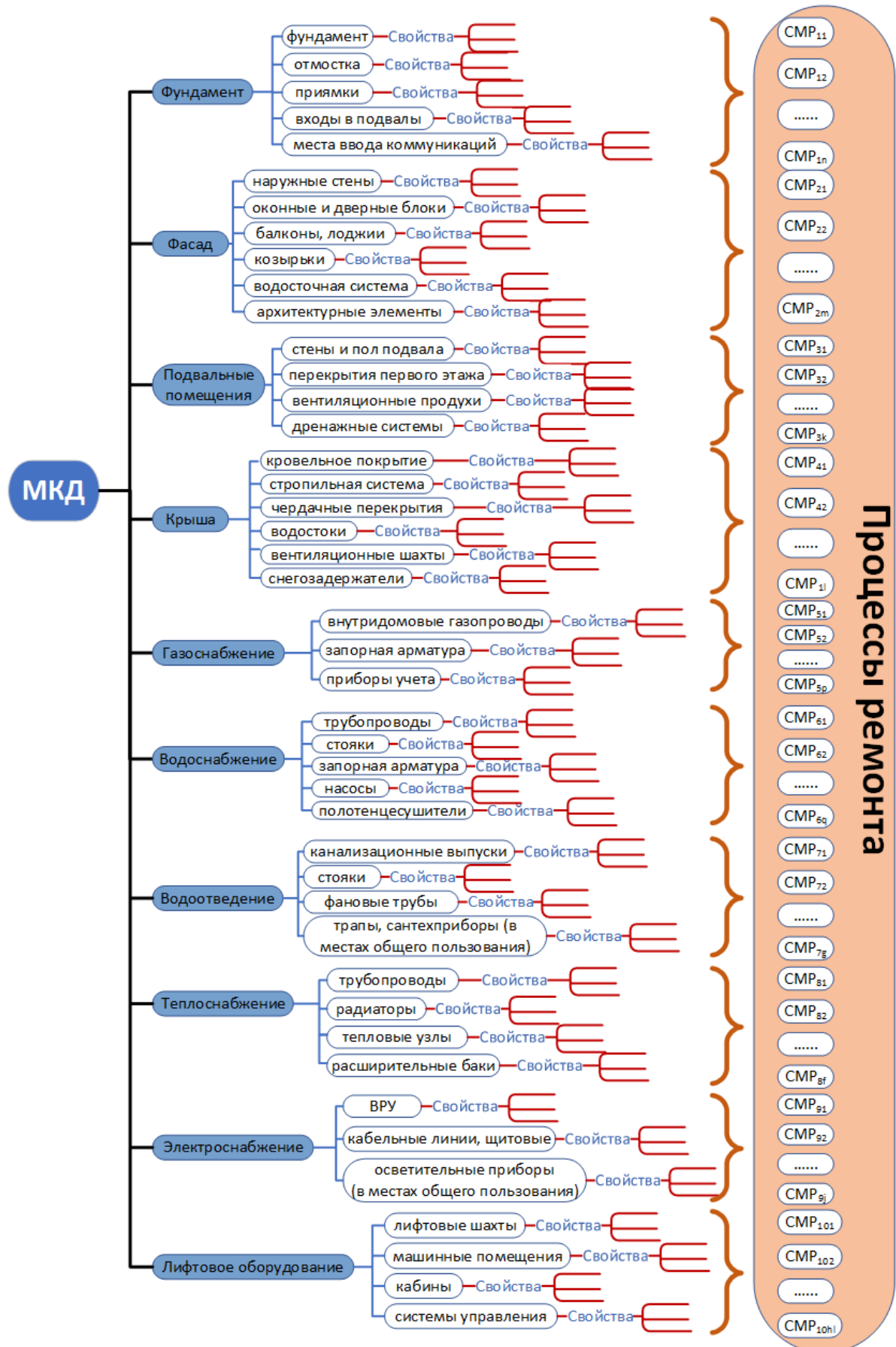


Рисунок 45 – Декомпозиция элементов МКД для организационно-технологического проектирования капитального ремонта согласно ст. 166 ЖК РФ

3.3 Конструктивно-технологическое решение как аспект декомпозиции структуры элементов системы ОКС при организационно-технологическом проектировании ремонта

Базовыми элементами, формирующими методологическую основу проектирования и определяющими весь процесс реализации строительного проекта, выступает комплекс взаимосвязанных проектных решений: конструктивных, архитектурных, технологических и организационно-технологических. Методологический анализ этих решений позволяет выявить их ключевые взаимосвязи, иерархические зависимости и взаимное влияние, что составляет научную основу для разработки оптимальных алгоритмов организационно-технологического проектирования.

Методологическая систематизация основных критериев анализа проектных решений включает следующие фундаментальные аспекты: определение понятий, основные элементы, нормативные требования (Таблица 37). Анализ позволяет обнаружить системные взаимосвязи (влияние на смежные решения, требования к совместимости) и практическую реализацию (конечные результаты).

Таблица 37 – Сравнительный анализ проектных решений в строительстве

Критерий анализа	Архитектурные решения	Конструктивные решения	Технологические решения	Организационно-технологические решения
Определение	Пространственно-планировочные и эстетические параметры здания	Технические характеристики несущих конструкций и узлов	Методы и последовательность выполнения строительных работ	Организация строительного производства и управление процессами
Основные элементы	- Габариты и форма - Расположение помещений - Материалы отделки - Фасадные решения	- Тип конструкций (железобетон, металл и др.) - Узлы соединений - Нагрузки и условия эксплуатации	- Виды работ - Технологические процессы - Операции	- ППР и ТК - Графики работ - Схемы контроля качества
Влияние на другие решения	Задают требования к конструкциям и технологиям	Определяют методы возведения и последовательность работ	Реализуют архитектурные и конструктивные решения	Обеспечивают эффективное выполнение технологических решений

Продолжение таблицы 33

Критерий анализа	Архитектурные решения	Конструктивные решения	Технологические решения	Организационно-технологические решения
Нормативные требования	ГОСТ 21.501-2018 (п. 3.1)	ГОСТ 21.501-2018 (п. 3.2), ГОСТ Р 21.101-2020 (п. 4.1.7)	МДС 12-29.2006, СП 48.13330.2019	СП 48.13330.2019, СТО НОСТРОЙ 2.33.14-2011
Результат реализации	Архитектурный облик здания	Несущая способность и надежность конструкций	Завершенные строительные конструкции и элементы	Оптимизированный строительный процесс

Процесс проектирования и строительства представляет собой строгую иерархию решений, где каждый уровень взаимосвязан с предыдущим и последующим:

1. Иерархия решений: Архитектурные (АР) → Конструктивные (КР) → Технологические (ТР) → Организационно-технологические (ОТР).

2. Обязательные требования (Постановление №87):

- все решения должны быть технологически совместимы;
- технологические решения разрабатываются на основе АР и КР (ГОСТ 21.101-2020).

5. Документальное отражение:

- АР и КР – в проектной документации;
- технологические – в ТК и ППР;
- организационные – в ППР, графиках, схемах контроля.

При новом строительстве формирование технологического решения напрямую зависит от принятых архитектурных и конструктивных решений проекта, что подтверждается требованиями нормативных документов. Согласно п. 3.1 ГОСТ 21.501-2018, архитектурные решения определяют пространственно-планировочную структуру здания, включая габариты, взаимное расположение помещений и конструктивно-технологические требования к материалам отделки и узлам сопряжений. Эти параметры непосредственно влияют на выбор методов производства работ – например, сложные фасадные системы требуют особых технологий монтажа. Одновременно конструктивные решения (ГОСТ 21.501-2018, п. 3.2) задают тип и характеристики несущих конструкций (железобетон, металл, дерево), что

определяет конкретные технологии их возведения – опалубочные работы, сварку или сборку. Узлы соединений и специальные требования также формируют специфику технологических процессов.

Как указано в Постановлении Правительства РФ №87 (п. 3), все решения в проектной документации должны быть технологически совместимы. Это означает, что технологические решения разрабатываются строго на основе архитектурных (чертежи АР) и конструктивных (чертежи КР) разделов проекта (ГОСТ 21.101-2020, п. 6.1.1). В организационно-технологической документации – технологических картах и ППР (СП 48.13330.2019, п. 3.13, 6.1) – это выражается в конкретных перечнях процессов (например, «монтаж железобетонных колонн») и последовательностях операций («установка опалубки → армирование → бетонирование»), которые учитывают как конструктивные особенности, так и архитектурные ограничения по габаритам и доступности. Таким образом, архитектурные и конструктивные решения являются обязательной исходной базой для разработки технологических решений, определяющих номенклатуру, методы и последовательность всех строительно-монтажных работ при новом строительстве.

Таким образом, специфика формулировки и взаимосвязи проектных решений при реализации нового строительства может быть резюмирована следующими выводами:

- технологические решения являются связующим звеном между проектированием (АР и КР) и строительством, конкретизируя: методы выполнения работ (МДС 12-29.2006) и последовательность операций (СП 48.13330.2019).
- организационно-технологические решения обеспечивают: эффективную реализацию технологий (СП 48.13330.2019, п.3.13) и контроль качества и сроков (п.5.5-5.6).

В данной методологии конечным «Результатом» выступает физически завершённый строительный элемент, соответствующий проектным решениям. Таким образом, конструктивное (архитектурно-строительное) решение можно представить укрупнённой схемой организационно-технологического проектирования строительно-монтажной работы.

Для наглядного сравнения особенностей нового строительства и капитального ремонта в работе представлена укрупненный алгоритм с выделением ключевых подпроцессов организационно-технологического проектирования для строительного элемента (Рисунок 46).

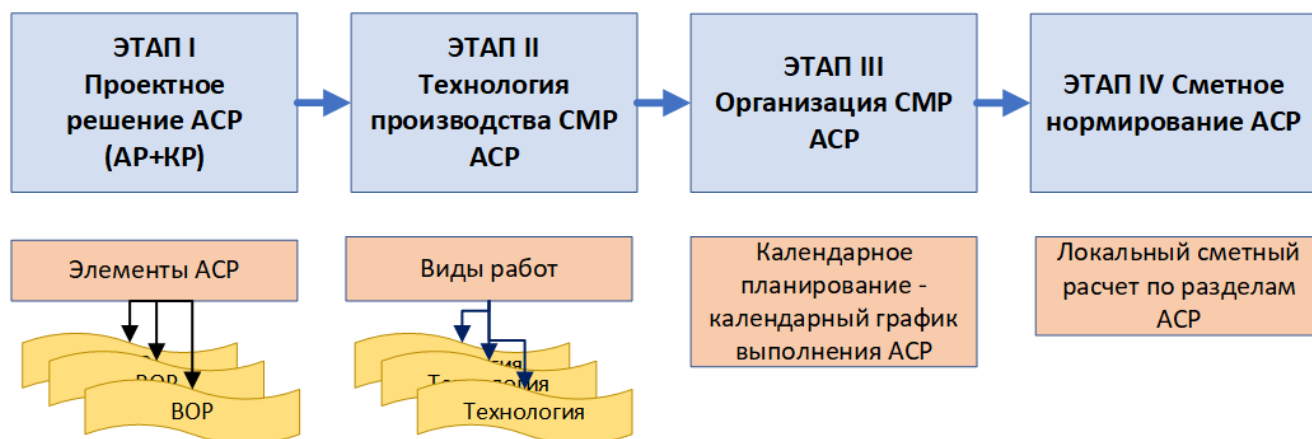


Рисунок 46 – Организационно-технологическое проектирование при новом строительстве

Организационно-технологическое проектирование в новом строительстве основано на принципе деления объекта капитального строительства (ОКС) на отдельные организационно-технологические модули. Эти модули представляют собой завершённые строительные элементы, которые можно классифицировать как архитектурно-строительные решения (АСР).

Каждый организационно-технологический элемент характеризуется:

- четко определенной совокупностью строительно-монтажных работ;
- технологической последовательностью их выполнения;
- логической связью с возведением конкретного конструктивного элемента.

Организационно-технологическое проектирование реализовано в виде функциональной блок-схемы алгоритма ОТП комплексного капитального ремонта. Методология включает четыре последовательных этапа (Рисунок 47):

ЭТАП I Эксплуатационный контроль – определение категории технического состояния;

ЭТАП II Эксплуатационный контроль – выявление ремонтпригодных дефектов;

ЭТАП III Технология производства капитального ремонта – проектное КТРр;

ЭТАП IV Организация капитального ремонта.

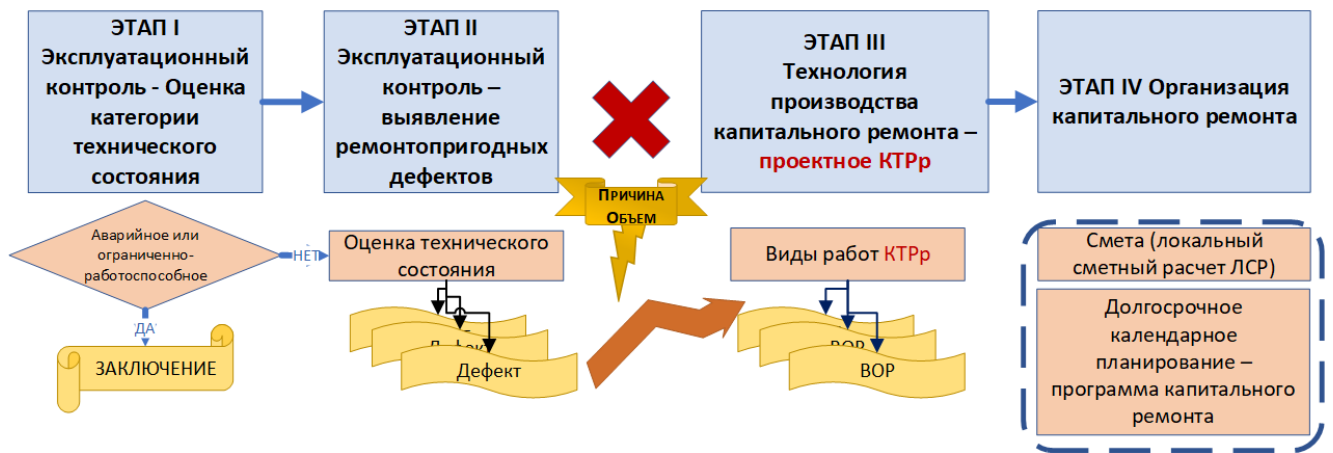


Рисунок 47 – Организационно-технологическое проектирование ремонта

Принципиальное отличие организационно-технологического проектирования ремонта от нового строительства заключается в обязательном включении дополнительных процессов:

- детальных инженерных изысканий для оценки фактического технического состояния строительных конструкций;
- разработки технологических карт, учитывающих специфику эксплуатационных повреждений, которые определяют виды и объемы работ и определения сметной стоимости ремонтных работ.

При отсутствии признаков аварийного или ограниченно-работоспособного состояния строительных конструкций, реализация второго этапа капитального ремонта может осуществляться по упрощенной схеме организационно-технологического проектирования: формирование ведомости объемов ремонтных работ, разработка технических решений и определение сметной стоимости.

Исходными данными служит информация, содержащаяся в дефектном акте, который должен включать полный перечень выявленных повреждений и необходимых восстановительных мероприятий. Качество и полнота исходной информации являются критически важными факторами успешной реализации процесса организационно-технологического проектирования. Однако даже при наличии исчерпывающих данных о конструктивных особенностях здания, объемно-планировочных решениях и полной номенклатуре выявленных дефектов, переход к ключевым этапам проектирования (формированию ведомости работ, определению

технологических решений и расчету технико-экономических показателей) остается невозможным без дополнительной проработки.

Для успешной реализации проекта дефектный акт должен содержать не только детальную информацию о состоянии конструкций, но и четко определенный перечень восстановительных мероприятий, технические требования к выполнению работ и критерии оценки качества. В идеальном случае такой подход должен позволить подрядной организации точно определить объемы работ, обоснованно рассчитать стоимость и оптимально спланировать производственный процесс.

На практике возникают существенные сложности, поскольку эксплуатационный персонал чаще всего не обладает необходимой квалификацией для полноценного анализа дефектов. Разработка технологических решений не входит в его компетенцию и выполняемые оценки часто носят поверхностный характер. В реальных условиях подрядные организации вынуждены проводить повторное обследование объектов, уточнять перечень дефектов и формировать ведомости объемов работ с нуля. Это приводит к дублированию функций, увеличению сроков подготовки и дополнительным затратам на предпроектную стадию.

Организационно-технологическое проектирование капитального ремонта принципиально ориентировано на восстановление эксплуатационных характеристик строительных элементов. Анализ местных условий эксплуатации и практики проведения ремонтно-строительных работ позволяет установить важную закономерность: идентичные внешние проявления дефектов зачастую имеют общие причины возникновения, что предполагает использование типовых методов их устранения. Данное наблюдение создает теоретическую основу для разработки массовых региональных программ, в рамках которых возможно применение усредненных технологических решений без детального анализа причин возникновения каждого конкретного дефекта.

Исходя из специфики организационно-технологического проектирования в сфере капитального ремонта, следует отметить, что технологические решения ремонтно-строительных работ имеют слабую зависимость от архитектурных

решений. Архитектурные решения, как правило, остаются неизменными как до, так и после проведения ремонтных мероприятий.

Ключевым фактором при выборе технологии производства работ выступает конструктивное решение ремонтируемого элемента. Однако определяющее значение имеет его фактическое техническое состояние. В процессе эксплуатационного осмотра или детального технического обследования выявляются конкретные виды и масштабы дефектов. Именно эти параметры становятся основой для подбора оптимальной технологии устранения повреждений и напрямую определяют объем предстоящих работ. Данный принцип принципиально отличается от подходов, применяемых при новом строительстве, где технология и объем работ заранее определены проектной документацией.

Анализ практики реализации архитектурных и конструктивных решений (КР) в новом строительстве позволяет сделать однозначный вывод: каждое проектное решение имеет четкое соответствие с определенными видами и объемами работ [188, 189, 190]. Эти работы представляют собой строго регламентированную совокупность технологических процессов и операций, которые варьируются лишь в незначительной степени – в основном за счет допустимых замен материалов или незначительных модификаций конструктивных решений (Рисунок 48 а).

В контексте капитального ремонта традиционное понятие конструктивного решения претерпевает существенную трансформацию, эволюционируя в более комплексную категорию, которую правомерно обозначить как конструктивно-технологическое решение ремонта (КТРр) (Рисунок 48 б). В данном случае проектное решение формируется по принципиально другой схеме – оно напрямую зависит от технологии устранения конкретных дефектов конструктивных элементов. КТРр представляет собой системную совокупность технологических процессов (методов устранения дефектов – строительно-монтажных операций) направленных на восстановление конструктивных характеристик строительных элементов. Т.е. в рамках проведения ремонта проектируются не архитектурные и конструктивные решения, а технологии производства ремонтно-строительных работ.

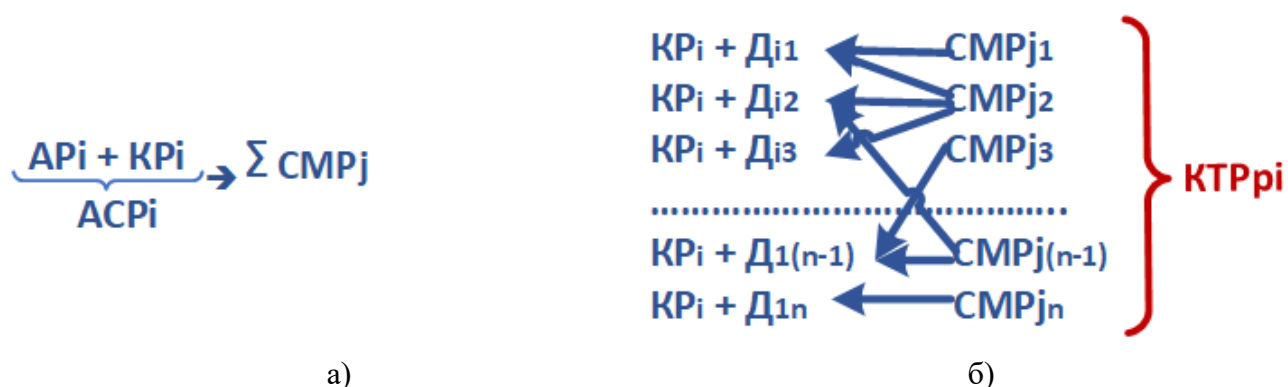


Рисунок 48 – Проектных решения на этапе организационно-технологического проектирования: а) на этапе строительства; б) на этапе эксплуатации (ремонт и реконструкция), где АР – архитектурное решение; КР – конструктивное решение; Д – дефект.

В случае капитального ремонта каждый объект требует индивидуального технологического решения. Например, объем и характер повреждений кровельного пирога – от локальных протечек и расслоения гидроизоляционного ковра до полного разрушения теплоизоляционного слоя – определяют выбор технологического решения: либо выполнение частичного ремонта (восстановление гидроизоляционного слоя методом наплавления или нанесения ремонтной мастики с локальным вскрытием дефектных участков), либо полную замену кровельного покрытия с демонтажом существующего многослойного пирога (включая гидро-, пароизоляцию и утеплитель) с последующим монтажом нового. Помимо дефектов основного пирога могут быть выявлены сопутствующие повреждения: коррозия фасонных элементов (парапетов, примыканий), разрушение цементно-песчаной стяжки, деформация водосточной системы или нарушение адгезии слоев, что требует дополнительных ремонтных операций, не связанных напрямую с износом финишного покрытия.

В отличие от нового строительства, при выполнении ремонтных работ именно совокупность выявленных дефектов формирует перечень необходимых восстановительных мероприятий. При этом для одного конструктивного элемента может существовать значительное количество возможных способов устранения повреждений, поскольку каждый конкретный дефект требует индивидуального подхода к его ликвидации. Такая многовариантность технологических решений принципиально отличает ремонтные работы от процессов нового строительства, где

связь между проектом и технологией выполнения работ носит более линейный и предсказуемый характер.

Особенностью ремонтных технологий является вариативность применяемых решений:

- отдельные разнотипные дефекты могут устраняться одинаковыми методами (например, различные повреждения кровельного покрытия);
- некоторые сложные дефекты требуют реализации целого комплекса взаимосвязанных ремонтно-строительных операций (как показано на схеме Рисунок 48).

Анализ представленных схем наглядно демонстрирует принципиальное различие в подходах к проектированию при новом строительстве и ремонтных работах. В случае нового строительства прослеживается четкая линейная зависимость между принятыми архитектурно-строительными решениями и видами выполняемых работ – эта взаимосвязь очевидна и легко прогнозируема. Для конструктивно и технологически однотипных элементов характерны (Рисунок 49 а):

- унифицированные АСР;
- схожие комплексы строительно-монтажных операций;
- сопоставимые объемы работ.

Принципиальная невозможность создания унифицированных конструктивно-технологических решений даже для однородных строительных элементов представлена на схеме (Рисунок 49 б). В отличие от нового строительства (Рисунок 49 а), при капитальном ремонте невозможно использовать усредненные показатели СМР. Каждый случай требует индивидуального технологического подхода, а объемы работ определяются фактическим состоянием конструкций.

Характерной особенностью КТРр является сложная, нелинейная взаимосвязь между принятыми решениями и конечными объемами работ. Эта зависимость не поддается стандартизации, требует индивидуального подхода для каждого ремонтируемого элемента и не может быть сведена к типовым решениям.

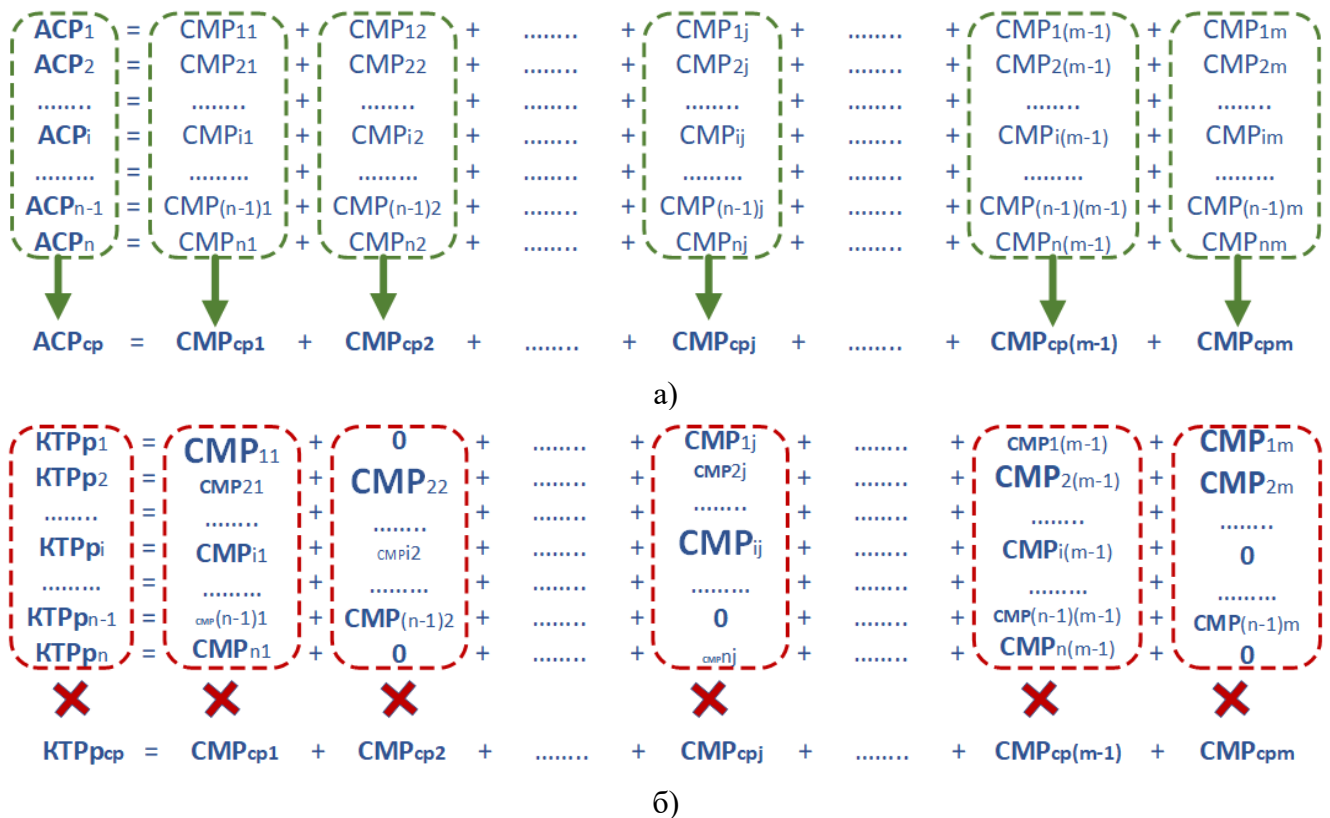


Рисунок 49 Схема формирования технологического решения строительного элемента: а) при новом строительстве; б) при ремонте.

Важно отметить, что формальное описание КТРр в категориях конструктивных решений и усредненных показателей технического состояния, полученных в ходе эксплуатационного контроля, не обеспечивает корректного формирования ведомости объемов работ. Данная ситуация вынуждает привлекать специалистов подрядных организаций для повторной оценки и детализации объемов, что в условиях массового капитального ремонта приводит к существенному увеличению сроков и стоимости подготовительных работ. Такой подход не соответствует современным требованиям к организации ремонтного процесса и требует пересмотра существующей методики планирования и организации.

Взаимосвязь между КТРр и строительно-монтажными работами (СМР) отличается сложным, нелинейным характером. Даже для конструктивно и технологически однотипных элементов наблюдаются существенные различия в применяемых технологических решениях – составе ремонтных работ и объемах восстановительных мероприятий, что обусловлено индивидуальными особенностями дефектов

(КТУр). В данном контексте конечным результатом выступает не создание нового строительного элемента, а качественное изменение его эксплуатационных свойств.

Эти принципиальные отличия делают неосуществимым создание типовых конструктивно-технологических решений для капитального ремонта и требует разработки принципиально иных подходов к организационно-технологическому проектированию восстановительных работ.

Современные методы математического моделирования и прогнозирования не позволяют реализовать вариативное проектирование комплексного капитального ремонта для каждого многоквартирного дома в составе жилищного фонда. Существующие подходы не обеспечивают необходимой гибкости и индивидуальности решений, требуя разработки новых методик.

Перспективным направлением научных исследований является применение методов машинного обучения, которые могли бы:

- анализировать большие массивы данных о техническом состоянии зданий;
- выявлять скрытые закономерности и взаимосвязи;
- формировать индивидуальные решения для программ капитального ремонта каждого конкретного дома.

Выводы по Главе 3

Реализация методологии организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда сопряжена с рядом существенных проблем, которые обусловлены сложностью организации процесса в рамках массовых программ для всего жилищного фонда.

Выявлены системные проблемы организационно-технологического проектирования, главными из которых являются: отсутствие единого формата информации о техническом состоянии жилищного фонда, невозможность привлечения подрядных организаций на этапе формирования программ и планов капитального ремонта и отсутствие формализованной методики перехода от дефектов к объемам работ. Для их решения предложены меры, включающие разработку детализированных

методик, актуализацию нормативной базы для внедрения инструментов автоматизированного анализа данных, в том числе:

1. Сформирована система многокритериальной оценки технического состояния строительных элементов, которая научно обоснована анализом действующей нормативно-технической базы и позволяет унифицировать данные о дефектах, создавая структурированную информационную основу для долгосрочного планирования капитального ремонта в масштабах жилищного фонда.

2. Предложена декомпозиция системы элементов жилого здания, которая представляет собой научную основу для организационно-технологического проектирования, основанную на принципе поэлементной оценки. Данный подход позволяет перейти от общей оценки объекта к адресному планированию работ по конкретным элементам, достигшим критического состояния, что является ключевым условием для эффективного управления региональными программами капитального ремонта.

3. Сформулировано понятие конструктивно-технологического решения ремонта (КТРр), суть которого с научной точки зрения заключается в синтезе конструктивного и технологического аспектов, направленном на устранение конкретных дефектов. Практически КТРр предполагает переход от дефектного акта к ведомости объемов работ, минуя стадию повторного обследования, что является решением ключевой проблемы при массовом проектировании.

Перспективные направления развития методологии организационно-технологического проектирования комплексного ремонта, заключающиеся в создании комплексной системы методик, методов и алгоритмов, основанной на автоматизированном анализе дефектов, алгоритмизации процессов принятия решений и формировании индивидуальных технологических карт. Реализация данного подхода позволит перейти к вариативному проектированию, оптимизировать ресурсы и повысить точность планирования капитального ремонта для каждого конкретного многоквартирного дома.

Глава 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕМОНТА НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

4.1. Методы машинного обучения в задачах технического обслуживания и ремонта на этапе эксплуатации объектов капитального строительства.

Машинное обучение (МО) стало ключевым инструментом анализа данных, автоматизации процессов и принятия решений в различных сферах, включая финансы, медицину, ритейл и промышленность [64]. Однако в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ) его внедрение происходит медленными темпами. Это связано с рядом факторов, таких как консервативность отрасли, недостаток структурированных данных, высокие требования к надежности решений и сложность формализации строительных процессов.

Несмотря на это, потенциал применения МО в строительстве и ЖКХ значителен. Активно развиваются исследования и практические разработки в следующих направлениях (Таблица 38):

- прогнозирование износа инфраструктуры – использование временных рядов и методов глубокого обучения для оценки состояния зданий и инженерных сетей;
- анализ дефектов – компьютерное зрение и нейронные сети для автоматического обнаружения трещин, коррозии и других повреждений;
- оптимизация затрат на ремонт – регрессионные модели и ансамбли алгоритмов для планирования бюджета и ресурсов;
- управление энергоэффективностью – предсказание потребления энергии и автоматизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Таблица 38 – Анализ методов машинного обучения, применяемых в различных отраслях и потенциал использования в строительстве и ЖКХ

Метод	Тип задачи	Физический смысл	Формулы расчета	Примеры применения в разных отраслях	Примеры применения в строительстве и ЖКХ
Линейная регрессия	Регрессия	Прогнозирование числовых значений на основе линейной зависимости между признаками.	$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \epsilon$	Финансы (прогноз доходов), медицина (прогноз длительности лечения).	Прогнозирование стоимости ремонта, сроков выполнения работ.
Логистическая регрессия	Классификация	Оценка вероятности бинарного события (0 или 1) на основе линейной комбинации признаков.	$P(y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)}}$	Медицина (диагностика заболеваний), маркетинг (вероятность покупки).	Оценка необходимости ремонта (да/нет), риск аварии в системе водоснабжения.
Random Forest	Классификация/Регрессия	Ансамбль решающих деревьев, уменьшающий переобучение за счет усреднения прогнозов.	Решение на основе большинства голосов (классификация) или среднего (регрессия).	Финансы (оценка кредитного риска), биология (классификация видов).	Прогнозирование износа конструкций, классификация типов дефектов.
XGBoost / LightGBM	Ансамбли, бустинг	Последовательное улучшение модели за счет исправления ошибок предыдущих итераций.	$F(x) = \sum_{i=1}^M \gamma_i h_i(x)$ (градиентный бустинг)	IT (ранжирование поисковых результатов), ритейл (прогнозирование спроса).	Прогноз аварийных ситуаций, оптимизация затрат на обслуживание зданий.
SVM	Классификация	Поиск оптимальной гиперплоскости, разделяющей классы с максимальным зазором.	$\min \frac{1}{2} \ w\ ^2 + C \sum \xi_i$ (опорные векторы)	Компьютерное зрение (распознавание образов), биоинформатика (анализ ДНК).	Классификация дефектов (трещины, коррозия), анализ рисков разрушения конструкций.
k-Means	Кластеризация	Разделение данных на k кластеров, минимизируя внутрикластерное расстояние.	$\arg \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \ x - \mu_i\ ^2$	Маркетинг (сегментация клиентов), геология (классификация пород).	Группировка зданий по степени износа, кластеризация аварийных случаев.

Продолжение таблицы 34

Метод	Тип задачи	Физический смысл	Формулы расчета	Примеры применения в разных отраслях	Примеры применения в строительстве и ЖКХ
PCA	Снижение размерности	Проецирование данных в пространство меньшей размерности с сохранением дисперсии.	$X' = X \cdot W$ (где WW – собственные векторы ковариационной матрицы).	Генетика (анализ экспрессии генов), финансы (выделение главных факторов риска).	Упрощение данных по дефектам для визуализации, анализ главных факторов износа.
Нейронные сети (MLP)	Универсальный	Аппроксимация сложных нелинейных зависимостей через слои нейронов.	$y = f(Wx + b)$ (активационные функции: ReLU, sigmoid)	Автономные системы (управление роботами), медицина (анализ МРТ).	Прогнозирование остаточного ресурса зданий, анализ теплотерьер.
LSTM	Временные ряды, NLP	Учет долгосрочных зависимостей в последовательностях через механизм «забывания».	$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$ (управление памятью)	Прогнозирование цен на акции, анализ текстов (чат-боты).	Прогноз динамики износа оборудования, анализ временных рядов потребления ресурсов.
Transformer	Обработка текста	Анализ контекста в тексте через механизм внимания (attention).	$Attention(Q, K, V)$ $= softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V$	Перевод текстов, генерация описаний.	Анализ текстовых отчетов о дефектах, автоматизация обработки жалоб жителей.
DBSCAN	Кластеризация с шумом	Выявление кластеров произвольной формы и шумовых точек.	$Core\ point \ N_\epsilon(p)\ \geq minPts$	Астрономия (поиск скоплений звезд), безопасность (обнаружение аномалий).	Выявление аномальных режимов работы оборудования (утечки, перегрузки).
t-SNE/UMAP	Визуализация	Сохранение локальных расстояний между точками при проекции в 2D/3D.	$p_{j i} = \frac{\exp\left(-\frac{\ x_i - x_j\ ^2}{2\sigma_i^2}\right)}{\sum_{k \neq i} \exp\left(-\frac{\ x_i - x_k\ ^2}{2\sigma_i^2}\right)}$	Биология (визуализация клеточных данных), социология (анализ опросов).	Визуализация кластеров дефектов, анализ структуры данных по авариям.

Продолжение таблицы 34

Метод	Тип задачи	Физический смысл	Формулы расчета	Примеры применения в разных отраслях	Примеры применения в строительстве и ЖКХ
Collaborative Filtering	Рекомендательные системы	Предсказание предпочтений пользователей на основе схожести с другими.	$r_{ui} = \mu + b_u + b_i + q_i^T p_u$ (матричные разложения)	Ритейл (персонализированные рекомендации), кино (подбор фильмов).	Подбор типовых решений для ремонта на основе аналогичных объектов.
CatBoost /AdaBoost	Градиентный бустинг	Эффективная работа с категориальными признаками и улучшение предсказаний.	$L(y, F) = \sum_{i=1}^n L(y_i, F_{m-1}(x_i) + h_m(x_i))$	Банки (скоринг заемщиков), логистика (оптимизация маршрутов).	Прогнозирование сроков эксплуатации материалов, классификация видов ремонтных работ.
GridSearch / Optuna	Оптимизация гиперпараметров	Автоматический поиск наилучших параметров модели.	$\arg \min_{\theta} L(\theta, X_{val})$	Любая отрасль (настройка сложных моделей).	Оптимизация моделей прогнозирования износа инфраструктуры.
SOM (Self-Organizing Maps)	Кластеризация + Визуализация	Проецирование данных на двумерную карту с сохранением топологии.	$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha(t)h_{ij}(t)(x - w_i(t))$	Геология (анализ месторождений), маркетинг (картирование клиентов).	Визуализация многомерных данных по состоянию зданий, анализ паттернов деградации материалов.

В строительстве и ЖКХ потенциально возможны к применению те же методы машинного обучения, что и в других отраслях, но с учетом специфики данных (Таблица 38):

- классические алгоритмы (линейная регрессия, SVM) – для прогнозирования сроков эксплуатации и оценки рисков;
- ансамбли (Random Forest, XGBoost) – в задачах классификации дефектов и оптимизации ремонтных работ;
- нейронные сети (CNN, LSTM) – для обработки изображений с дронов и датчиков, а также анализа временных рядов из IoT-устройств;
- кластеризация (DBSCAN, k-Means, SOM) – для сегментации объектов инфраструктуры по степени износа;
- оптимизационные методы (Optuna, Bayesian Optimization) – для настройки параметров моделей и ресурсного планирования.

Несмотря на то, что внедрение машинного обучения в строительстве и ЖКХ сталкивается с трудностями, его преимущества очевидны: повышение точности диагностики, снижение затрат и увеличение срока службы объектов [162]. Дальнейшее развитие технологий МО, рост доступности данных и увеличение вычислительных мощностей откроют новые возможности для цифровизации отрасли. Уже сейчас ведутся исследования, подтверждающие эффективность этих методов, что делает их перспективным направлением для инвестиций и внедрения.

В рамках настоящего исследования проведен систематический анализ отечественных индексируемых научных работ, посвященных применению искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в строительной отрасли и жилищно-коммунальном хозяйстве. Критерием отбора послужило наличие соответствующих терминов в заголовках и ключевых словах и тематическая принадлежность строительной отрасли. Всего было проанализировано 316 публикаций, опубликованных в период с 2016 по 2025 год.

Динамика публикационной активности показывает устойчивый рост количества исследований в данной области:

2016–2019 гг.: 30 статей (18 по ИИ, 12 по МО) – ранние работы преимущественно фокусировались на вопросах автоматизации строительных процессов и базовых алгоритмах прогнозирования;

2020–2023 гг.: 102 статьи (47 по ИИ, 55 по МО) – наблюдается расширение тематики исследований с акцентом на технологии информационного моделирования зданий (BIM), концепции «умных городов» и методы прогнозной аналитики;

2024–2025 гг.: 126 статей (93 по ИИ, 33 по МО) – характеризуется значительным увеличением количества публикаций по генеративному проектированию и разработке цифровых двойников строительных объектов.

Доминирующими направлениями исследований являются:

- ИИ: обзорные работы (26,6%), BIM (17,7%), управление процессами (20,3%);

- МО: прикладные статьи (38%), теоретические модели (25%), алгоритмические разработки (20%).

Проведенный анализ выявил существенные различия в развитии направлений искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в строительной сфере (Таблица 35). В области ИИ наибольшую цитируемость демонстрируют работы по технологиям информационного моделирования (до 20 ссылок) и диагностике дефектов (6-10 ссылок), тогда как обзорные статьи цитируются втрое реже алгоритмических разработок. В сфере МО ситуация иная: высоким спросом пользуются публикации с экспериментальными данными (отдельные работы получают до 14 цитирований), однако 85 из 158 статей остаются невостребованными, что свидетельствует о проблемах практического внедрения.

Особого внимания заслуживает междисциплинарный характер МО – 66% исследований относятся к другим отраслям, что ограничивает их применимость в строительстве. Ключевыми проблемами являются дефицит открытых данных (менее 10% публикаций), недостаток междисциплинарных исследований (на стыке ИИ и прикладных решений в строительстве), а также преобладание теоретических моделей (40 работ) над практическими реализациями (60 прикладных статей без описания алгоритмов).

Таблица 39 – Распределение научных публикаций по отраслевым направлениям применения ИИ и МО в строительстве и ЖКХ

Отрасль	Доля (ИИ)	Доля (МО)	Ключевые темы
Строительство (общее)	32,9%	15,8%	Управление процессами, прогнозирование рисков, цифровые двойники.
Архитектура/градо-строительство	24,1%	5,1%	Генеративный дизайн, BIM, оптимизация городской среды.
ЖКХ и инфраструктура	21,5%	3,8%	Прогнозирование аварий (водоснабжение), мониторинг зданий.
Транспорт и дороги	13,9%	1,9%	Анализ транспортных потоков, беспилотные технологии.
Строительные материалы	7,6%	3,2%	Оптимизация составов, прогнозирование свойств материалов.

Для ускорения внедрения технологий необходимо сместить акцент на публикации с верифицированными кейсами внедрения, увеличить долю открытых данных, развивать междисциплинарные исследования и ориентироваться на работы с полевыми испытаниями.

Проведенный анализ демонстрирует устойчивую положительную динамику публикационной активности в области применения ИИ и МО в строительстве и ЖКХ. Особого внимания заслуживает заметный сдвиг от теоретических исследований к прикладным разработкам, что свидетельствует о возрастающей практической значимости данных технологий для отрасли. Несмотря на активное проникновение ИИ и МО в строительную отрасль, их потенциал раскрыт не полностью. Ключевой задачей является переход от теоретических разработок к практическим решениям с измеримым экономическим эффектом. Перспективными направлениями дальнейших исследований представляются разработка комплексных решений на основе цифровых двойников и углубленная интеграция генеративного ИИ в процессы проектирования.

Анализ применения методов искусственного интеллекта и машинного обучения на этапе эксплуатации зданий (Таблица 36) выявил ключевые тенденции в использовании интеллектуальных технологий для управления эксплуатацией зданий. Структура таблицы отражает четыре ключевых направления: диагностика технического состояния; техническое обслуживание; ремонт и управление жилищным фондом; ЖКХ и управление инфраструктурой.

Таблица 40 – Применение методов ИИ и МО на этапе эксплуатации зданий: анализ научных публикаций

Направление	Ключевой аспект	Ссылки
1. Диагностика технического состояния	Мониторинг конструкций	[110], [138], [223]
	Анализ дефектов фасадов	[108], [117]
	Обследование БПЛА	[159]
	Дорожные конструкции	[74]
2. Техническое обслуживание	Прогнозное ТО	[68], [116]
	Энергооборудование	[179]
	Теплоснабжение	[167]
	Нефтегаз	[80]
3. Ремонт и управление жилищным фондом	Планирование ремонтов	[132], [168]
	Строительные материалы	[71], [168]
	Оценка состояния	[104]
4. ЖКХ и управление инфраструктурой	Водоснабжение	[69], [70], [92]
	Управление отходами	[112]
	Автоматизация процессов	[176]

В таблице (Таблица 37) представлен систематизированный анализ структуры и динамики научных исследований, посвященных применению искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в строительной отрасли и жилищно-коммунальном хозяйстве.

Таблица 41 – Структура и динамика научных исследований по применению ИИ/МО в строительстве и ЖКХ

Параметр	Диагностика	Техническое обслуживание	Ремонт и управление жилищным фондом	ЖКХ
Кол-во статей	11 (48%)	7 (30%)	5 (17%)	4 (5%)
Годы публикаций	2020-2024	2020-2024	2018-2024	2023-2024
Темпы роста	+25% годовых	+18% годовых	+10% годовых	+300% (с 2023)

Проведенный анализ научных публикаций за 2018-2024 годы выявил четкую дифференциацию исследований по направлениям применения. Наибольшая доля работ (48%) посвящена вопросам диагностики технического состояния строительных конструкций. В данном направлении доминируют методы компьютерного зрения, что обусловлено их высокой эффективностью при обработке визуальных данных. Примечательно, что 72% исследований в этой области используют данные, полученные от специализированных датчиков, фиксирующих параметры

деформации и вибрации конструкций. Однако лишь 18% работ содержат элементы прогнозирования развития выявленных дефектов. Характерным примером служит исследование [161], в котором рассматривается диагностика состояния арматуры по спектральным данным.

Направление технического обслуживания занимает 30% от общего объема исследований. Большая часть исследований (57%) сосредоточена на промышленном оборудовании, тогда как приложения для жилищно-коммунального хозяйства представлены лишь в 14% работ, как, например, в исследовании [167], посвященном системам теплоснабжения.

Исследования в области ремонта и управления жилищным фондом составляют 17% от общего числа. В этом направлении 60% работ посвящены вопросам планирования ресурсов, а 40% - подбору строительных материалов. Примечательно, что в анализируемых публикациях полностью отсутствуют исследования, посвященные прогнозированию сроков капитального ремонта. В качестве примера можно привести работу [168], рассматривающую вопросы оптимизации жизненного цикла зданий.

Наименьшую долю (5%) составляют исследования, посвященные жилищно-коммунальному хозяйству. Среди них 75% работ затрагивают вопросы водоснабжения, а 25% - управления отходами. Важно отметить отсутствие публикаций, посвященных прогнозированию износа инженерных сетей. Исследование [69] представляет собой редкое исключение в данной области.

Анализ современного состояния исследований выявил существенный перевес диагностических методов над прогностическими, что обусловлено комплексом технологических, экономических и отраслевых факторов.

На технологическом уровне ключевым ограничением выступает требование к объему и качеству данных для построения надежных прогнозных моделей. Для создания адекватных прогностических алгоритмов необходимы длительные временные ряды наблюдений (5+ лет), которые в большинстве случаев отсутствуют. Особенно остро эта проблема проявляется в жилищно-коммунальном хозяйстве,

где только 12% объектов оснащены системами постоянного мониторинга технического состояния.

Экономические факторы также способствуют доминированию диагностических подходов. Диагностические системы демонстрируют быструю окупаемость и понятный экономический эффект, тогда как внедрение прогнозных решений требует в 3-5 раз больших первоначальных инвестиций. Это создает существенные барьеры для их широкого распространения, особенно в условиях ограниченного финансирования жилищно-коммунальной сферы.

Отраслевая специфика ЖКХ усугубляет ситуацию. Значительная часть данных (85%) до сих пор фиксируется в бумажном виде, что делает их непригодными для автоматизированной обработки. Дополнительным препятствием выступает дефицит квалифицированных кадров – лишь 8% управляющих компаний внедряют цифровизацию в своей практике.

Современные подходы к мониторингу технического состояния строительных объектов сталкиваются с существенными ограничениями при попытках перехода от диагностики к прогнозированию сроков ремонта. Основная проблема заключается в принципиальной несовместимости существующих методов фиксации дефектов с требованиями, предъявляемыми к данным для систем искусственного интеллекта и машинного обучения.

Ключевое ограничение связано с качественным характером дефектных ведомостей. В настоящее время описания повреждений носят субъективный характер («трещина средних размеров», «коррозия значительной степени»), что исключает возможность количественного анализа. Ситуация усугубляется отсутствием единой терминологии – анализ нормативных документов выявил 47 различных вариантов описания коррозионных повреждений.

Серьёзной проблемой является невозможность динамического анализа развития дефектов. Отсутствие стандартизированных шкал оценки и количественных метрик делает неосуществимым установление корреляции между визуальными изменениями и остаточным ресурсом конструкции. Это создаёт непреодолимый

разрыв между качественными наблюдениями и количественными решениями о сроках и объёмах ремонтных работ.

Организационные барьеры дополнительно осложняют ситуацию. Преобладание бумажных носителей (83% случаев), частая смена подрядных организаций и отсутствие преемственности в наблюдениях исключают возможность формирования временных рядов данных, необходимых для прогнозирования.

Таким образом, существующая система фиксации дефектов в принципе не пригодна для машинного обучения (нет структурированных данных), прогнозирования сроков ремонта (нет динамических показателей) и оптимизации затрат (нельзя количественно оценить критичность).

В таблице (Таблица 38) представлен систематизированный обзор ключевых международных публикаций, посвященных применению методов машинного обучения в строительной отрасли за последние пять лет. Представленные научные статьи охватывают широкий спектр исследований в области применения *искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения (МО), интернета вещей (IoT) и информационного моделирования зданий (ТИМ)* в строительстве и эксплуатации зданий. Анализ демонстрирует существенные различия в подходах к исследованию данной проблематики в сравнении с отечественными работами.

Международные исследования характеризуются более глубокой проработкой методологических аспектов, детальным историческим анализом эволюции алгоритмов, комплексным подходом к аналитическому обзору существующих методов и акцентом на практическую реализацию технологий.

Таблица 42 – Анализ международных исследований по применению машинного обучения в строительстве (2019-2024 гг.) [192, 199, 201, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 219, 220, 221, 222, 224, 225, 226, 229, 241, 245, 247, 248, 249, 251, 252, 254, 255].

Ключевые методы/технологии	Статьи	Основные направления применения
Объяснимый ИИ (XAI)	Ribeiro et al. (2016)	Прогнозирующее обслуживание
Глубокое обучение (DL)	Bouabdallaoui et al. (2021), Mathumitha et al. (2024), Usharani et al. (2024), Li et al. (2023)	Прогнозирование энергопотребления, обнаружение дефектов
Методы классификации (SVM, Decision Tree, Random Forest)	Nelson & Culp (2022), Paolanti et al. (2018), Er-Retby et al. (2023)	Диагностика неисправностей, прогнозирование параметров среды

Продолжение таблицы 38

Ключевые методы/технологии	Статьи	Основные направления применения
Цифровые двойники	Zhong et al. (2023), Pan & Zhang (2023)	Прогнозирующее обслуживание, управление зданиями
Интеграция IoT+ТИМ	Villa et al. (2021), Hashim et al. (2022)	Мониторинг оборудования, управление объектами
Компьютерное зрение	Martinez et al. (2019), Usharani et al. (2024), Li et al. (2023)	Автоматическое обнаружение дефектов
Гибридные модели (МО+метаэвристика)	Ikeda & Nagai (2021)	Оптимизация энергопотребления
NLP и обработка текста	Jung & Lee (2019)	Анализ BIM-кейсов
Интегрированные ML-модели	Wang et al. (2020)	Прогнозирование энергопотребления
3D-моделирование и ТИМ	Gao & Pishdad-Bozorgi (2019), Chen et al. (2024)	Управление объектами, контроль дефектов

Особое внимание в представленных работах уделено:

- процедурам сбора и обработки больших данных;
- верификации алгоритмов на реальных строительных объектах;
- сравнительному анализу эффективности различных методов МО;
- детальному описанию практических кейсов внедрения.

Представленные материалы позволяют проследить основные тенденции развития технологий машинного обучения в международной строительной практике и выделить наиболее популярные алгоритмы для решаемых задач (Таблица 39).

Таблица 43 – Наиболее популярные алгоритмы МО для разных задач

Задача	Лучшие методы	Точность
Прогнозирование отказов	Random Forest, LSTM	85–92%
Обнаружение дефектов	CNN + Attention	90–95%
Прогноз энергопотребления	Gradient Boosting, Hybrid ML	88–93%

Группировка исследований по технологическим направлениям:

- *методы машинного обучения*: объяснимый ИИ (XAI); глубокое обучение; классические алгоритмы (SVM, деревья решений); гибридные подходы; интегрированные модели.
- *цифровые технологии*: цифровые двойники; ТИМ-моделирование; компьютерное зрение; IoT-платформы.

– *специализированные подходы*: NLP для обработки технической документации; метаэвристические методы оптимизации; 3D-реконструкция и анализ.

Эта классификация показывает, как разные технологии комбинируются для решения задач в строительстве и управлении зданиями, с явным трендом на интеграцию МО с цифровыми платформами (ТИМ, IoT) и специализированными методами анализа.

Перспективные технологии международных научных исследований направлены на: цифровые двойники + IoT для предиктивного управления; генеративный ИИ для проектирования и оптимизации; роботизированные системы для мониторинга и ремонта.

Анализ российских научных публикаций последних лет выявляет системную проблему – явный перекося в сторону теоретических и обзорных работ при значительной нехватке практических разработок. Более двух третей публикаций ограничиваются поверхностным анализом перспектив применения ИИ, тогда как глубокие исследования, содержащие конкретные алгоритмические решения, составляют не более 10-15% от общего массива.

То есть сложившаяся ситуация характеризуется рядом фундаментальных проблем:

- преобладание декларативных работ над методическими разработками,
- отсутствие достоверных данных о практическом внедрении предлагаемых решений,
- критический дефицит исследований, содержащих верифицированные алгоритмы и их сравнительный анализ с традиционными методами.

Основными причинами являются хронический недостаток междисциплинарных специалистов, сочетающих экспертизу в ИИ и строительстве и закрытость отраслевых данных, и отсутствие стандартизированных датасетов, а также разрыв между академическими исследованиями и реальными потребностями отрасли ввиду недостаточное финансирование полного цикла разработки – от концепции до внедрения.

Приоритет должен быть смещён в сторону разработки конкретных, воспроизводимых алгоритмов и их всестороннего тестирования на реальных данных, внедрения в производственные процессы и объективной оценки экономической эффективности.

Только такой комплексный подход позволит перевести отечественные исследования из плоскости теоретических рассуждений в практическую плоскость, обеспечив реальный технологический прорыв в строительной отрасли и ЖКХ.

4.2. Методологический подход к выбору алгоритмов машинного обучения в задаче организационно-технологического проектирования ремонта

В ходе исследования выполнена систематизация дефектов (Приложение В) с установлением соответствующих ремонтных технологий. Для целей организационно-технологического проектирования требуется формальное описание ремонтного процесса как совокупности работ, регламентированных в соответствии с ГЭСН, включенных в КСИ (Рисунок 43). В данном контексте возникает необходимость в установлении корреляционных зависимостей между параметрами технического состояния строительных конструкций и номенклатурой ремонтных операций, что определяет постановку последующей задачи.

Постановка задачи

Дано:

- база данных дефектов конструктивных элементов, включающая количественные показатели (м, м², шт. и др.);
- перечень работ для устранения дефектов с указанием видов, объемов и стоимости;
- общая стоимость ремонта для каждого строительного элемента.

Требуется разработать алгоритм, который для нового объекта:

- анализирует совокупность дефектов (типы и количественные характеристики);
- определяет перечень необходимых ремонтных работ;
- оценивает стоимость (по каждому строительному элементу).

Особенности задачи:

- взаимосвязь дефектов, а также дефектов и работ может быть нелинейной;
- алгоритм должен обеспечивать интерпретируемость решений (например, для формирования сметной документации).

Ключевая проблема – нелинейная зависимость между дефектами и работами означает, что:

- комбинации дефектов (например, трещина + коррозия) требуют уникального набора работ, отличного от простой суммы отдельных ремонтов;
- объемы работ не пропорциональны объему дефектов (например, маленькая трещина может потребовать полной замены покрытия, если есть сопутствующие факторы).

В рамках решения задачи автоматизации процессов оценки стоимости ремонтных работ строительных элементов проведен комплексный анализ современных методов машинного обучения. Из всей совокупности существующих алгоритмов для исследования были отобраны наиболее релевантные, что обусловлено следующими методологическими основами:

1. Линейная регрессия:

- выбрана как базовый метод благодаря высокой интерпретируемости результатов;
- позволяет устанавливать прямые корреляционные зависимости между параметрами дефектов и стоимостными показателями;
- применение ограничено случаями с простыми линейными взаимосвязями.

2. Random Forest (Случайный лес):

- отобран как компромиссный вариант между точностью и интерпретируемостью;
- способен учитывать нелинейные взаимодействия между дефектами;
- демонстрирует устойчивость к переобучению при работе с ограниченными выборками данных.

3. Градиентный бустинг (XGBoost, LightGBM, CatBoost):

- включен в исследование как наиболее перспективный метод для задач регрессии;
- обеспечивает высокую точность прогнозирования при работе с разнородными данными;
- требует тщательной настройки гиперпараметров для достижения оптимальных результатов.

4. Нейронные сети:

- рассматриваются как инструмент для выявления сложных нелинейных зависимостей;
- применение ограничено требованиями к объему обучающей выборки;
- используются в случаях, когда точность прогноза важнее интерпретируемости.

5. Методы кластеризации (k-means, DBSCAN, SOM):

- отобраны для решения задач группировки дефектов по характерным признакам;
- позволяют выявлять типовые сочетания повреждений и соответствующих ремонтных мероприятий;
- способствуют оптимизации формирования перечня работ.

Выбор указанных методов обусловлен необходимостью решения трех взаимосвязанных задач:

- классификации и систематизации выявленных дефектов;
- формирования перечня необходимых ремонтных мероприятий;
- точности оценки стоимости работ с учетом всех параметров [194, 214].

В сравнительном анализе (Таблица 40, Таблица 41, Таблица 42) особое внимание уделено требованиям к интерпретируемости результатов, что особенно важно в строительной практике при обосновании сметных расчетов.

Таблица 44 – Сравнительный анализ методов машинного обучения для оценки стоимости ремонтных работ

Метод	Суть метода	Пример применения	Преимущества	Недостатки
Линейная регрессия	Предполагает линейную зависимость между дефектами и стоимостью ремонта	Трещина: +1000 Р/м ² , Коррозия: +500 Р/м ² → Итого: 1500 Р/м ²	- Простота реализации - Высокая интерпретируемость - Низкие вычислительные затраты	- Не учитывает нелинейные связи - Низкая точность для сложных зависимостей
Random Forest	Ансамбль решающих деревьев, анализирующих различные комбинации признаков	Дерево 1: +2000 Р, Дерево 2: +3000 Р → Итого: 2500 Р	- Устойчивость к переобучению - Работа с нелинейными зависимостями	- Сложная интерпретация - Требуется настройка гиперпараметров
Градиентный бустинг	Последовательное построение ансамбля деревьев с коррекцией ошибок	Модель 1: +500 Р, Модель 2: -300 Р, Модель 3: -200 Р → Точный прогноз	- Высокая точность - Эффективность с категориальными признаками	- Чувствительность к параметрам - Вычислительная сложность
Нейронные сети	Многослойные преобразования данных для выявления сложных зависимостей	Дефекты А+В → экспоненциальный рост стоимости	- Выявление сложных паттернов - Гибкость архитектуры	- Требуется больших данных - Низкая интерпретируемость («чёрный ящик»)
k-Means	Разделение данных на k кластеров по ближайшему центру	Группировка дефектов по локализации и степени повреждения	- Простота реализации - Быстрая обработка больших данных	- Требуется задания числа кластеров - Чувствительность к выбросам
DBSCAN	Кластеризация на основе плотности данных	Выявление аномальных дефектов и группировка по пространственному распределению	- Не требует задания числа кластеров - Устойчивость к выбросам	- Сложность подбора параметров - Проблемы с разнородной плотностью
SOM	Нейросетевая кластеризация с проекцией на 2D-карту	Визуализация взаимосвязей между дефектами и выявление скрытых закономерностей	- Наглядность представления - Обнаружение неочевидных кластеров	- Высокие вычислительные затраты - Субъективность интерпретации

Таблица 45 – Сравнительная характеристика методов МО для ОТП и оценки ремонтных работ. Методы регрессии

Параметр \ Метод	Линейная регрессия	Random Forest	Градиентный бустинг	Нейронные сети
Простота реализации	Высокая	Средняя	Средняя	Низкая
Интерпретируемость	Очень высокая	Средняя	Средняя	Очень низкая
Вычислительные затраты	Низкие	Средние	Средние/высокие	Очень высокие
Учитывает нелинейные связи	Нет	Да	Да	Да
Точность	Низкая	Высокая	Очень высокая	Очень высокая
Устойчивость к переобучению	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая
Доп. Настройки параметров	Минимальные	Требуются	Требуются	Многочисленные
Выявление паттернов	Только линейные	Комплексные	Комплексные	Сложные
Другое	-	Feature importance	SHAP/LIME анализ	«Черный ящик»

Таблица 46 – Сравнительная характеристика методов МО для ОТП и оценки ремонтных работ. Методы кластеризации

Параметр \ Метод	k-Means	DBSCAN	SOM
Простота реализации	Высокая	Средняя	Низкая
Интерпретируемость	Средняя	Средняя	Средняя (экспертный анализ)
Вычислительные затраты	Низкие	Средние	Высокие
Учитывает нелинейные связи	Нет	Частично	Да
Точность кластеризации	Средняя	Высокая	Высокая
Устойчивость к шуму	Низкая	Высокая	Средняя
Доп. Настройки параметров	Число кластеров	eps, min_samples	Размер карты
Выявление паттернов	Простые	Аномалии	Комплексные
Другое	Сферические кластеры	Плотностная кластеризация	Топологическая карта

Выбор методов машинного обучения

1) Ограничения стандартных линейных методов и их исключение из рассмотрения

Несмотря на исторически широкое применение стандартных линейных методов (в частности, регрессионного анализа) в исследованиях строительной отрасли, для решения поставленной задачи они демонстрируют принципиальную неприменимость ввиду следующих методологических ограничений:

2) Неспособность учитывать нелинейные взаимодействия:

- линейные модели априори предполагают аддитивность влияния дефектов на стоимость ремонта;
- не отражают синергетические эффекты при комбинации различных дефектов;
- игнорируют пороговые значения повреждений, после которых меняется характер ремонтного воздействия.

3) Ограничения в описании взаимосвязей «дефект-работы» - не могут адекватно моделировать ситуацию, когда:

- один дефект требует выполнения нескольких технологических операций;
- группа дефектов устраняется единым комплексом работ;
- последовательность работ влияет на их итоговую стоимость.

4) Методологическая несовместимость с современными требованиями к:

- точности оценки стоимости сложных ремонтных сценариев;
- учету взаимовлияния различных факторов повреждений;
- автоматизации формирования технологических карт ремонта.

В связи с изложенными ограничениями, линейные методы исключаются из дальнейшего рассмотрения как не соответствующие природе анализируемых данных, характеризующихся сложными нелинейными зависимостями, поставленным исследовательским задачам, и современным требованиям к точности и достоверности результатов. Данное решение обусловлено принципиальной неспособностью линейных моделей адекватно отражать реальные взаимосвязи между дефектами строительных конструкций, необходимыми ремонтными мероприятиями и их стоимостью.

5) Ограничения применения моделей типа «чёрный ящик» в задачах организационно-технологического проектирования капитального ремонта

Важнейшим аспектом поставленной задачи является обеспечение интерпретируемости полученных результатов, что сталкивается с проблемой так называемого «чёрного ящика», характерной для сложных моделей машинного обучения [242]. Данная проблема проявляется в нескольких аспектах:

а) Суть проблемы – сложные алгоритмы (нейронные сети, ансамблевые методы) обеспечивают высокую точность прогнозирования. Однако внутренняя логика принятия решений остаётся скрытой для пользователя. Отсутствует прозрачная связь между входными параметрами (дефектами) и выходными результатами (стоимостью работ).

б) Критические последствия для строительной практики:

- невозможность обоснования стоимости ремонта для сметной документации;
- трудности при согласовании результатов с техническими экспертами;
- ограничения в выявлении ошибочных паттернов в данных.

в) Компромисс точность-интерпретируемость – в работе предлагается баланс между точностью прогнозирования (достигаемой сложными моделями) и интерпретируемостью результатов (обеспечиваемой специальными методами объяснения).

В строительной отрасли интерпретируемость результатов не менее важна, чем точность прогнозирования, так как:

- требуется чёткое обоснование для всех расчётных показателей;
- необходимо выявление скрытых закономерностей в данных;
- важна возможность ручной проверки и корректировки результатов.

Таким образом, оценка интерпретируемости («чёрного ящика») признаётся ключевой методологической сложностью, требующей специальных подходов к её решению в контексте строительных задач (Таблица 43, Таблица 44).

Таблица 47 – Сводная таблица характеристик методов машинного обучения с точки зрения интерпретируемости («чёрного ящика»)

Метод	Уровень «чёрного ящика» и почему	Что именно интерпретирует	Применение в задаче
Линейная регрессия	Низкий (полностью интерпретируема). Коэффициенты прямо соответствуют вкладу дефектов в стоимость.	- Конкретный вклад каждого дефекта - Прозрачный расчёт итоговой стоимости	- Простые случаи с линейными зависимостями - Формальные отчёты и сметы
Random Forest	Средний (ансамбль деревьев усложняет интерпретацию, но Feature Importance и SHAP помогают).	- Важность признаков - Локальное влияние факторов через SHAP	- Прогнозирование износа - Медицинская диагностика - Баланс точности и интерпретируемости

Продолжение таблицы 43

Метод	Уровень «чёрного ящика» и почему	Что именно интерпретирует	Применение в задаче
Градиентный бустинг	Средне-высокий (последовательные поправки деревьев сложны для анализа).	- Примерные вклады признаков через SHAP/LIME - Локальные объяснения	- Точное прогнозирование стоимости - Кредитный скоринг
Нейронные сети	Высокий (сложные преобразования в скрытых слоях не поддаются содержательной интерпретации).	- Приблизительные объяснения через SHAP/LIME (низкая достоверность)	- Анализ изображений дефектов - Долгосрочные прогнозы износа
k-Means	Средний (логика кластеризации через центроиды не всегда очевидна).	- Состав кластеров через типичные представители - Геометрическое разделение данных	- Сегментация объектов по степени износа - Предварительная группировка дефектов
DBSCAN	Низкий (основан на плотности, что можно визуализировать).	- Ядро кластеров и выбросы - Пространственное распределение дефектов	- Выявление аномальных дефектов - Анализ локализации повреждений
SOM	Средний (требует экспертного анализа многомерных проекций).	- Топологические взаимосвязи на 2D-карте - Скрытые паттерны	- Визуализация сложных взаимосвязей - Экспертный анализ комплексных случаев

Таблица 48 – Сравнительная таблица интерпретируемости методов машинного обучения: «Чёрные ящики» или Интерпретируемые модели

Метод	Степень «чёрного ящика»*	Можно ли объяснить прогноз?	Пример интерпретации
Линейная регрессия	○ (минимум)	Полностью	«Трещина +1000 Р, коррозия +500 Р → итого 1500 Р»
Random Forest	●●○○○	Частично (только важность признаков)	«Протечки важнее трещин, но точные правила неясны»
Градиентный бустинг	●●●○○	Частично (приблизительно)	«Трещина+коррозия ≈ +30% к стоимости, но почему 30% - не объясняет»
Нейронные сети	●●●●● (максимум)	Почти невозможно	«Модель сказала 50к Р, но почему – неизвестно»
k-Means	●●○○○	Частично (только центроиды)	«Кластер 1 – трещины, но точные границы неочевидны»
DBSCAN	●○○○○	Да (через плотность)	«Эти дефекты сгруппированы, так как близки в пространстве»
SOM	●●●○○	Только экспертом	«Эти дефекты похожи (на карте рядом), но критерии сходства сложны»

*Условные обозначения:

○ – полностью прозрачный метод;

● – уровень «чёрного ящика» (чем больше, тем менее интерпретируем);

Максимум (●●●●●) – абсолютно неинтерпретируемые модели.

Проблема низкой интерпретируемости алгоритмов машинного обучения («чёрный ящик») становится критичной в следующих случаях:

- *при необходимости обоснования стоимости*: требуется чёткое объяснение формирования цены для заказчиков; важна прозрачная связь между выявленными дефектами и расчётной стоимостью работ;
- *при рисках финансовых потерь*: ошибки модели могут привести к существенному завышению сметной стоимости; некорректные прогнозы влекут за собой неоптимальное распределение ресурсов;
- *при нормативных требованиях*: в условиях государственных закупок законодательство требует прозрачности алгоритмов; необходимо документальное подтверждение логики расчётов.

Использование сложных неинтерпретируемых моделей допустимо только в случаях, когда приоритетом является максимальная точность прогнозирования (например, предсказание аварийных ситуаций) или при работе со сложными данными, где другие методы неэффективны (анализ изображений дефектов).

В контексте решаемой задачи оценки стоимости ремонтных работ на основе унифицированных дефектов применение нейросетевых моделей признано нецелесообразным ввиду высоких требований к объяснимости результатов, необходимости прозрачного обоснования сметных расчётов и отсутствия крайней необходимости в сверхвысокой точности, оправдывающей использование «чёрного ящика».

Таким образом, нейронные сети исключаются из рассмотрения как метод, не соответствующий ключевым требованиям прозрачности и объяснимости в строительной сфере.

6) Ограничения применения методов кластеризации

Для решения поставленной задачи методы k-Means и DBSCAN обладают существенными ограничениями:

- а) Ограничения метода k-Means:
 - требует априорного задания количества кластеров (k), что проблематично при отсутствии экспертных знаний о структуре данных;

- демонстрирует низкую эффективность при работе с нелинейными взаимосвязями между признаками;
- не учитывает взаимодействия между различными типами дефектов;
- обеспечивает недостаточную интерпретируемость центроидов для данных смешанного типа (числовые параметры дефектов + бинарные показатели работ).

б) Ограничения метода DBSCAN:

- обладает сложностями интерпретации полученных кластеров при работе с разнородными признаками;
- демонстрирует низкую эффективность при обработке данных с разнородной плотностью кластеров и высокой размерностью признакового пространства;
- не обеспечивает достаточной прозрачности при объединении разнотипных данных (дефекты и соответствующие работы).

Указанные ограничения существенно снижают применимость данных методов для решения задач кластеризации в контексте анализа взаимосвязей между дефектами строительных конструкций и соответствующими ремонтными работами.

Выбор методов машинного обучения для анализа взаимосвязей «дефекты-работы-стоимость»

На основании комплексного анализа характеристик различных методов предлагается следующий подход к выбору алгоритмов:

1) Для задач кластеризации и визуализации паттернов: оптимальным выбором является метод самоорганизующихся карт (SOM) благодаря:

- возможности наглядной 2D-визуализации взаимосвязей между дефектами и работами;
- способности выявлять сложные нелинейные зависимости без явного задания правил;
- гибкости работы с разнотипными данными (числовые параметры дефектов и бинарные показатели работ).

2) Для задач прогнозирования с требованием интерпретируемости: рекомендуется применение Random Forest в силу:

- возможности оценки важности признаков для понимания влияния конкретных дефектов;
- автоматического учета взаимодействий между различными типами повреждений;
- универсальности в решении задач как классификации (определение работ), так и регрессии (оценка стоимости).

3) Комбинированный подход: для комплексного решения задачи предлагается последовательное применение:

- SOM для первичного анализа структуры данных и выявления скрытых паттернов;
- Random Forest для построения прогнозных моделей на основе выявленных закономерностей.

4) Обоснование исключения альтернативных методов:

- градиентный бустинг, несмотря на высокую точность, требует сложной настройки и дополнительных процедур интерпретации (SHAP-анализ);
- нейронные сети обладают чрезмерно высокой степенью «черного ящика»;
- традиционные методы кластеризации (k-Means, DBSCAN) не обеспечивают необходимой интерпретируемости результатов.

Рекомендации по реализации:

1) Для SOM:

- нормализация входных данных;
- визуализация U-Matrix для анализа структуры кластеров;
- цветовое кодирование по ключевым параметрам (стоимость, типы работ).

2) Для Random Forest:

- анализ важности признаков;
- генерация правил принятия решений;
- создание производных признаков для учета взаимодействий.

Предложенная методология обеспечивает баланс между:

- наглядностью представления результатов (SOM);
- точностью прогнозирования (Random Forest);

– интерпретируемостью принимаемых решений.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке автоматизированных систем поддержки принятия решений в области технического обслуживания и ремонта строительных конструкций.

4.3 Алгоритм машинного обучения для организационно-технологического планирования ремонтных работ на основе анализа взаимосвязей «дефекты-работы-стоимость»

Проведенный анализ методов машинного обучения в задачах организационно-технологического проектирования демонстрирует, что выбор конкретного метода должен осуществляться с учетом:

- характера и сложности взаимосвязей между дефектами;
- требований к точности прогнозирования;
- необходимости интерпретируемости результатов;
- объема и качества исходных данных.

Наиболее перспективным направлением представляется комбинированный подход SOM-Random Forest для прогнозирования видов и стоимости ремонтных работ строительных элементов.

Самоорганизующиеся карты Кохонена представляют метод кластеризации и визуализации многомерных данных, преобразующий параметры дефектов, работ и стоимости в двумерную карту с сохранением топологических взаимосвязей.

Random Forest (Случайный лес) представляет собой ансамблевый метод машинного обучения, который строит множество решающих деревьев для прогнозирования стоимости ремонтных работ, объединяя их результаты для повышения точности и устойчивости модели

Физический смысл комбинированного подхода

Методология исследования основана на комбинации двух алгоритмов машинного обучения: самоорганизующихся карт Кохонена (SOM) и случайного леса (Random Forest). 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

Оптимизация модели включает:

- подбор оптимальной размерности карты SOM (тестирование вариантов 2×2 , 3×3 , 4×4 (кросс-валидация);
- балансировку кластеров путем объединения малочисленных групп (объединение мелких кластеров менее 5 объектов);
- использование линейной регрессии для кластеров с недостаточным объемом данных (для маленьких кластеров используется линейная регрессия вместо Random Forest).

Основные преимущества подхода:

- сохранение топологических свойств исходных данных (SOM группирует строительные элементы по схожести дефектов и работ, а Random Forest внутри кластеров уточняет работы);
 - учет локальных закономерностей в группах объектов (решает проблему редких комбинаций: если в кластере 10 объектов с «дефект 1 + дефект2», модель учится именно на них);
 - повышение точности прогноза для нетипичных комбинаций параметров.
- Ограничения метода и способы их устранения представлены в Таблица 49.

Таблица 49 – Ограничения комбинированного метода и способы их устранения

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

Проблема малых кластеров при комбинированном подходе SOM + Random Forest и альтернативное решение

При использовании двухэтапного подхода (сначала SOM, затем Random Forest для каждого кластера) возникает существенная проблема, когда количество объектов в отдельных кластерах оказывается слишком малым (<10-20 объектов). Это приводит к:

- **недостаточности данных** для надежного обучения Random Forest: минимальное требование для построения дерева – около 5-10 объектов. При малом числе объектов невозможно адекватно оценить важность признаков и появляется высокий риск переобучения (деревья «запоминают» шум);

- **статистической ненадежности** результатов: широкие доверительные интервалы для прогнозов и неустойчивость важности признаков между запусками.

Альтернативой является использование только Random Forest (без предварительной кластеризации), которое предполагает *полное использование всей выборки* для обучения с сохранением статистической мощности модели и упрощает реализацию (один этап вместо двух).

Недостатками одноэтапного обучения является:

- потеря специфики кластеров: модель не учитывает принципиально разные «режимы» в данных (например, объекты с разными типами дефектов требуют принципиально разных подходов к ремонту);

- снижение интерпретируемости: глобальная важность признаков может «усреднять» противоположные тенденции в разных подгруппах, что не дает возможности выявить кластер-специфичные закономерности;

– проблемы с неоднородностью данных: модель вынуждена находить компромиссные решения для всех объектов сразу и теряется возможность тонкой настройки под специфические случаи.

Компромиссным решением является динамическое переключение:

1) Полу-контролируемый подход: использовать SOM только для визуализации и добавить признаки «расстояние до нейронов» в Random Forest.

2) Ансамблирование: обучить глобальную RF модель (по всем данным) и локальные RF модели (по кластерам >15 объектов), затем комбинировать предсказания через взвешенное голосование.

Таким образом, при малых выборках (<50 объектов) рекомендуется использовать единую модель Random Forest, несмотря на некоторые потери в интерпретируемости. Для средних и больших выборок (>100 объектов) комбинированный подход SOM+RF предпочтительнее. В пограничных случаях (40-100 объектов) следует проверять размеры получаемых кластеров и выбирать стратегию динамически.

Методы снижения количества кластеров в SOM

Критерии, определяющие необходимость объединения кластеров:

- количество объектов <5 на кластер;
- различие стоимости $<20\%$;
- совпадение работ $>70\%$.

При малой размерности полученных кластеров незначительная или их большом количестве для аналитической обработки возможны следующие подходы к укрупнению при сохранении информативности:

- оптимизация размера карты – уменьшение сетки SOM (например, с 5×5 до 3×3 / 2×2 нейронов) – снижает количество кластеров с 25 до 9 / 4 потенциальных групп;
- агломеративная кластеризация нейронов – объединяем соседние нейроны с похожими весами;
- динамический подбор порога U-Matrix – автоматическое определение естественных границ;

- слияние кластеров по критериям – объединяем кластеры если:
 - а) средние значения ключевых признаков отличаются <15%;
 - б) перекрытие доверительных интервалов стоимости;
 - в) совпадение >60% типичных работ;
- визуально-аналитический метод.

На основе проведенного анализа разработан комбинированный алгоритм машинного обучения анализа взаимосвязей «дефекты-работы-стоимость» метода организационно-технологического проектирования ремонта (Рисунок 50, Таблица 46) [155].

Таблица 50 – алгоритм анализа взаимосвязей «дефекты-работы-стоимость» (табличное представление)

1) Предобработка данных

Компонент	Формальное описание	Расшифровка переменных	Параметры
Нормализация	$\tilde{x} = \frac{x - \min(X)}{\max(X) - \min(X)}$	- $\tilde{x}$: нормализованное значение - x: исходное значение признака - $\max(X), \min(X)$: минимальное/максимальное значение признака в выборке	$\tilde{x} \in [0,1]$

Продолжение таблицы 46

2) Адаптивный выбор стратегии

Условие	Действие	Расшифровка переменных	Параметры
$N < N_{thresh}$	Использовать Random Forest (раздел 3)	- N: объем выборки - N_{thresh}: порог для выбора метода	$N_{thresh} = 50$
$N \geq N_{thresh}$	Применить SOM-кластеризацию (раздел 2.1) → Проверка размера кластеров	- k_{thresh}: минимальный размер кластера	$k_{thresh} = 10$

Продолжение таблицы 46

3) SOM-кластеризация

Этап	Формула	Расшифровка переменных	Параметры
Инициализация	$W_j = \mu + \alpha_1 PC_1 + \alpha_2 PC_2$	- W_j: весовой вектор нейрона - μ: среднее значение - PC_1, PC_2: главные компоненты	$M = \frac{\sqrt{N}}{2}$
Обучение (BMU)	$b = \arg \min_j \ x_i - W_j\ ^2$	- b: индекс лучшего нейрона - x_i: входной вектор данных	$T = 1000$

Продолжение таблицы 46

Этап	Формула	Расшифровка переменных	Параметры
Обновление весов	$W_j(t+1) = W_j(t) + \eta(t)h_{bj}(t)(x_i - W_j(t))$	- $\eta(t)$: скорость обучения - $h_{bj}(t)$: функция соседства - $\sigma(t)$: радиус соседства - r_b, r_j: позиции нейронов	$\eta_0 = 0.5$
	$\eta(t) = \eta_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$		$\sigma_0 = 2.5$
	$h_{bj}(t) = \exp\left(-\frac{\ r_b - r_j\ ^2}{2\sigma^2(t)}\right)$		$\tau = 1000$
	$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$		
Кластеризация	$U_{ij} = \ W_i - W_j\ $	- U_{ij}: расстояние между нейронами - ϵ: порог кластеризации	ϵ – порог

Продолжение таблицы 46

4) Укрупнение кластеров

Действие	Формула	Расшифровка переменных	Условие
Поиск ближайшего	$n = \arg \min_{m \neq k} \ \mu_k - \mu_m\ $	- μ_k: центроид кластера C_k - m: индекс кластера	$\ C_k\ < k_{thresh}$
Слияние	$C_n \leftarrow C_n \cup C_k$	- C_n: кластер-приемник - C_k: объединяемый кластер	

Продолжение таблицы 46

5) Линейная регрессия

Модель	Формула	Расшифровка переменных	Решение
Прогноз	$y = \beta_0 + \sum \beta_j x_j$	- β_j: коэффициенты модели - x_j: признаки	$\beta = (X^T X)^{-1} X^T y$

Продолжение таблицы 46

6) Random Forest

Компонент	Формула	Расшифровка переменных	Параметры
Прогноз	$y = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B f_b(x)$	- f_b: b-ое дерево - B: количество деревьев	$B = 100$
Важность признака	$FI_j = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B I_j(b)$	- $I_j(b)$: важность признака в дереве bb	
Критерий разделения	$\Delta I = I(D) - \left(\frac{N_{\text{left}}}{N} I(D_{\text{left}}) + \frac{N_{\text{right}}}{N} I(D_{\text{right}}) \right)$	- $I(D)$: нечистота узла - $N_{\text{left}}, N_{\text{right}}$: размеры подвыборок	

Продолжение таблицы 46

7) Интерпретация

Метод	Формула	Расшифровка переменных	Применение
SHAP-значения	$\phi_j = \sum_{S \subseteq F \setminus \{j\}} \frac{\ S\ ! (\ F\ - \ S\ - 1)!}{\ F\ !} [f(S \cup \{j\}) - f(S)]$	- ϕ_j: вклад признака j - F: множество всех признаков - S: подмножество признаков	Анализ влияния признаков

Продолжение таблицы 46

8) Управляющие параметры

Параметр	Обозначение	Значение	Назначение	Рекомендации
Порог для SOM	N_{thresh}	50	Минимальный размер выборки для SOM	Для $N < 50$ использовать сразу RF
Минимальный кластер	k_{thresh}	10	Порог для слияния кластеров	Можно уменьшить до 5 для мелких выборок
Размер сетки SOM	M	$\frac{\sqrt{N}}{2}$	Оптимальный размер карты	Округлить до ближайшего целого
Число деревьев	B	100	Количество деревьев в RF	Для больших данных можно увеличить до 200-500
Эпохи обучения	T	1000	Длительность обучения SOM	Для сложных данных увеличить до 2000-5000

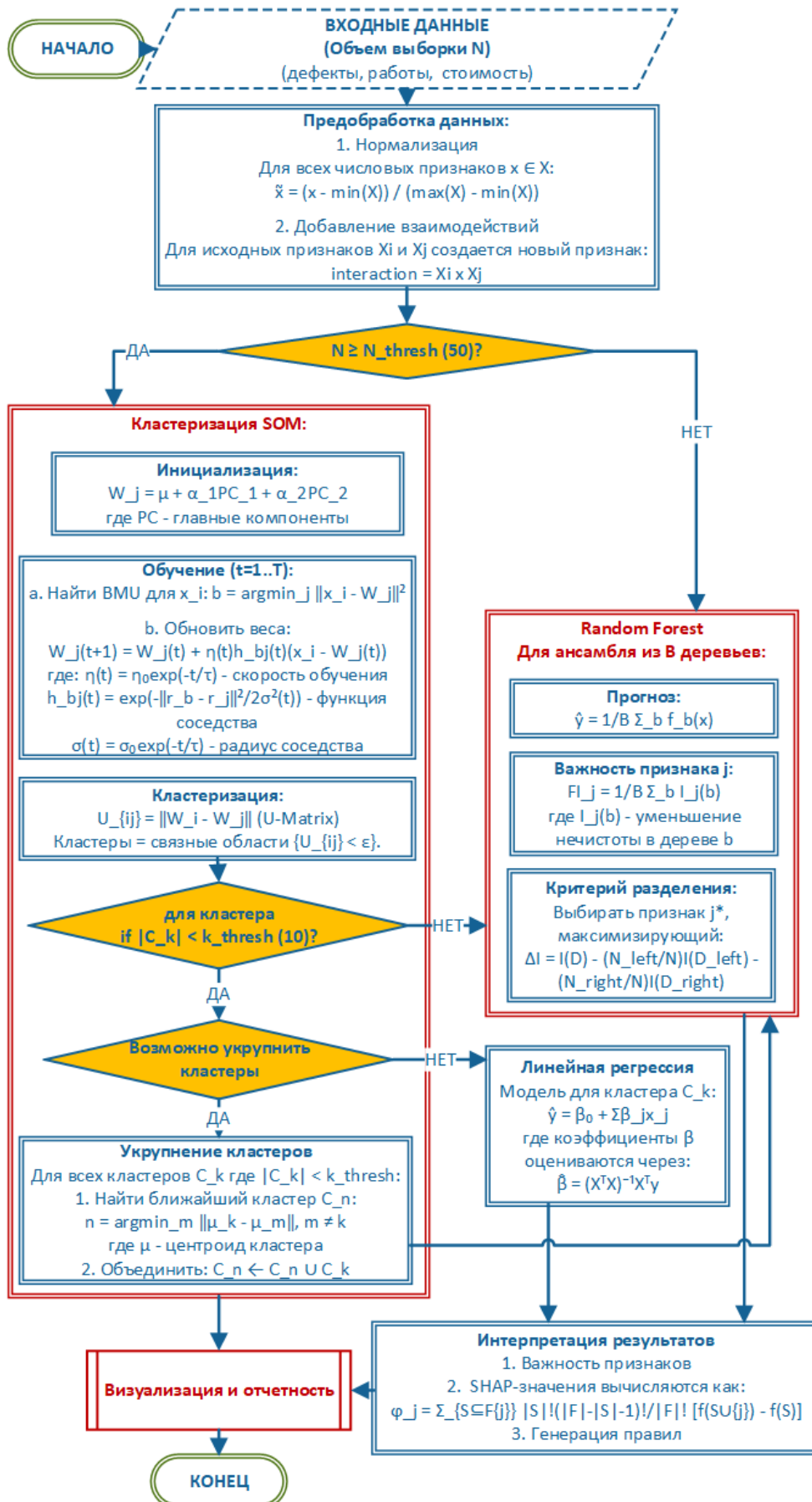


Рисунок 50 – Комбинированный алгоритм машинного обучения анализа взаимосвязей «дефекты-работы-стоимость» метода организационно-технологического проектирования ремонта

Выводы по Главе 4

Выявлено, что существующие отечественные и зарубежные исследования недостаточно освещают вопросы долгосрочного прогнозирования и организационно-технологического проектирования ремонтов, что определило научную нишу и новизну проведенного исследования. Значимость данного вывода с точки зрения научности заключается в преодолении идентифицированного пробела за счет создания формализованного методологического подхода, который не просто адаптирует существующие методы, но и предлагает новое комбинированное решение.

Разработан и апробирован комбинированный алгоритм машинного обучения для организационно-технологического проектирования ремонта, что является одним из ключевых научных результатов данной работы. Практическая реализуемость заключается в том, что предложенный алгоритм (SOM + Random Forest) напрямую предназначен для автоматизации процесса планирования ремонтов в сфере ЖКХ, позволяя на основе исторических данных анализировать сложные нелинейные взаимосвязи «дефекты-работы-стоимость» и формировать точные и интерпретируемые прогнозы.

Кроме того, доказана эффективность и обоснована целесообразность применения именно комбинированного подхода, который синтезирует преимущества методов кластеризации (SOM) и регрессионного анализа (Random Forest). Было выявлено, что такой подход обеспечивает баланс между точностью прогнозирования и интерпретируемостью результатов, что критически важно для сферы управления капитальным ремонтом, где решения должны быть не только точными, но и понятными для обоснования затрат. Значимость этого вывода для науки заключается в решении классической проблемы машинного обучения — дилеммы между точностью сложных моделей и прозрачностью их работы. С практической точки зрения, это позволяет внедрять систему, которая не только предсказывает стоимость и состав работ, но и группирует объекты по схожести дефектов, что упрощает типизацию технологических процессов и принятие управленческих решений.

Определены и систематизированы потенциальные ограничения разработанного алгоритма, а также разработаны методы их устранения, что демонстрирует

глубину проработки решения и его готовность к применению в реальных условиях. Выявленные ограничения, такие как риск недостаточного количества объектов в кластере или переобучение модели, не являются непреодолимыми, а предлагаемые методы оптимизации (корректировка размерности карты, настройка гиперпараметров, использование PCA для визуализации) носят конкретный и реализуемый характер. Научная ценность этого вывода заключается в комплексном критическом анализе предложенного метода, что соответствует принципам строгого научного исследования. Практическая реализация предполагает, что при развертывании системы специалисты будут обладать четким руководством по ее тонкой настройке для конкретного массива данных, что повышает надежность и устойчивость решения при работе с реальными, зачастую неидеальными, данными жилищного фонда.

Глава 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

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

Особенность организационно-технологического проектирования комплексного (позлементного) капитального ремонта заключается в том, что его ключевым компонентом является конструктивно-технологическое решение (глава 3, Рисунок 48), представляющее собой систематизированную совокупность данных о технико-эксплуатационных характеристиках отдельных строительных элементов, их фактическом техническом состоянии, а также привязанный к каждому элементу нормативно обоснованный перечень ремонтно-восстановительных мероприятий.

Совокупность конструктивно-технологических решений (КТРр) при капитальном ремонте жилищного фонда регламентирована действующими нормативно-правовыми актами и представлена в структурированно декомпозированном виде (Рисунок 45). Каждое КТРр включает номенклатуру ремонтных работ для различных строительных конструкций и инженерных систем, классифицированных в соответствии со ст. 166 ЖК РФ. Т.е. архитектурно-строительная структура элемента при капитальном ремонте жилищного фонда отличается от единичного архитектурно-строительного элемента в новом строительстве. Нормативно выделено 10 строительных элементов здания (Таблица 36): фундаменты (в том числе стены подвала), ограждающие конструкции (фасады), кровельные системы (крыша), инженерно-технические коммуникации и оборудование (в том числе лифт), каждый из которых включает комплекс архитектурно-строительных элементов. Это расширяет спектр ремонтно-восстановительных работ, дополнительно усложняя процесс формирования конструктивно-технологических решений.

Формирование региональных программ капитального ремонта с разработкойazoleментных планов производственных работ для каждого объекта жилищного

фонда требует комплексной оценки всех конструктивно-технологических решений зданий, входящих в состав жилищного фонда, на основании данных систематического эксплуатационного мониторинга, предоставляемых эксплуатирующими организациями.

Предложенный в четвертой главе комбинированный метод машинного обучения (SOM и Random Forest) для формирования конструктивно-технологических решений предполагает создание и обучение модели на основе данных о ранее выполненных или запланированных в текущем ремонтном периоде капитальных ремонтах элементов жилых зданий. Основу для формирования выборки составляет описание технического состояния элементов через систему унифицированных критериев «Свойств» – дефектов, а также обработка сметной документации для получения перечня работ и стоимости капитального ремонта.

Организационно-технологическая специфика действующей системы капитального ремонта заключается в том, что функции по формированию дефектной документации и составлению ведомости объемов работ распределены между различными субъектами – эксплуатирующей организацией и подрядной строительной организацией соответственно, при этом утверждающая инстанция представлена третьей независимой стороной – региональным оператором. При наличии четко регламентированной сметно-нормативной базы, определяющей номенклатуру ремонтных работ, процедура фиксации технического состояния объектов остается недостаточно формализованной, что создает существенные препятствия для практической реализации предложенного комбинированного аналитического подхода.

В контексте процессно-системного моделирования организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда ключевая методологическая задача заключается в алгоритмизации процедур: выбора оптимальных технологических решений (определения состава работ); определения объемов работ; расчета стоимостных показателей.

Именно в этом аспекте унификация параметров «Свойств» и «Характеристик» технического состояния приобретает принципиальное значение, поскольку обеспечивает:

- стандартизацию результатов эксплуатационного контроля технического состояния;
- сопоставимость данных по строительным элементам различных объектов;
- интеграцию с показателями сметной документации.

Комбинированный метод машинного обучения в данном случае должен сопоставить совокупность унифицированных признаков износа с набором целесообразных работ и определить диапазон их стоимости на удельную единицу измерения.

Методика организационно-технологического проектирования ремонта для строительных элементов на основе комбинированного метода машинного обучения [155] включает следующие этапы:

1 этап – формирование выборки объектов.

На первом этапе осуществлен отбор однотипных объектов с точки зрения архитектурно-строительных решений, в отношении которых был выполнен или запланирован капитальный ремонт при наличии сметной документации (например, плоская рулонная кровля, скатная кровля, кирпичный фасад, панельный фасад и др.). В рамках исследования была сформирована выборка объектов, включенных в краткосрочный план капитального ремонта Архангельской области за 2020–2022 гг., а также запланированных к реализации в текущем краткосрочном плане на 2023–2025 гг. Дополнительно проведен визуальный осмотр объектов, не вошедших в краткосрочные планы.

2 этап – формирование базы данных о техническом состоянии строительных элементов.

На втором этапе осуществлялось структурирование данных о техническом состоянии исследуемых строительных элементов в соответствии с унифицированными характеристиками. В процессе исследования обозначились две существенные проблемы:

1) Отсутствие системного подхода к сбору данных. До внедрения масштабного эксплуатационного контроля, основанного на унифицированных методах,

формирование базы данных о техническом состоянии возможно лишь косвенными способами, включающими:

- проведение повторного независимого осмотра элемента,
- сравнительный анализ существующего дефектного акта (составленного в произвольной форме) и сметной документации,
- генерацию данных на основе сметной документации.

Применение этих методов приводит к тому, что на начальном этапе данные о техническом состоянии могут быть охарактеризованы как частично синтетические. Это означает, что они базируются на реальных показателях, однако содержат определенные допущения и ограничения, обусловленные неполнотой исходной информации. Подобный подход к первоначальному обучению показал свою эффективность, что подтверждено исследованиями [196, 197, 200, 223, 243, 244, 246].

2) *Наличие нетипичных региональных дефектов.* В ходе исследования выявлены специфические дефекты, характерные для объектов, расположенных на территории региона, которые не объединены в унифицированные группы согласно нормативно-техническим документам по обследованию технического состояния зданий (см. приложение). Можно предположить, что на формулировку видов дефектов влияют как практика эксплуатационного мониторинга, не в полной мере учтенная в нормативных документах по обследованию зданий, так и региональные особенности объектов капитального строительства, включая наиболее распространенные дефекты строительных конструкций в данном регионе. Это в еще большей степени подтверждает необходимость территориальной адаптации программ капитального ремонта.

Для корректного моделирования процессов износа и определения объемов ремонтных работ необходимо, чтобы формулировка дефектов включала четко определенные количественные характеристики. Каждый дефект должен иметь:

- единицу измерения (размерность), соответствующую его природе,
- количественная характеристика степени выраженности.

При определении единицы измерения для дефектов следует руководствоваться технологией выполнения работ, а также единицами измерения

преобладающих ремонтно-восстановительных работ согласно сметной документации и сметно-нормативной базы. Такой подход обеспечит сопоставимость данных и их применимость в расчетных моделях.

3 этап – определение размерности строительных элементов.

Важным этапом формирования характеристик капитального ремонта (КТРр) является установление размерности строительных элементов.

Для определения укрупненной стоимости капитального ремонта предлагается использовать рекомендации по оценке существующей стоимости капитального ремонта многоквартирных домов [17]. Примечательно, что размерность всех строительных элементов в указанной методике определяется через 1 кв.м. общей площади здания, что в большинстве случаев лишено физического смысла при оценке удельных показателей дефектов и ремонтных работ.

Несмотря на то, что рассматриваемый документ позиционируется как система укрупненных стоимостных показателей, он вступает в противоречие с методологическими принципами формирования подобных сборников, рекомендованными действующей сметно-нормативной базой [16].

Разработка укрупненных нормативов цены строительства (НЦС) и укрупненных нормативов цены конструктивных решений (НЦКР) должна осуществляться на основе следующих принципов унификации:

- стандартизации номенклатуры объектов капитального строительства;
- систематизации конструктивных элементов зданий и сооружений;
- классификации комплексов выполняемых работ;
- установления единых единиц измерения.

Выбор соответствующих единиц измерения при разработке показателя должен учитывать:

- функциональное назначение зданий и сооружений (их комплексов);
- особенности объемно-планировочных решений;
- специфику отдельных конструктивных элементов.

Согласно п. 33.1 ст. 1 Градостроительного кодекса РФ, НЦС предназначены исключительно для планирования инвестиций в новое строительство (Приказ

Минстроя № 314/пр от 29.05.2019). Пункт 3 Методики прямо ограничивает применение НЦС случаями отсутствия усложняющих факторов (стеснённость, загазованность и т.д.), допуская лишь поправочные коэффициенты из технических частей сборников. Таким образом, законодательство не предусматривает разработку НЦС для реконструкции, капитального и текущего ремонта, оценки стоимости отдельных элементов зданий. Однако общий алгоритм разработки показателей укрупненной стоимости соответствует схематичному представлению конструктивных решений при новом строительстве (Рисунок 48), может быть применим для КТРр.

В существующих нормативных документах [Приказ Минстроя РФ от 29 мая 2019 г. N 314/пр] сформулированы базовые требования к конструктивным решениям для разработки укрупненных показателей стоимости строительства (НЦС) и конструктивных решений (НЦКР). Методика разработки показателей включает:

- подготовку исходных данных для расчета показателя;
- определение единиц измерения показателя;
- анализ и/или формирование сметной документации;
- составление объектной ресурсной ведомости, включающей перечень и расход материалов, конструкций, оборудования, трудозатрат;
- построение объектной ресурсной модели на основе ресурсной ведомости;
- расчет показателя и поправочных коэффициентов (при необходимости).

В рамках настоящего исследования для целей капитального ремонта (КТРр) были определены следующие наиболее методологически обоснованные единицы измерения (Таблица 51):

Важнейшим элементом предобработки данных выступает процедура соотнесения количественных показателей дефектов с метрическими характеристиками конструктивного элемента, что предполагает расчет плотности дефектов на единицу измерения конструкции.

Таблица 51 – Единицы измерения КТРр

№ п/п	Категория	Единица измерения
1	Фундамент	м, периметр здания
2	Фасад	м2, площадь фасада
3	Подвальные помещения	м, периметр здания (чаще всего подвал включается в совокупные работы по фундаменту)
4	Крыша	м2, площадь кровли
5	Водоснабжение	м, количество стояков × высоту здания
6	Водоотведение	м, количество стояков × высоту здания
7	Теплоснабжение	м, количество стояков × высоту здания
8	Газоснабжение	м, количество стояков × высоту здания
9	Электроснабжение	м2, общая площадь
10	Лифтовое оборудование	шт.

4 этап – формирование номенклатуры работ на основании сметных расчетов и проектно-сметной документации.

Существенным преимуществом является применение методов машинного обучения к анализу сметных данных с учетом региональной специфики. Совокупность региональных факторов объективно определяют состав работ, что обуславливает необходимость разработки отдельных моделей для каждого региона, аналогично практике формирования региональных программ капитального ремонта. К региональным факторам относятся:

- *природно-климатические условия* – определяют требования к материалам и технологиям;
- *особенности строительного комплекса региона* (уровень индустриализации, доступность материалов, транспортные расходы), существенно влияющие на сметную стоимость;
- *рыночное ценообразование* – конкурентный характер процедур подрядных торгов приводит к отклонению фактических стоимостей от нормативных показателей.

При этом наблюдаются существенные межрегиональные различия в применяемых технологиях производства работ, динамике стоимостных показателей, структуре строительного производства. В связи с этим необходимо осуществлять актуализация моделей с периодичностью не реже 1 раза в 3 года, что соответствует

циклу краткосрочного планирования посредством индексации стоимостных параметров и исключения устаревших данных.

Анализ фактической проектно-сметной документации на капитальный ремонт выявляет значительную номенклатуру работ по отдельным объектам и высокую вариативность их состава. Для оптимизации обработки данных (скорости обучения и интерпретации) критически важным является снижение размерности входных параметров, достигаемое за счет:

- 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.

Данный подход обеспечивает баланс между полнотой учета и эффективностью обработки данных.

Теоретическая последовательность ABC-анализа.

Сбор данных – формируем таблицу с наименованиями позиций и их стоимостями:

$$\text{Список} = \{(Ni, Ci)\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где Ni – наименование, Ci – стоимость.

Сортировка по убыванию стоимости – упорядочиваем позиции по C_i :

$$C_1 \geq C_2 \geq \dots \geq C_n, \quad (2)$$

Расчет доли каждой позиции в общей стоимости:

– общая сумма:

$$C_{total} = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (3)$$

– доля позиции:

$$P_i = \frac{C_i}{C_{total}} \times 100\%, \quad (4)$$

Расчет кумулятивной (накопленной) доли – для каждой позиции:

$$S_k = \sum_{i=1}^k P_i, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

Классификация на группы A, B, C:

– *Группа A:* $S_k \leq 70-80\%$ (основной вклад: первые 20% позиций дают ~80% стоимости).

– *Группа B:* $80\% < S_k \leq 95\%$ (средняя значимость: следующие 30% – ~15%).

– *Группа C:* $S_k > 95\%$ (малозначимые позиции: остальные 50% – ~5%).

Анализ адаптируется под данные путем выбора пороговых значений S_k .

Сформированные в результате понижения размерности данные о работах кодируются в датасете в виде бинарных индикаторов [0,1]. Такой подход обоснован тем, что на предыдущем этапе уже осуществлен отбор стоимость-образующих работ, представляющих наибольшую значимость для анализа. Ключевое значение имеет не столько отдельные виды работ, сколько их комбинации, возникающие при определенных сочетаниях и объемах дефектов.

5 этап – нормализация стоимостных показателей работ.

Ключевым аспектом данного этапа является формирование удельных стоимостных показателей, привязанных к единице измерения конструктивного элемента. При этом особое методологическое значение приобретают:

– *временной фактор ценообразования:* обязательная фиксация уровня цен (уровень цен на дату составления исходной сметной документации и уровень цен на дату проведения расчетов) и необходимость приведения всех стоимостных показателей к единому уровню цен через механизм индексации;

– *учет результатов ABC-анализа:* осознанное принятие методологического ограничения, связанного с исключением вспомогательных работ из рассмотрения и необходимость учета данного фактора при интерпретации итоговых результатов моделирования.

Процедура актуализации ценовых показателей на текущую дату представляет собой неотъемлемый элемент процесса переобучения модели. Данный механизм обеспечивает адекватность управленческих решений через временную сопоставимость стоимостных данных и корректность прогнозных расчетов.

6 этап – реализация алгоритма комбинированного машинного обучения.

После завершения сбора и предварительной обработки данных необходимо внедрить предложенный алгоритм комбинированного машинного обучения (Рисунок 50, Таблица 46), интегрирующий методы:

1) *Self-Organizing Maps (SOM)* – для кластеризации и визуализации многомерных данных;

2) *Random Forest* – для регрессионного анализа и прогнозирования стоимостных показателей.

7 этап – апробация обученной модели прогнозирования.

В результате обученной модели можно подавать на вход данные характеристик технического состояния элементов здания в категориях унифицированных дефектов и получать релевантные ответы о совокупности и стоимости работ. Представленный метод дает преимущества в том, что совокупность работ можно оценить и диапазонно, т.е. все виды работ, попавшие в кластер SOM, а при помощи Random Forest получить конкретное однозначное значение. Это дает значительные возможности для аналитики. Таким же образом диапазон цены дает понимание возможного разброса стоимости восстановительных работ.

Однако имеются определённые ограничения. Поскольку изначальная база состоит из работ только капитального характера, то фиксация у объекта незначительных дефектов будет показывать, что он не входит ни в один кластер. Преодоление этого можно достичь только формированием базы данных с полным и постоянным осмечиванием видов работ элементов, находящихся в хорошем, не требующем ремонта состоянии. А процедура эта не заложена в систему капитального ремонта, поэтому является сверхзатратной. Кроме того, осмечивание таких объектов без проведения процедур экспертизы сметной документации и конкурсного ценообразования является искусственным и нецелесообразным.

В то же время, непопадание объекта ни в один кластер может свидетельствовать о его хорошем состоянии и что элемент в краткосрочном периоде не требует проведения капитального ремонта. Если же на этапе формирования исследования

объекта, поданного на вход, было выявлено, что он не входит ни в один кластер по причине большого количества дефектов, то это основание произвести его обследование на предмет аварийного или ограниченно-работоспособного состояния. Но при правильной реализации методологии организационно-технологического проектирования предупредительного комплексного капитального ремонта такое не должно произойти, поскольку первый этап эксплуатационного контроля (Рисунок 38) предполагает выявление таких объектов и исключение их из последующего планирования, с организацией технического обследования и экспертизы.

В рамках настоящего исследования проведена апробация многокритериальной оценки и организационно-технологического проектирования капитального ремонта. В качестве объекта апробации методики выбрана конструкция плоской рулонной кровли. Кратко рассмотрим представленные этапы метода организационно-технологического проектирования применительно к плоской крыше с рулонной кровлей.

5.2 Апробация методики организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта

1 этап – на основании анализа краткосрочных планов капитального ремонта жилищного фонда Архангельской области за 2020-2022 гг. и 2023-2025 гг., а также данных эксплуатирующих организаций, на основе признаков унифицированных дефектов были выбраны типовые конструктивные элементы. Анализ сформирован только по объектам, для которых предполагается проведение ремонта единичного элемента.

Статистический анализ показал, что удельная стоимость ремонта 1 кв.м крыши, запланированного на текущий краткосрочный план, варьируется в широком диапазоне (Рисунок 51). На графике представлено отклонение стоимости проектно-сметной документации от нормативных показателей оценочной стоимости капитального ремонта согласно Приказа Минстроя РФ от 6 мая 2024 г. № 306/пр – разница достигает практически двукратного значения [89].



Рисунок 51 – Сопоставление оценочных показателей капитального ремонта с данными проектно-сметной документации

Особенно показательно, что у более чем трети домов стоимость ремонтных работ ниже нормативных значений более чем в 2 раза. Среднее значение отношения стоимости запланированных работ к нормативным показателям составляет 0,63 по представленной выборке. Это свидетельствует о том, что используемые в настоящее время нормативные значения являются чрезмерно усредненными, содержат значительное завышение и не могут служить объективной базой для планирования.

Более детальное изучение документации в рамках краткосрочного плана выявило, что большая часть объектов с зафиксированными высокими стоимостями ремонта принимали стоимость не по реальным сметам, а именно по нормативным данным [Приказ Минстроя России от 6 мая 2024 г. № 306/пр]. Данный факт требует пересмотра существующей методики планирования.

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 11 типовых объектов, демонстрирующих различные варианты сочетаний выявленных дефектных состояний плоской крыши (Таблица 52).

Таблица 52 – Техничко-экономические показатели типовых объектов с плоской рулонной кровлей

№	Адрес	Год постройки	Этажей	Площадь (м²)	Квартир	Управляющая компания	Серия/тип постройки	Материал стен	Лифты	Мусоропровод	Износ (%)
1	г. Северодвинск, пр-кт Морской, 38	1975	5	4806	98	УК «Пжрэп» (с 09.04.2015)	1-335А-2	Панельные	Нет	Нет	41
2	г. Северодвинск, пр-кт Морской, 25	1979	9	2714.8	35	Не указана	1-447С-41	Кирпич	1	Да	-
3	г. Мирный, ул. Ленина, 9	1987	9	3373.9	49	Не указана	Нет данных	Кирпич	Нет	Нет	-
4	г. Архангельск, ул. Советская, 36	1977	9	9740.9	-	УК «Соломбальский округ» (с 20.04.2015)	Панельный	Панельные	4	Да	30
5	г. Архангельск, ул. Серафимовича, 32	1988	9	6726.3	116	УК «Прспект» (с 02.04.2015)	Нет данных	Панельные	3	Да	32
6	г. Архангельск, ул. Почтовая, 23	1983	9	12230.7	225	УК «Майская горка» (с 30.03.2015)	Панельный	Панельные	6	Да	33
7	г. Архангельск, ул. Партизанская, 51	1991	9	11169	238	ТСН «Северные зори» (с 13.02.2019)	Панельный	Панельные	6	Да	0
8	г. Архангельск, ул. Калинина, 21	1987	9	12000.4	179	УК «Красная Звезда» (с 01.01.2008)	Панельный	Панельные	5	Да	32
9	г. Архангельск, ул. Дачная, 49 к. 3	1986	9	7958.4	140	УК «Майский округ» (с 24.04.2015)	93 серия, Панельный	Железобетонные плиты	4	Да	15
10	г. Архангельск, ул. Дачная, 40	1985	9	4773.7	71	УК «Майская горка» (с 01.07.2021)	93 серия, Панельный	Железобетонные плиты	2	Да	30.9
11	г. Архангельск, пр-кт Дзержинского, 1 к. 4	1979	9	10834.5	-	УК «Союз» (с 01.11.2021)	1-335 А-11	Панельные	6	Да	-

2 этап – на основе данных дефектных ведомостей и актов, сведений эксплуатационного контроля и косвенных измерений сформирован перечень дефектов. Учены особенности конструктивных решений и специфика деградации для Архангельской области. Пример представления всех выявленных дефектов для объекта 1 и 10 приведен в таблицах (Таблица 53, Таблица 54).

Таблица 53 – Классификация и количественная оценка дефектов крыши объекта №1

№	Категория дефектов	Конкретный вид дефекта	Кол-ко
1	Повреждение кровельного покрытия	Разрушение рулонного покрытия	616,49 м ²
		Потеря целостности покрытия (мелкие элементы)	104,734 м ²
2	Протечки и намокание	Разрушение гидроизоляционного слоя	1297,76 м ²
		Повреждение примыканий к стенам и парапетам	189,9 м
3	Коррозия металлических элементов	Разрушение обделок (поясков, сандриков, отливов)	106,9 м
		Коррозия водосточных воронок	2 шт.
		Коррозия металлических покрытий	7,2896 м ²
4	Деформация водосточной системы	Повреждение водосточных элементов	715 м
5	Деформация парапетов и ограждений	Деформация парапетов и ограждений	104,734 м ²
6	Повреждение теплоизоляционного слоя	Разрушение стяжки (цементно-песчаной)	522,88 м ²
		Нарушение теплоизоляции (доп. Слои)	500,83 м ²
7	Дефекты примыканий и узлов крепления	Разрушение примыканий к трубам	104,734 м ²
8	Дефекты вентиляционных систем	Дефекты вентиляционных систем	1 шт.
9	Разрушение бетонных конструкций	Разрушение бетонных конструкций	686 м ²
10	Биоповреждения (гниль, плесень)	Биоповреждения (гниль, плесень)	(косвенно)
11	Дефекты инженерных коммуникаций	Разрушение поддонов	2 шт.

Таблица 54 – Классификация и количественная оценка дефектов крыши объекта №10

№	Категория дефектов	Конкретный вид дефекта	Количественное измерение
1	Кровельное покрытие	Полное разрушение рулонного покрытия	730,8 м ²
		Потеря гидроизоляционных свойств	702,4 м ²
		Локальные повреждения покрытия	115 м ²
2	Металлические элементы	Коррозия кровельных обделок	78 м
		Повреждение металлических покрытий	115,3 м ²
		Коррозия металлических поверхностей	3,4 м ²

Продолжение таблицы 5055

№	Категория дефектов	Конкретный вид дефекта	Количественное измерение
3	Примыкания и парапеты	Нарушение герметичности примыканий	94,6 м
		Дефекты креплений	94,6 м
		Разрушение парапетных решеток	140 м
		Деформация парапетных плит	86 шт.
4	Основание кровли	Повреждение выравнивающих стяжек	46 м ²
		Необходимость подготовки основания	731,1 м ²
5	Вентиляционные системы	Износ дефлекторов	2 шт.
		Недостаточная вентиляция	4 шт.
6	Водосточная система	Разрушение канализационных труб	10 м
		Износ трубопроводов	4 м
7	Элементы безопасности	Отсутствие/повреждение ограждений	135 м
		Дефекты мелких конструкций	0,0192 т

Понижаем размерность, объединяя дефекты, которые могут в рамках эксплуатационного контроля быть зафиксированы совместно (Таблица 56) согласно следующим принципам укрупнения:

- объединение однотипных дефектов (например, разные виды разрушения кровельного покрытия);
- суммирование количественных показателей, если дефекты схожи (например, коррозия металлических элементов);
- приведение к единой единице измерения (если в исходных данных были разные, выбирается наиболее подходящая);
- исключение дублирующихся или слишком детализированных позиций.

Таблица 56 – Укрупненные группы дефектов

Вид дефекта	Ед. изм	Как укрупнено
Разрушение кровельного покрытия	м ²	Объединены: Разрушение рулонного покрытия, Потеря целостности, Локальные повреждения (сумма площадей)
Повреждение гидроизоляции	м ²	Объединены: Разрушение гидроизоляционного слоя, Потеря гидроизоляционных свойств
Дефекты примыканий	м	Объединены: Повреждение примыканий к стенам/парапетам, Нарушение герметичности примыканий
Коррозия металлических элементов	м	Объединены: Коррозия обделок, Коррозия отливов/карнизов (суммарная длина)
Коррозия металлических покрытий	м ²	Объединены все случаи коррозии покрытий (включая водосточные воронки, если указаны в м ²)
Деформация водосточной системы	м	Объединены: Повреждение водосточных элементов, Разрушение труб (если в метрах)

Продолжение таблицы 51

Вид дефекта	Ед. изм	Как укрупнено
Разрушение стяжки/основания	м ²	Объединены: Разрушение стяжки, Повреждение основания, Необходимость подготовки основания
Дефекты теплоизоляции	м ² (или м ³)	Объединены: Нарушение теплоизоляции, Повреждение утеплителя (если в м ³ – оставлено как есть)
Дефекты вентиляционных систем	шт.	Сумма всех дефектов вентиляции (шахты, дефлекторы и т. Д.)
Дефекты дверных/оконных систем	шт. (или м ²)	Объединены: повреждения дверей, окон, отсутствие противопожарных конструкций
Биоповреждения (гниль, плесень)	-	Оставлено как качественный показатель (без суммирования)
Дефекты инженерных коммуникаций	м (или шт.)	Объединены: разрушение канализационных труб, повреждение стоек и др.
Дефекты фасадных элементов	м ²	Объединены: разрушение штукатурки, дефекты ограждений, парапетов

Укрупнение позволило сократить количество строк в таблице с ~40 до 13 основных категорий. Данные стали более наглядными, а сравнение объектов – более удобным. В случаях, где была разная размерность (например, двери в шт. и м²), оставлены оба варианта.

В целом перечень укрупненных дефектов соответствует совокупности унифицированных свойств (ПРИЛОЖЕНИЕ В). Виды и объем дефектов представлены в таблице (Таблица 57).

Таблица 57 – Классификация и количественная оценка дефектов плоских кровель объектов исследования

Вид дефекта	Ед. изм.	Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4	Объект 5	Объект 6	Объект 7	Объект 8	Объект 9	Объект 10	Объект 11
Разрушение кровельного покрытия	м ²	721,2	1152,9	744,9	164,6	1046,7	102,41	258	181,6	1419	845,8	1157,6
Повреждение гидроизоляции	м ²	1297,7	329,1	648	164,6	904	67,3	1078	113	-	702,4	1006,4
Дефекты примыканий	м	189,9	70,9	87	128,1	289,43	31,3	340	114,3	-	94,6	276,9
Коррозия металлических элементов	м	106,9	117,4	120,7	144,2	331,1	57	72	116,9	140	78	260,1
Коррозия металлических покрытий	м ²	7,29	-	60,3	57,68	-	29,6	-	29,2	-	115,3	172,3
Деформация водосточной системы	м	715	47,2	(косвенно)	-	65,4	-	-	-	-	14	-
Разрушение стяжки/основания	м ²	522,9	361,1	648	-	1034	69,6	1526	136	-	777,1	1494,8
Дефекты теплоизоляции	м ² (м ³)	500,8	-	-	-	796,8	-	-	-	-	-	6,7 м ³
Дефекты вентиляционных систем	шт.	1	1	3	-	-	-	100	-	-	6	-
Дефекты дверных/оконных систем	шт. (м ²)	-	4	1,21 + 1	-	3 + 0,65	12 + 17,2	-	-	3,42	-	-
Биоповреждения	-	(косвенно)	(косвенно)	9,918 м ²	-	-	-	-	-	-	-	-
Дефекты инженерных коммуникаций	м (шт.)	2 шт.	6 м + 3 шт.	9 м + 1 шт.	-	-	-	-	-	4 шт.	10 м + 4 м	-
Дефекты фасадных элементов	м ²	-	46,7	-	-	-	-	-	-	7,2	-	120,7

3 этап – производим сбор и обработку данных локальных сметных расчетов и КС для каждого объекта. Понижение размерности посредством АВС-анализа. Пример представлен для объекта №1 (Таблица 53).

Таблица 58 – Обработка данных сметной документации на капитальный ремонт крыши объекта №1

Наименование	ГЭСН	Сумма (руб.)	Доля (%)	Кумулятивная доля (%)	Категория
Устройство примыканий кровель к стенам	ГЭСН12-01-004-04	302 780,31	16,67	16,67	A
Устройство выравнивающих стяжек (15 мм)	ГЭСН12-01-017-01	211 551,92	11,65	28,32	A
Устройство кровель из наплавливаемых материалов	ГЭСН12-01-002-09	194 239,60	10,70	39,02	A
Устройство выравнивающих стяжек (доп. За толщину)	ГЭСН12-01-017-02	194 239,60	10,70	49,72	A
Устройство мелких покрытий из оцинкованной стали	ГЭСН12-01-010-01	168 184,61	9,26	58,98	A
Устройство примыканий из ПВХ мембран	ГЭСН12-01-030-01	168 184,61	9,26	68,24	A
Демонтаж выравнивающих стяжек (15 мм)	ГЭСН12-01-017-01	132 799,76	7,31	75,55	B
Демонтаж выравнивающих стяжек (доп. За толщину)	ГЭСН12-01-017-02	115 867,73	6,38	81,93	B
Разборка стяжек отбойным молотком	ГЭСНр57-01-021-02	108 997,04	6,00	87,93	B
Разборка покрытий кровель из рулонных материалов	ГЭСН46-04-008-01	78 827,18	4,34	92,27	B
Сборка листовых конструкций	ГЭСНм38-01-006-07	38 746,67	2,13	94,40	C
Установка поддонов душевых	ГЭСН17-01-001-18	19 356,33	1,07	95,47	C
Огрунтовка оснований битумной эмульсией	ГЭСН12-01-016-02	19 154,45	1,05	96,52	C
Установка прижимной планки	ГЭСН12-01-004-09	14 238,00	0,78	97,30	C
Смена обделок из листовой стали	ГЭСНр58-01-020-01	10 694,33	0,59	97,89	C
Разборка мелких покрытий из листовой стали	ГЭСНр58-01-003-01	8 332,66	0,46	98,35	C
Установка дефлекторов	ГЭСН20-02-012-01	7 565,04	0,42	98,77	C
Демонтаж поддонов	ГЭСНр65-01-004-12	3 094,74	0,17	98,94	C
Огрунтовка металлических поверхностей	ГЭСН13-03-002-04	530,08	0,03	98,97	C
Погрузка мусора вручную	47-1	1 089,82	0,06	99,03	C

Продолжение таблица 53

Наименование	ГЭСН	Сумма (руб.)	Доля (%)	Кумулятивная доля (%)	Категория
Погрузка мусора вручную	47-1	1 089,82	0,06	99,03	С
Перевозка грузов самосвалами	02-15-1-01-0010	1 040,33	0,06	99,09	С
Окраска металлических поверхностей	ГЭСН13-03-004-26	233,40	0,01	99,10	С
Погрузка мусора экскаватором	49-1	315,51	0,02	99,12	С
Итого		1 816 490,87	100,00		

Применим стандартное правило ABC-анализа:

– категория А: 0-80% кумулятивной суммы (6 позиций, 68,24% общей стоимости: ключевые дорогостоящие работы по устройству кровель и стяжек)

– категория В: 80-95% (4 позиции, 23,83% стоимости: значимые, но менее критичные работы по демонтажу)

– категория С: 95-100% (остальные 13 позиций, 7,93% стоимости: мелкие и вспомогательные работы с минимальным влиянием на общий бюджет)

4 этап – приводим стоимости локальных сметных расчетов к текущему уровню цен и формируем сводную таблицу работ по всем объектам (Таблица 59).

Таблица 59 – Сводная таблица перечня и стоимости ремонтных работ

Наименование	ГЭСН	Ед. изм.	Объект 1	объект 2	объект 3	объект 4	объект 5	объект 6	объект 7	объект 8	объект 9	объект 10	объект 11
Демонтаж выравнивающих стяжек: цементно-песчаных толщиной 15 мм	ГЭСН12-01-017-01	м²	132 799,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Демонтаж выравнивающих стяжек: корректировка по толщине	ГЭСН12-01-017-02	м²	115 867,73	-	429 367,64	-	-	23 070,00	-	-	-	-	113 967,00
Устройство выравнивающих стяжек: цементно-песчаных толщиной 15 мм	ГЭСН12-01-017-01	м²	211 551,92	179 807,87	299 614,60	-	-	15 180,00	-	-	-	-	83 115,00
Устройство выравнивающих стяжек: корректировка по толщине	ГЭСН12-01-017-02	м²	194 239,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	164 611,00
Устройство кровель плоских из наплавленных материалов: в два слоя	ГЭСН12-01-002-09	м²	194 239,60	404 913,21	934 825,05	-	1 099 346,88	59 348,00	624 366,00	87 238,00	-	962 951,56	845 620,00
Устройство примыканий кровель к стенам и парапета	ГЭСН12-01-004-04	м	302 780,31	121 071,90	177 974,98	80 272,29	461 472,90	29 575,00	248 831,00	87 710,00	-	178 142,46	305 259,00
Устройство мелких покрытий из оцинкованной стали	ГЭСН12-01-010-01	м²	168 184,61	-	109 593,67	79 919,14	-	43 626,00	-	43 228,00	-	225 915,39	271 131,00
Устройство примыканий из ПВХ мембран	ГЭСН12-01-030-01	м²	168 184,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Разборка стяжек отбойным молотком	ГЭСНр57-01-021-02	м²	108 997,04	-	247 341,26	-	-	-	-	-	-	-	-
Разборка покрытий кровель: из рулонных материалов	ГЭСН46-04-008-01	м²	78 827,18	60 168,23	104 238,33	16 502,10	133 840,91	-	-	20 346,00	-	117 645,53	107 444,00
Сборка листовых конструкций	ГЭСНм38-01-006-07	т	38 746,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Смена обделок из листовой стали	ГЭСНр58-01-020-01	м	-	69 102,53	-	-	189 323,83	-	-	-	-	-	-
Установка стоек радиотрансляционных сетей	ГЭСН34-02-061-01	шт.	-	70 431,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Улучшенная штукатурка фасадов	ГЭСН15-02-001-01	м²	-	44 606,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Прокладка полиэтиленовых канализационных труб	ГЭСН16-04-001-02	м	-	-	103 508,74	-	-	-	-	-	-	-	-
Устройство кровель плоских: в один слой	ГЭСН12-01-002-10	м²	-	-	82 391,13	71 892,04	-	16 156,00	-	-	-	79 801,53	-

Продолжение таблицы 54

Наименование	ГЭСН	Ед. изм.	Объект 1	объект 2	объект 3	объект 4	объект 5	объект 6	объект 7	объект 8	объект 9	объект 10	объект 11
Устройство деформационных швов	ГЭСН12-01-006-02	м	-	-	70 266,43	-	-	-	-	-	-	-	-
Демонтаж примыканий кровель	ГЭСН12-01-004-04	м	-	-	-	37 256,15	-	-	-	-	-	-	-
Ремонт цементной стяжки	ГЭСНР-58-16-3	мест	-	-	-	42 016,52	433 972,41	-	69 368,00	35 467,00	-	50 164,67	-
Устройство пароизоляции	ГЭСН11-01-050-01	м²	-	-	-	-	47 162,08	-	-	-	-	-	-
Устройство герметизации окон	ГЭСН07-05-039-09	м	-	-	-	-	43 009,23	-	-	-	-	-	-
Монтаж люка противопожарного	ГЭСН09-04-003-01	м²	-	-	-	-	-	248 718,07	-	-	-	-	-
Установка противопожарных дверей	ГЭСН09-04-013-01	м²	-	-	-	-	-	167 077,54	-	-	-	-	-
Устройство колпаков над шахтами в два канала	ГЭСН12-01-011-01	шт.	-	-	-	-	-	-	370 773,00	-	-	-	-
Установка прижимной планки	ГЭСН12-01-004-09	м	-	-	-	-	-	-	-	29 036,00	-	-	-
Устройство кровель из наплавливаемых материалов	ГЭСН12-01-007-10	м²	-	-	-	-	-	-	-	-	1 444 624,00	-	-
Установка металлических дверных блоков	ГЭСН09-04-012-01	м²	-	-	-	-	-	-	-	-	31 070,73	-	-
Подготовка основания кровли	ГЭСНР58-01-027-01	м²	-	-	-	-	-	-	-	-	37 282,98	-	-
Установка плит парапета	ГЭСН07-05-030-09	шт.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	358 474,94	-
Разборка парапетных решеток	ГЭСН46-04-008-01	м	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22 572,25	-
Механизированное приготовление растворов	ГЭСНР69-11-1	м³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	246 930,00
Ремонт штукатурки фасадов	ГЭСНР61-10-1	м²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	147 639,00
Огрунтовка оснований под кровельный ковер	ГЭСН12-01-016-02	м²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	139 215,00
Прочее	-	-	102 071,84	170 827,73	148 206,63	28 874,01	197 042,21	52 002,81	114 793,00	15 236,00	39 680,81	157 066,23	273 202,00
Итого стоимость, руб.			1 816 490,87	1 120 929,67	2 707 328,46	356 732,25	2 605 170,45	654 753,42	1 428 131,00	318 261,00	1 552 658,52	2 152 734,56	2 698 133,00

Как видно из представленной таблицы, совокупность дефектов, перечень работ и их стоимость варьируются для разных объектов. Капитальный ремонт может включать как полную замену кровли, так и частичные восстановительные работы. Однако, учитывая сложную структуру кровельного элемента, в перечень работ капитального ремонта зачастую включаются многочисленные сопутствующие работы, связанные с ремонтом смежных конструктивных элементов.

Рассчитываем удельные показатели стоимости и трудоемкости работ, приведенные на выбранную единицу измерения конструкции (Таблица 55).

Таблица 60 – Удельные показатели стоимости и трудоемкости работ

Объект №	Адрес	Площадь крыши, кв.м	Стои- мость, руб./кв.м	Трудоём- кость, чел.ч/кв.м
Объект 1	г. Северодвинск, пр-кт Морской, 38	1641	2654,34	1,04
Объект 2	г. Северодвинск, пр-кт Морской, 25	422,3	5158,78	2,09
Объект 3	г. Мирный, ул. Ленина, 9	524,8	235,42	0,17
Объект 4	г. Архангельск, ул. Советская, 36	1515,3	2281,24	0,87
Объект 5	г. Архангельск, ул. Серафимовича, 32	1142	415,11	0,28
Объект 6	г. Архангельск, ул. Почтовая, 23	1577,3	821,99	0,51
Объект 7	г. Архангельск, ул. Партизанская, 51	1737,4	148,64	0,09
Объект 8	г. Архангельск, ул. Калинина, 21	2141,2	1190,14	0,68
Объект 9	г. Архангельск, ул. Дачная, 49 к. 3	1304,6	3162,07	0,94
Объект 10	г. Архангельск, ул. Дачная, 40	680,8	1701,00	1,02
Объект 11	г. Архангельск, пр-кт Дзержинского, 1 к. 4	1586,2	2654,34	1,04

5 этап – суть использования комбинированного метода машинного обучения (описанного в главе 4) для задач организационно-технологического проектирования заключается в автоматизированном определении технологических решений (КТРр) и/или предварительной стоимости ремонтно-строительных работ на основе обучения на массиве данных. Согласно алгоритму, для эффективной работы комбинированного метода необходима предварительная нормализация данных. Фрагмент нормализованных данных для 61 объекта представлен в ПРИЛОЖЕНИИ Г.

Этап 6 – обучение.

Для апробации предложенного комбинированного метода на первом этапе обработаны данные 11 объектов-представителей. Согласно рекомендациям для количества объектов менее 50 (см. рисунок и таблицу с методикой), целесообразно

использовать метод Random Forest. Таким образом, на малой выборке проведены оба вида кластеризации (Таблица 61, подробно в ПРИЛОЖЕНИИ Д).

Вывод о сравнительной эффективности методов кластеризации на малой выборке

Общее:

- оба метода согласованно выделили кластеры капитального и среднего ремонта (объекты 3, 10 и 2, 5);
- критерии стоимости и трудоемкости совпадают.

Различия:

- Random Forest объединил все объекты с низкой стоимостью в один кластер;
- SOM разделил их на две группы, учитывая наличие спецработ (например, установка противопожарных дверей в Объекте 6) и полное отсутствие дефектов (Объекты 4, 7, 8, 9).

Рекомендуется: Если цель – грубая группировка по стоимости/трудоемкости, подойдет Random Forest. Если нужна детализация по специфике работ – лучше использовать SOM.

Проведенное исследование продемонстрировало, что метод Random Forest, несмотря на свою устойчивость к переобучению, показал избыточную агрегацию разнородных объектов в единые кластеры, что снижает практическую ценность результатов для задач дифференцированного планирования ремонтных работ.

Таблица 61 – Сопоставление результатов кластеризации: Random Forest или SOM

Критерий	Random Forest (3 кластера)	SOM (4 кластера)	Сравнение
Кластер 1 (Капитальный ремонт)	Объекты: 3, 10 Стоимость: 3,147 – 5,158 руб. Дефекты: Сильные повреждения покрытия, гидроизоляции, коррозия Работы: Полная замена кровли	Объекты: 3, 10 Стоимость: 3,147 – 5,158 руб. Дефекты: Полное разрушение покрытия, коррозия Работы: Устройство кровли в 2 слоя, при- мыканий	Совпадение. Оба метода выделили одни и те же объекты как наиболее проблемные.
Кластер 2 (Средний ремонт)	Объекты: 2, 5 Стоимость: 2,270 – 2,630 руб. Дефекты: Умеренные повреждения покрытия Работы: Частичная замена, штукатурка	Объекты: 2, 5 Стоимость: 2,270 – 2,630 руб. Дефекты: Умеренный износ покрытия Работы: Смена обделок, пароизоляция	Совпадение. Кластер идентичен в обоих методах.
Кластер 3 (Локальный ремонт)	Объекты: 1, 4, 6, 7, 8, 9, 11 Стоимость: 155 – 1,700 руб. Дефекты: Минимальные повреждения Работы: Демонтаж стяжек, мелкий ремонт	Разделен на 2 кластера: - 3: 1, 6, 11 (локальный + спецработы) - 4: 4, 7, 8, 9 (минимальный ремонт)	Различие. SOM детализировал группу, выделив объекты с особыми работами (6, 11) и минимальными повреждениями (4, 7, 8, 9).
Количество кластеров	3	4	SOM обеспечил более дробную кластеризацию за счет учета нюансов в работах.
Ключевое отличие	Объединил все объекты с низкой стоимостью в один кластер.	Разделил объекты с низкой стоимостью на две группы: с дополнительными работами (6, 11) и без них (4, 7, 8, 9).	SOM более точен в разделении объектов по специфике работ, а не только по стоимости.

Метод самоорганизующихся карт Кохонена (SOM) обеспечивает более детализированное и содержательно интерпретируемое разбиение объектов на кластеры по сравнению с методом Random Forest, даже в условиях ограниченного объема выборки ($n=11$). Ключевые преимущества SOM:

1) Более высокая дифференциация кластеров: SOM выявил 4 содержательно различных кластера против 3 у Random Forest. Дополнительно выделил подгруппу объектов (1, 6, 11), требующих специализированных работ.

2) Учет нелинейных взаимосвязей: SOM эффективно отобразил многомерные взаимосвязи между признаками. Позволил выявить скрытые паттерны, не обнаруживаемые при древовидной модели.

3) Интерпретируемость результатов: Визуализация U-Matrix обеспечила наглядное представление структуры данных. Кластеры имеют четкую содержательную интерпретацию.

Таким образом, даже на малых выборках SOM демонстрирует лучшие возможности за счет более тонкой настройки топологии карты, сохранения топологических свойств исходного пространства и возможности визуального анализа кластерной структуры.

Кластеризация методом SOM (Self-Organizing Maps)

6. Подготовка данных – данные нормализованы (значения от 0 до 1), где:

– Максимальная стоимость: 5158.78 руб. $\rightarrow$ 1

– Минимальная стоимость: 0 руб. $\rightarrow$ 0

7. Параметры SOM – размер карты: 5x5 (25 нейронов)

Количество кластеров: определилось автоматически с помощью метода «элоки» (Elbow method) $\rightarrow$ 5 кластеров (Таблица 62, Таблица 63)

Таблица 62 – Кластеры с характеристиками дефектов и советуемых работ

Кла-стер	Кол-во объектов	Диапазон стоимости (руб.)	Диапазон трудоемкости (чел.ч)	Основные дефекты	Типовые работы	При-меры объектов	Рекомендации
1	12	155–1083	0,12–0,93	Минимальные: разрушение покрытия (0,02–0,15), слабая гидроизоляция (0,01–0,02)	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 (0,3–0,5), дефекты примыканий (0,15–0,25)	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 (0,7–1,0), коррозия (0,2–0,5), 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 (<0,1)	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	Требуется специализированные подрядчики, высокие трудовые затраты

Таблица 63 – Типичные дефекты и работы по кластерам

Кла-стер	Типичные дефекты	Типичные работы
1	- Слабое разрушение кровельного покрытия (0,02–0,15) - Минимальные повреждения гидроизоляции (0,01–0,02)	- Демонтаж стяжек - Устройство кровли в 1–2 слоя - Мелкий ремонт металлических элементов
2	- Умеренное разрушение покрытия (0,3–0,5) - Дефекты примыканий (0,15–0,25) - Коррозия металла (0,04–0,08)	- Устройство стяжек - Ремонт гидроизоляции - Усиление примыканий
3	- Сильное разрушение кровли (0,7–1,0) - Коррозия металлических элементов (0,2–0,5) - Деформация водосточной системы (0,1–0,15)	- Полная замена кровельного ковра - Ремонт стяжки - Усиление несущих конструкций
4	- Почти отсутствующие дефекты (разрушение <0,1) - Единичные повреждения гидроизоляции (<0,01)	- Локальная герметизация швов - Профилактическая обработка покрытий - Мелкий косметический ремонт
5	- Дефекты инженерных систем (вентиляция, канализация) - Повреждения фасадных элементов - Неисправности противопожарных конструкций	- Установка противопожарных дверей - Монтаж вентиляционных колпаков - Ремонт фасадных панелей

Интерпретация кластеров

– **Кластер 1:** Объекты с незначительными дефектами кровли, требующие типового ремонта (например, замена покрытия).

– **Кластер 2:** Типовые объекты со средним объемом работ (стяжка, гидроизоляция).

– **Кластер 3:** Объекты с масштабными повреждениями (коррозия, деформации), высокая стоимость ремонта.

– **Кластер 4:** Объекты в хорошем состоянии, минимальные затраты на обслуживание.

– **Кластер 5:** Объекты с нестандартными работами (противопожарные системы, парапеты), высокая трудоемкость.

Приоритет ремонта:

– высший: Кластер 3 (критичные повреждения);

– средний: Кластеры 2 и 5;

– низкий: Кластеры 1 и 4.

Бюджетное распределение:

- наибольшие затраты на Кластер 3 (до 4900 руб./объект);
- минимальные вложения в Кластер 4 (до 619 руб./объект).

Трудоемкость: максимальная у Кластеров 3 и 5 (до 2,9 чел.ч).

Итоговые рекомендации – приоритет ремонта: Кластер 3 → Кластер 2 → Кластер 5 → Кластер 1 → Кластер 4.

Алгоритм прогнозирования стоимости ремонта и необходимые виды работ для нового объекта с помощью Random Forest

1) Подготовка данных – для каждого кластера обучается отдельная модель Random Forest на исторических данных:

Признаки (X):

- а) площадь кровли;
- б) степень разрушения покрытия;
- с) наличие дефектов (гидроизоляция, примыкания, коррозия и т. Д.);
- д) материалы покрытия;
- е) возраст объекта.

Целевая переменная (Y):

- а) стоимость ремонта (регрессия);
- б) тип работ (классификация, мультикласс).

2) Прогнозирование

1. Отнесение нового объекта к кластеру (SOM): новый объект сравнивается с центрами кластеров (по признакам) и определяется, к какому кластеру он ближе всего.

2. Прогнозирование стоимости (Random Forest – регрессия): для выбранного кластера модель предсказывает стоимость на основе его параметров.

Пример: Объект попал в Кластер 2 (умеренные повреждения). Модель предсказывает стоимость ~2000 руб. (на основе похожих объектов).

3. Прогнозирование необходимых работ (Random Forest – классификация): модель определяет, какие работы вероятнее всего потребуются.

Пример: для Кластера 2 типичные работы:

✓ Устройство стяжки (вероятность 85%);

✓ Ремонт гидроизоляции (70%);

✗ Замена покрытия (10%).

Преимущества подхода представлены в табличном виде (Таблица 64).

Таблица 64 – Преимущества комбинированного подхода

Преимущество	Описание
Точность	Разные модели для разных кластеров → меньше ошибок, чем одна общая модель.
Интерпретируемость	Можно понять, какие факторы сильнее всего влияют на стоимость (Feature Importance).
Гибкость	Можно добавлять новые кластеры без переобучения всей системы.
Автоматизация	Быстрое прогнозирование для новых объектов без ручного анализа.

Для новых объектов сначала определяется кластер (SOM), затем Random Forest предсказывает. Как результат – точечные рекомендации, оптимизация бюджета, снижение рисков.

Такой подход особенно полезен для:

- сметных отделов – точное планирование затрат;
- подрядчиков – подготовка к конкретным видам работ;
- управляющих компаний – приоритезация ремонтов.

Пример прогнозирования стоимости и работ для нового объекта с помощью Random Forest

Генерация случайного объекта – допустим, новый объект имеет следующие параметры (нормализованные) (Таблица 60):

Таблица 65 – Сгенерированные данные случайного объекта

Признак	Значение	Описание
Площадь кровли	0.68	Средняя площадь
Разрушение покрытия	0.45	Умеренный износ
Повреждение гидроизоляции	0.20	Локальные дефекты
Дефекты примыканий	0.12	Незначительные
Коррозия металла	0.05	Минимальная
Материал кровли	1	Наплавляемая (битум)
Возраст объекта (лет)	0.4	8 лет

Отнесение к кластеру (SOM) – на основе этих признаков SOM-кластеризация относит объект к **Кластеру 2** (умеренные повреждения, средняя стоимость).

Прогнозирование с помощью Random Forest

1. Прогноз стоимости (регрессия) – обученная модель Random Forest для Кластера 2 предсказывает нормализованную стоимость 0,42.

Денормализация:

– минимальная стоимость в кластере: 1290 руб.;

– максимальная: 2321 руб.

Итоговая стоимость: $1290 + 0.42 \times (2321 - 1290) \approx 1750$ руб.

2. Прогноз видов работ (классификация) – модель RandomForestClassifier возвращает вероятности для каждого типа работ (Таблица 66).

Таблица 66 – Результат выбора работ

Вид работы	Вероятность	Рекомендация
Устройство стяжки	85%	☑ Обязательно
Ремонт гидроизоляции	70%	☑ Рекомендуется
Усиление примыканий	45%	⚠ По необходимости
Замена покрытия	10%	✗ Не требуется

Итоговый отчет по объекту (Таблица 62).

Таблица 67 – Итоговый отчет организационно-технологического планирования работ

Параметр	Значение
Кластер	2 (умеренные повреждения)
Прогнозируемая стоимость	1750 руб.
Рекомендуемые работы	1. Устройство стяжки 2. Ремонт гидроизоляции
Дополнительные работы	Усиление примыканий (если бюджет позволяет)

Таким образом, комбинированный метод организационно-технологического проектирования капитального ремонта позволяет быстро и точно оценивать затраты и план работ для новых объектов.

5.3 Методика организационно-технологического проектирования при энергоэффективном капитальном ремонте

Проведенный обзор научных публикаций последних двух десятилетий свидетельствует о значительном внимании исследователей к вопросам энергоэффективности в строительстве и эксплуатации недвижимости. Наибольшее развитие данное направление получило в зарубежных исследованиях, где прослеживается четкая тенденция к разработке методов оптимизации энергопотребления существующей застройки, преимущественно объектов городской инфраструктуры производственного назначения.

Анализ зарубежных литературных источников позволил выявить следующие ключевые тенденции [168, 193, 198, 215, 216, 217, 218, 206, 208, 217, 227, 228, 249, 250, 253 и др.]:

1) Доминирование исследований, посвященных оценке энергетических характеристик капитальных строительных объектов на основе их технических параметров и эксплуатационных показателей.

2) Активное развитие методов машинного обучения для прогнозирования энергопотребления, кластерного анализа зданий по энергоэффективности, оптимизации режимов эксплуатации инженерных систем.

3) Преимущественная ориентация на городскую застройку, что обусловлено высокой концентрацией энергопотребления в городах, наличием значительного потенциала энергосбережения и доступностью данных мониторинга для объектов городской инфраструктуры.

В рамках российских исследований преобладают частные исследования отдельных элементов, преимущественно инженерных систем. Конструктивные особенности существующих зданий изучены в значительно меньшей степени, особенно в части реальной эффективности мероприятий по снижению энергопотребления. Многочисленные работы рассматривают вопросы реализации типовых программ энергоэффективного капитального ремонта, где перечень работ определяется усредненными характеристиками зданий – этажностью, конструкцией ограждающих элементов и другими обобщенными параметрами [78, 79, 123, 158, 184,

187 и др.]. Однако такой упрощенный подход явно недостаточен для выявления причин существенных расхождений в энергопотреблении даже среди типовых объектов.

В настоящее время единственным формальным параметром идентификации этих свойств остается класс энергоэффективности, однако практика выявляет его существенные ограничения:

- 1) Для большинства жилых объектов этот параметр вообще не определен.
- 2) Существуют серьезные предпосылки считать, что присвоенный класс зависит от множества переменных факторов: погодных условий в год проведения оценки; времени последнего капитального ремонта; субъективных особенностей методики расчета.
- 3) Класс энергоэффективности обладает временной изменчивостью и не отражает реального состояния объекта в динамике

Многокритериальная оценка энергоэффективности зданий

Современные исследования демонстрируют, что оценка энергоэффективности требует учета не только технических параметров зданий, но и широкого спектра других характеристик, включая эксплуатационные, климатические и поведенческие факторы [126, 144, 154, 193, 203, 206, 215].

Это хорошо иллюстрирует пример жилищного фонда Архангельска, где преобладают типовые здания советской постройки (Таблица 68). Логично было бы ожидать, что такие однотипные здания будут иметь схожие показатели энергопотребления, однако исследования выявили значительный разброс значений.

Таблица 68 – Серии типовых МКД советского периода в г. Архангельске

Таблица 66 – Серия типовых МКД советского периода в г. Архангельске						
Группа зданий	«Сталинка»	«Хрущевка» / «Брежневка»		«Улья-новка»	«Брежневка»	
Серия	1-410, 1-418, 1-419, 1-420, 1-428, 1-460, 1-506	1-447	1-464	1-335	114-85	93
Фотофиксация типового МКД						
Годы строительства	1955-1962	1958-1964		1972 – 1985	1974-2005	1979-1990
Конструктивная схема	стеновая, перекрестная					полный кар-кас
Стены	керамический кирпич (640 мм)	силикатный кирпич (770 мм)	двуслойные панели из шунгизитобетона (350 мм)	двуслойные панели из шунгизитобетона (350 мм)	силикатный кирпич (770 мм)	двуслойные панели из шунгизитобетона (350 мм)
Перекрытия	бетонные круглопустотные плиты (220мм)		сплошные жб плиты (100 мм)	бетонные круглопустотные плиты (220мм)		
Кровля	скатная с техэтажом, покрытие – асбестоцементный волнистый лист		плоская совмещенная, покрытие – рулонная ГИ	плоская с техэтажом, покрытие – рулонная ГИ		
Подвал / техэтаж	теплый	холодный				
Окна	деревянные с двойным остеклением в отдельных переплетах					
Двери наружные	металлические					
Кол-во этажей	5	5	5	9	9	10
Высота этажа, м	3-3,3	2,8	2,65	2,95	2,8	2,95

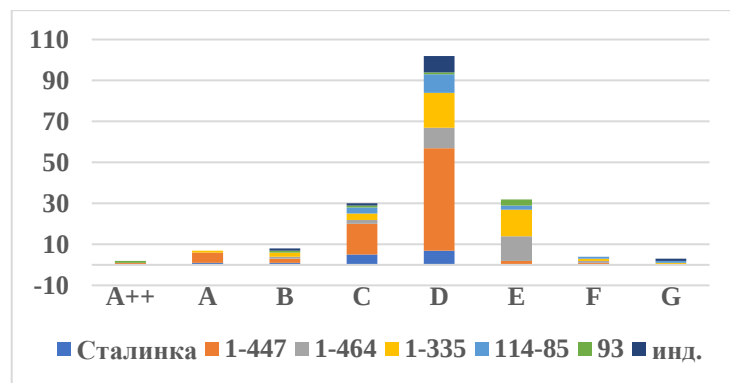
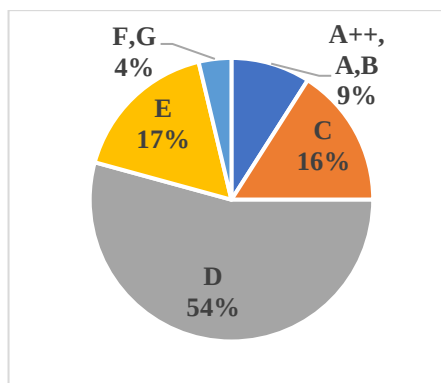


Рисунок 52 – Распределение многоквартирных домов по классу энергоэффективности

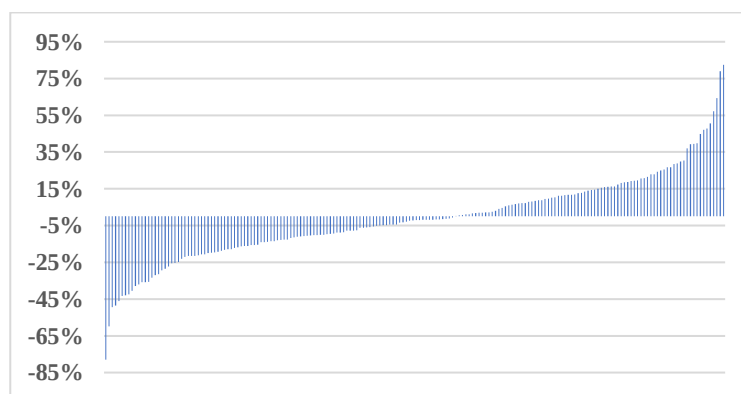


Рисунок 53 – Отклонение от норматива потребления

Особенно показательно, что этот разброс далеко не всегда коррелирует с теплопроводностью стен – основным параметром, используемым в соответствии с [Федеральным законом № 261 «Об энергоснабжении...» от 23.11.2009 г.] для классификации зданий. Это свидетельствует о необходимости учитывать комплекс факторов, влияющих на энергопотребление:

- состояние инженерных систем;
- качество эксплуатации;
- поведенческие особенности жильцов;
- микроклиматические условия.

Сложившаяся практика требует внедрения многокритериальной системы оценки энергоэффективности в рамках эксплуатационного контроля состояния здания, аналогично применяемой при определении технического состояния зданий.

Наиболее обоснованным подходом представляется определение натуральных показателей энергоэффективности в рамках системы регулярного эксплуатационного контроля технического состояния зданий. В научных работах подробно рассмотрены критерии, которые должны лечь в основу формирования комплексных программ энергоэффективного капитального ремонта [151], включая:

- фактические показатели удельного энергопотребления;
- тепловизионные характеристики ограждающих конструкций;
- параметры работы инженерных систем;
- динамику изменения показателей во времени.

При этом многокритериальная оценка должна интегрировать:

- технические параметры (теплозащита, состояние инженерных систем);
- эксплуатационные показатели (режимы работы оборудования, температурные графики);
- климатические условия региона;
- поведенческие аспекты (привычки пользователей, режимы проветривания).

Такой комплексный подход позволит перейти от усредненных решений к адресным программам модернизации, учитывающим реальное состояние каждого

конкретного здания, разрабатывать адресные и эффективные меры повышения энергоэффективности для различных типов зданий.

Сложившаяся ситуация подчеркивает необходимость создания в России открытой системы мониторинга энергопотребления зданий, что соответствует лучшим международным практикам в области энергосбережения. Ключевым условием для проведения таких комплексных исследований является доступность данных об объектах.

Международный опыт подтверждает, что уже сам факт публичного раскрытия информации о фактическом энергопотреблении зданий приводит к его снижению. Это связано с повышением прозрачности, возможностью сравнительного анализа и ростом ответственности собственников и управляющих организаций. Таким образом, открытость данных выступает не только основой для научных исследований, но и действенным инструментом стимулирования энергосбережения.

Практика показывает, что даже простое раскрытие информации об энергопотреблении позволило бы выявлять реальные причины перерасхода энергии и способствовать принятию обоснованных решений по модернизации, а также могло бы стимулировать собственников к энергосбережению.

Несмотря на очевидную важность информации о реальных энергопараметрах зданий, в России такая информация остается практически недоступной.

Влияние стандартных ремонтных работ на энергоэффективность зданий: необходимость комплексного подхода

Следует подчеркнуть, что многие работы, традиционно включаемые в программу капитального ремонта, оказывают существенное влияние на энергоэффективность зданий. К ним относятся:

- герметизация межпанельных швов и стыков;
- ремонт кровли с утеплением;
- модернизация инженерных систем;
- замена оконных блоков;
- восстановление теплоизоляции трубопроводов.

Однако на практике практически не проводится оценка реального снижения энергопотребления после выполнения таких работ и(или) улучшения параметров микроклимата (включая: стабилизацию температуры внутреннего воздуха, нормализацию влажностного режима, устранение дисбаланса в системе отопления (перетопы/недотопы по этажам) и др.). Реальный фактический экономический эффект от достигнутой экономии энергоресурсов не рассчитывается.

Системный мониторинг энергоэффективности зданий до и после капитального ремонта должен включать замеры параметров, фиксацию изменений в режимах работы инженерного оборудования, оценку динамики жалоб жильцов на микроклимат и расчет экономии энергоресурсов в натуральном и денежном выражении.

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.

Полученные данные необходимо использовать как дополнительный критерий при:

- формировании программ капитального ремонта;
- определении приоритетности работ;
- выборе наиболее эффективных технологий;
- оценке качества выполненных работ.

Это особенно важно в условиях ограниченного финансирования и необходимости достижения максимальной эффективности капиталовложений. Внедрение системы мониторинга энергоэффективности должно стать обязательным элементом программ капитального ремонта.

Предложение по адаптации алгоритма организационно-технологического проектирования капитального ремонта

1. Модернизация системы учета параметров путем расширения перечня характеристик объектов капитального строительства, включив в него:

- динамические показатели энергоэффективности;
- параметры микроклимата помещений;
- коэффициенты эффективности послеремонтных изменений и др.

2. Интеграция в методику организационно-технологического проектирования комплексного ремонта (Таблица 64, Таблица 65):

а) формирование расширенного датасета, включающего:

- а. традиционные конструктивные параметры;
- б. новые показатели энергоэффективности;
- с. исторические данные о выполненных ремонтах

б) применение комбинированных алгоритмов машинного обучения:

- а. кластерный анализ для группировки объектов;
- б. регрессионные модели для прогнозирования эффекта;
- с. методы оптимизации для выбора приоритетных работ.

Таблица 69 – Укрупненная 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.	Комбинированные алгоритмы машинного обучения	Прогноз снижения энергопотребления
Техническое состояние	Результаты обследований, дефектные ведомости		Приоритетность работ
Экономическая эффективность	Стоимость работ, тарифы	Регрессионный анализ	Срок окупаемости

Таблица 70 – 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 учет реальных, а не нормативных параметров и обоснованный выбор наиболее эффективных решений. Модель возможно адаптировать к конкретным условиям и постепенно улучшать прогнозы.

Перспективными направлениями развития являются создание цифровых двойников объектов, разработка системы предиктивного обслуживания и интеграция с системами «умного города».

Выводы по Главе 5

В результате проведенного исследования в рамках главы была разработана и апробирована методика организационно-технологического проектирования комплексного и энергоэффективного капитального ремонта, которая представляет собой законченный алгоритм действий от сбора данных до формирования конкретных рекомендаций. Теоретическая ценность данного вывода заключается в создании целостного процессно-системного подхода, который формализует и автоматизирует ранее исключительно экспертно-ориентированную область проектирования ремонтов, обеспечивая ее строгую математическую формализацию с использованием машинного обучения. Практическая реализуемость методики подтверждена ее успешной апробацией на реальной выборке из 61 многоквартирного дома, что демонстрирует ее готовность к внедрению управляющими компаниями и органами власти для формирования обоснованных и оптимизированных программ капитального ремонта.

Апробировано и доказано, что комбинированный алгоритм машинного обучения (SOM + Random Forest) является эффективным инструментом для автоматической классификации объектов ремонта и прогнозирования их ресурсных показателей. В ходе апробации было выявлено, что алгоритм автоматически сформировал пять содержательно интерпретируемых кластеров объектов с однородными дефектами и типовыми работами, что позволило не только спрогнозировать стоимость и трудоемкость, но и объективно определить приоритетность ремонта (от Кластера 3 с критичными дефектами до Кластера 4 с профилактическими работами). С научной точки зрения, этот вывод важен эмпирическим подтверждением гипотезы о том, что методы машинного обучения способны выявлять скрытые закономерности в данных о техническом состоянии, обеспечивая переход предупредительному управлению жилищным фондом. С практической точки зрения, это позволяет автоматизировать процесс принятия решений о планировании ремонтов, распределяя ограниченные финансовые ресурсы на наиболее неотложные и значимые объекты.

Определено и обосновано, что традиционный подход к оценке энергоэффективности, основанный на типовых сериях домов, является несостоятельным, и

разработана адаптированная методика, интегрирующая энергетические параметры в процесс организационно-технологического проектирования. В ходе исследования было выявлено отсутствие корреляции между типовой серией дома и его классом энергоэффективности, а ключевым фактором, влияющим на потребление, признано фактическое техническое состояние инженерных систем и ограждающих конструкций. Научная новизна этого вывода заключается в пересмотре устоявшихся стереотипов в области энергоаудита и предложении нового подхода, основанного на мониторинге реальных, а не нормативных параметров. Практическая реализация предполагает расширение системы учета характеристик объектов (температура внутри помещений, теплопроводность конструкций и т.д.) и интеграцию этих данных в комбинированный алгоритм машинного обучения, что позволяет не только планировать ремонт, но и прогнозировать снижение энергопотребления и срок окупаемости мероприятий, формируя экономически обоснованные программы энергомодернизации.

Разработана и структурирована адаптированная модель методики для энергоэффективного ремонта, которая реализуется как сквозной цикл управления, включающий этапы сбора данных, анализа и контроля. Данная модель предусматривает интеграцию с государственными информационными системами (ГИС ЖКХ), автоматизированный сбор показаний приборов учета и регулярные тепловизионные обследования для формирования цифровых карт зданий. Теоретическая значимость подхода заключается в создании замкнутого контура управления, где на основе мониторинга фактической эффективности происходит непрерывная корректировка и улучшение прогнозных моделей. Практическая ценность заключается в том, что данный алгоритм представляет собой готовый план внедрения для муниципалитетов и фондов капитального ремонта, позволяющий перевести процесс планирования энергомодернизации на постоянную, данных-ориентированную основу, обеспечивая контроль за исполнением программ через систему ключевых показателей эффективности и обратную связь.

Глава 6. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

6.1 Алгоритм решения задачи оптимизации распределения фонда капитального ремонта жилищного фонда методом динамического программирования

В рамках региональных систем капитального ремонта жилищного фонда предусмотрено двухуровневое планирование (Глава 1, Рисунок 21):

1) Долгосрочные региональные программы капитального ремонта – стратегические документы, определяющие основные направления финансирования и реализации ремонтных мероприятий.

2) Краткосрочные планы капитального ремонта (3 года) – оперативные документы, формируемые на основе долгосрочных программ и конкретизирующие перечень объектов и сроки выполнения работ.

Анализ структуры взаимодействия участников политики долгосрочного планирования показал, что ключевыми исполнителями являются (Рисунок 8) эксплуатирующие организации, специализированные строительные организации и органы исполнительной власти.

Первые два субъекта выполняют функции краткосрочного и оперативного планирования работ по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту. Это предполагает индивидуальную реализацию организационно-технологическое проектирование капитального ремонта отдельно для каждого многоквартирного дома (МКД).

Основным исполнителем, ответственным за планирование предупредительного комплексного (поэлементного) ремонта, выступают органы исполнительной власти (региональные операторы капитального ремонта). Основной проблемой в реализации эффективного организационно-технологического проектирования является то, что региональные операторы не вовлечены в оперативную эксплуатацию жилищного фонда, поэтому решения принимаются на основе данных,

предоставляемых эксплуатирующими организациями, без непосредственной оценки технического состояния объектов.

Как следствие, формируется разрыв между планированием и реальными потребностями зданий: региональные операторы не всегда обладают достаточной информацией для точной оценки технического состояния и определения необходимых конструктивно-технологических решений ремонта (КТРр) для отдельных строительных элементов МКД.

В рамках проведенного исследования (Главы 1 и 2) детально проанализированы ключевые аспекты инвестиционно-строительного планирования капитального ремонта. Установлено, что сметная документация выступает основополагающим элементом организационно-технологического проектирования ремонтных работ, а ее стоимостные показатели формируют базис для обоснования инвестиционных решений.

Критически важной задачей является оптимальное распределение ограниченных финансовых ресурсов, аккумулированных в региональных фондах капитального ремонта, с целью реализации максимально эффективного плана восстановительных мероприятий. Такой подход позволяет максимизировать восстановление эксплуатационных характеристик зданий при соблюдении принципов ресурсной и экономической эффективности.

Разработанная методология многокритериальной оценки технического состояния конструктивных элементов и её практическое применение выявили следующие особенности:

В краткосрочные планы капитального ремонта включаются элементы зданий с разнородным уровнем износа, что свидетельствует об отсутствии чёткой корреляции между совокупностью дефектов и приоритетностью ремонтного вмешательства.

Не сформированы унифицированные критерии принятия решений, позволяющие объективно определить необходимость включения конкретного элемента в ремонтную программу на основе количественных показателей износа (КТРр, степень деградации, риск аварийности).

Таким образом, текущий подход к формированию краткосрочных планов характеризуется субъективностью и недостаточной формализацией, что снижает эффективность распределения бюджетных средств и технико-экономическую обоснованность ремонтных мероприятий.

На рисунке представлена. Проведенный анализ динамики аккумулирования средств регионального фонда капитального ремонта, а также роста отложенной стоимости восстановительных работ позволяет утверждать, что наиболее эффективной стратегией планирования капитального ремонта является поэтапное финансирование восстановительных мероприятий, реализуемое на основе (Рисунок 54):

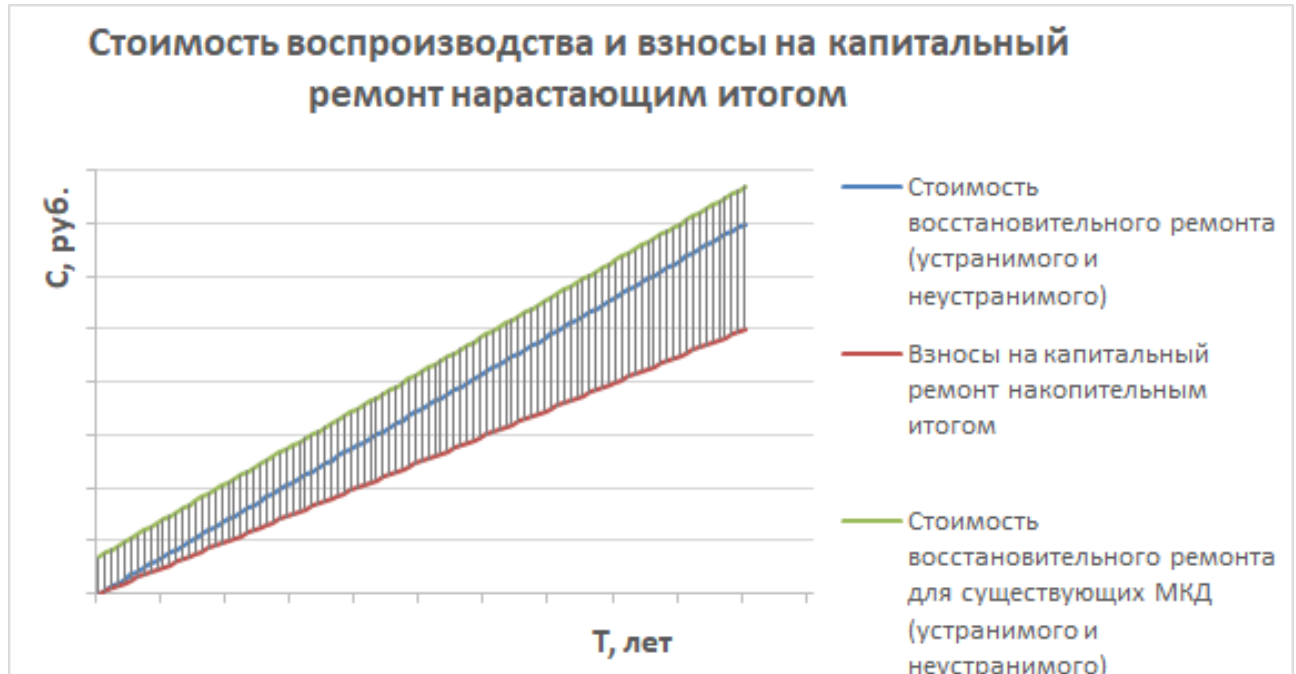
- предупредительного подхода – приоритезация работ в соответствии с фактическим техническим состоянием строительных конструкций;
- многокритериальной оценки – учет степени износа, эксплуатационной значимости и риска преждевременного выхода элементов из строя;
- оптимизации финансовых потоков – распределение ограниченных ресурсов в соответствии с расчетными показателями остаточного ресурса конструкций.

Проведенный анализ программы капитального ремонта жилищного фонда Архангельской области выявил существенную временную диспропорцию в планировании восстановительных мероприятий. Согласно представленным данным (Рисунок 22), значительная часть строительных конструкций и инженерных систем запланирована к ремонту в период 2035-2043 гг., что характеризуется следующими критическими аспектами:

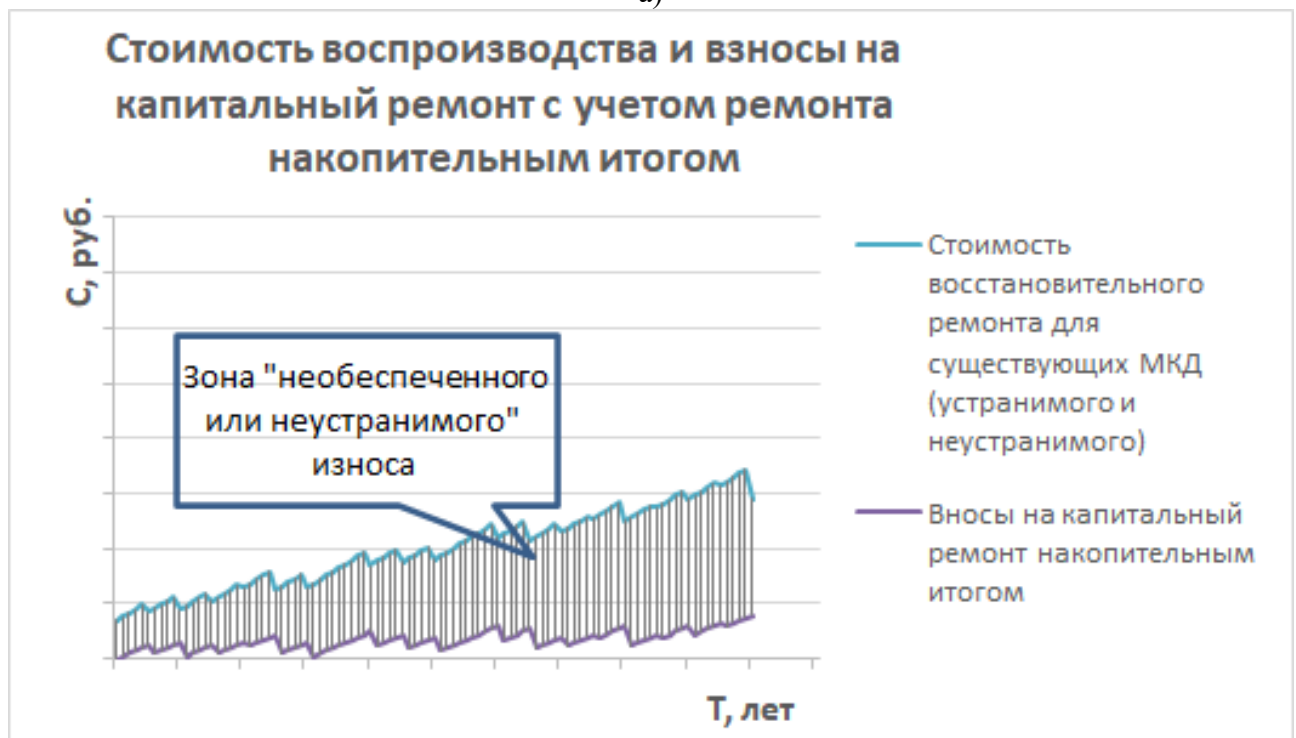
1) Технико-экономическая нецелесообразность: превышение нормативных сроков эксплуатации основных конструктивных элементов, кумулятивный рост стоимости отложенных ремонтных работ и снижение эффективности капиталовложений из-за прогрессирующего износа.

2) Эксплуатационные риски: критическое снижение показателей надежности строительных конструкций, деградация эксплуатационных характеристик инженерных систем и возрастание вероятности аварийных ситуаций.

3) Социальные последствия: ухудшение параметров жилой среды, снижение комфортности проживания и потенциальное нарушение санитарно-гигиенических норм.



а)



б)

Рисунок 54 – Графики воспроизводства жилищного фонда в рамках поэлементного планово-предупредительного капитального ремонта: а) аккумулялирование средств и рост отложенной стоимости восстановительных работ; б) то же с учетом ремонтных работ.

Эффективное управление программой технического обслуживания требует оптимального распределения ограниченных ресурсов через экономико-математическое моделирование, позволяющее решать ключевые задачи: рациональное распределение инвестиций, прогнозирование износа оборудования, оптимизация информационных потоков, минимизация убытков от простоев, эффективное управление запасами и разработка оптимальных графиков работ [8, 13, 19, 75, 76, 83, 132].

Предлагаемая методика организационно-технологического проектирования капитального ремонта строительных элементов основана на унифицированной оценке технического состояния, позволяющей идентифицировать элементы, требующие восстановления, определить перечень необходимых работ и диапазон их стоимости. Данный подход обеспечивает формирование обоснованного краткосрочного плана ремонтных мероприятий.

Принципы инвестиционного моделирования предусматривают целевое использование накопленных средств фонда капитального ремонта исключительно для приоритетных работ, а приоритезацию ремонтных мероприятий на основе комплексной оценки технического состояния.

В алгоритм принятия решений следует включать следующие критерии:

- при наличии явного приоритета (например, замена кровли) средства аккумулируются до достижения необходимого объема финансирования, даже при наличии менее затратных, но низкоприоритетных альтернатив;
- при сопоставимом приоритете нескольких работ выбор осуществляется в пределах текущего лимита накопленных средств.

Технико-экономическое обоснование методики базируется на принципах ресурсной эффективности и минимизации отложенного ремонта, что обеспечивает оптимальное распределение ограниченных финансовых ресурсов при сохранении требуемых эксплуатационных характеристик объектов.

Формальная постановка задачи оптимизации распределения фонда капитального ремонта

Имеется множество объектов, требующих проведения капитального ремонта. Для каждого объекта $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ определены:

- текущая стоимость ремонта $c_i(t)$, где t – временной период (год), причем $c_i(t + 1) \geq c_i(t)$ (стоимость работ не убывает со временем);
- критичность выполнения работы p_i (может выражаться в виде риска аварии и т. Д.);
- фонд капитального ремонта формируется ежегодно, и его объем в году t составляет $B(t)$. При этом:

Накопленный бюджет к моменту t :

$$F(t) = \sum_{\tau=1}^t B(\tau) \quad (6)$$

Совокупная стоимость всех необходимых работ превышает текущий фонд:

$$\sum_{i=1}^N c_i(t) > F(t) \quad (7)$$

Цель: определить оптимальный план выполнения ремонтных работ $\{x_{i,t}\}$,

$$x_{i,t} = \begin{cases} 1, & \text{если работа } i \text{ выполняется в году } t, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (8)$$

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

Целевая функция:

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N c_i(t) \cdot x_{i,t} + \sum_{i=1}^N p_i \cdot (T - t_i) \cdot (1 - x_{i,T}), \quad (9)$$

где: первое слагаемое – суммарные затраты на ремонт, второе слагаемое – возможный ущерб от аварий (если он неизбежен и его можно спрогнозировать).

Бюджетные ограничения:

$$\sum_{i=1}^N c_i(t) \cdot x_{i,t} \leq B(t), \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (10)$$

Задача относится к классу динамических задач целочисленного программирования с ограниченными ресурсами. Для ее решения применимы:

- алгоритмы динамического программирования (если N невелико),
- методы ветвей и границ (для точного решения),

- эвристики и метаэвристики (генетические алгоритмы, муравьиные колонии) при больших N ,
- стохастическая оптимизация, если параметры не детерминированы.

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 (Таблица 71). Таблица позволяет сопоставить методы по критериям сложности, точности и применимости к конкретным условиям задачи.

Таблица 71 – Сравнительный анализ методов решения задачи распределения фонда капитального ремонта

Метод	Алгоритм	Суть	Отличия и особенности	Применимость к задаче
Динамическое программирование (ДП)	Рекуррентное разбиение задачи на подзадачи, запоминание промежуточных решений.	Оптимальное решение находится путем комбинирования оптимальных решений подзадач.	- Точное решение. - Требуется значительных вычислительных ресурсов при увеличении N .	Подходит для малого N (до 20–30 работ), где можно перебрать варианты без перегрузки.
Метод ветвей и границ	Систематический перебор вариантов с отсечением заведомо неоптимальных ветвей.	Сокращение пространства поиска за счет оценки верхних/нижних границ.	- Точное решение. - Эффективен при наличии хороших эвристик для оценки границ.	Применим для средних N (30–100), если требуется точный ответ.
Эвристики и метаэвристики (генетические алгоритмы, муравьиные колонии)	Итеративный поиск решений на основе биологических или природных аналогий.	- Генетические алгоритмы: эволюция «популяции» решений. - Муравьиные колонии: имитация поведения муравьев.	- Приближенное решение. - Быстро находит субоптимальные решения для сложных задач.	Оптимальен для больших N (100+), где точные методы неприменимы.
Стохастическая оптимизация	Моделирование случайных параметров (например, бюджета или стоимости работ).	Использование вероятностных моделей для учета неопределенности.	- Решения устойчивы к колебаниям входных данных. - Требуется данных о распределениях.	Применяется, если $B(t)$ или $c_i(t)$ – случайные величины.

Рекомендуемый метод решения для поставленной задачи с заданными условиями: малой размерностью ($N < 20$ элементов – 10 строительных элементов в

структуре капитального ремонта МКД), детерминированным бюджетом $B(t)$, определенной функциональной зависимостью стоимости работ $c_i(t)$, наиболее эффективным методом является **динамическое программирование** (ДП) с предварительным моделированием зависимости $c_i(t)$.

Малая размерность задачи исключает проблему «проклятия размерности», делая ДП вычислительно осуществимым. Детерминированный характер бюджета позволяет точно прогнозировать накопления фонда $F(t)$ без учета стохастических факторов. Наличие функциональной зависимости $c_i(t)$ дает возможность аппроксимировать стоимость работ на основе исторических данных или экспертных оценок и непосредственно включить эту зависимость в рекуррентные соотношения ДП.

Альтернативные методы неоптимальны:

- метод ветвей и границ избыточен при малой N (ДП эффективнее),
- эвристики излишни (достижимо точное решение),
- стохастическая оптимизация не требуется, так как неопределённость в $c_i(t)$ устраняется определением функциональной зависимости.

Таким образом, применение динамического программирования обеспечивает оптимальное планирование при заданных ограничениях.

Алгоритм решения задачи оптимизации ремонтных работ методом динамического программирования включает следующие этапы:

1. Постановка задачи и исходные данные

Задача оптимизации ремонтных работ формулируется следующим образом: требуется найти такую последовательность выполнения ремонтных работ, которая минимизирует суммарные затраты при ограниченном бюджете. Исходными данными для решения задачи являются: множество объектов ремонта $E = \{1, 2, \dots, N\}$, где N – количество объектов; функции стоимости ремонта $c_i(t)$ для каждого объекта $i \in E$ в период t ; начальный бюджет $F_1 = F_0$; период планирования K лет.

2. Построение математической модели

Математическая модель задачи основана на методе динамического программирования. Состояние системы в момент времени t описывается парой параметров (F, E') , где F – текущий остаток бюджета ($F \geq 0$), E' – подмножество неотремонтированных объектов ($E' \subseteq E$).

Рекуррентное уравнение Беллмана:

$$V(t, F, E') = \min_{i \in E'} [c_i(t) + V(t + 1, F - c_i(t), E' \setminus \{i\})] \quad (11)$$

Условие допустимости:

$$c_i(t) \leq F \quad (12)$$

Граничные условия:

- если $E' = \emptyset$: $V(t, F, \emptyset) = 0$ для любых t, F ;
- если $t > K$: $V(t, F, E') = +\infty$ при $E' \neq \emptyset$;
- если $F < \min_{i \in E'} c_i(t)$: $V(t, F, E') = +\infty$.

3. Вычислительная процедура прямого хода

Вычислительная процедура начинается с инициализации: для $t = K + 1$ устанавливается $V(K + 1, F, E') = 0$ если $E' = \emptyset$, иначе $+\infty$. Затем выполняется рекурсивное вычисление значений функции Беллмана для t от K до 1, для всех возможных значений F от 0 до F_{max} , для всех подмножеств $E' \subseteq E$.

Параллельно сохраняется информация об оптимальном решении $i^*(t, F, E')$ – объекте, который достигает минимума в каждом состоянии.

4. Процедура обратного хода и восстановление решения

Процедура обратного хода начинается с инициализации параметров. Процесс продолжается до тех пор, пока все объекты не будут отремонтированы либо не будет достигнут конечный период планирования.

5. Анализ результатов и проверка оптимальности

Выходными данными алгоритма являются: оптимальная последовательность ремонтов $\{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ где $m \leq N$; распределение работ по периодам; общая минимальная стоимость $V(1, F_0, E)$; динамика использования бюджета $F(1), F(2), \dots, F(K + 1)$.

Критерии проверки оптимальности:

- все объекты отремонтированы: $E'(K + 1) = \emptyset$;
- бюджетные ограничения соблюдены на всех этапах;
- суммарная стоимость соответствует вычисленному значению $V(1, F_0, E)$.

6. Особенности практической реализации

Особое внимание следует уделить обработке особых случаев: при недостатке бюджета необходимо предусмотреть перенос работ на последующие периоды, учесть возможные временные ограничения на ремонт объектов, обеспечить возможность включения дополнительных ограничений. Алгоритм гарантирует нахождение глобально оптимального решения при выполнении условий допустимости и обеспечивает минимальную суммарную стоимость ремонтных работ в пределах заданного бюджета.

6.2 Моделирование прогноза изменения технического состояния строительного элемента на основе фазово-логистической зависимости стоимости ремонтно-строительных работ от срока службы

Задача заключается в определении зависимости стоимости ремонтных работ от времени, обусловленной изменением технического состояния строительных элементов вследствие их деградации. Таким образом, методы планирования должны учитывать не только распределение ограниченных ресурсов, но и межремонтные циклы, находящиеся в плоскости прогнозирования изменения технического состояния. Связь стоимости работ и времени выявляется через анализ динамики деградации объектов.

Оптимизация ремонтного фонда требует интеграции моделей износа и ресурсных ограничений. При этом ключевой сложностью является согласование экономических и технических факторов в долгосрочном планировании. Научная новизна подхода заключается в разработке интегрированной модели, объединяющей прогнозирование технического состояния с оптимизационными алгоритмами распределения ремонтного фонда.

Существенным ограничением долгосрочного планирования капитального ремонта выступает отсутствие точных методов прогнозирования динамики

изменения технического состояния строительных элементов, обусловленное сложностью моделирования многофакторных процессов деградации материалов в реальных условиях эксплуатации.

Прогнозирование срока службы материалов, изделий и конструкций является критически важной задачей в строительстве, машиностроении и авиации, для решения которой применяются три группы методов: экспериментальные, расчетно-аналитические и комбинированные. Экспериментальные методы включают ускоренные испытания, моделирующие длительное старение в сокращенные сроки, натурные испытания с мониторингом реальных объектов и неразрушающий контроль с использованием ультразвуковой дефектоскопии и термографии. Расчетно-аналитические подходы основаны на детерминированных моделях, описывающих физико-химические процессы деградации, статистических методах учета случайных факторов, методе конечных элементов и алгоритмах машинного обучения. Комбинированные методы интегрируют экспериментальные данные и моделирование через метод аналогий, экспертные оценки и технологии цифровых двойников.

Все методы, так или иначе, сводятся к анализу натуральных характеристик и их изменению под действием эксплуатационных факторов. Точность прогноза зависит от правильного выбора ключевых параметров и адекватности модели их деградации.

Капитальный ремонт зданий предполагает восстановление или замену отдельных строительных элементов, при этом в рамках ремонта одного элемента (например, крыши, фасада или фундамента) могут затрагиваться разные архитектурно-строительные конструкции (Таблица 36).

Рассмотрим особенности формирования конструктивно технологических решений капитального ремонта жилищного фонда: ремонт крыши, фасада и фундамента (Таблица 67).

Таблица 72 – Классификация конструкций при капитальном ремонте

Тип ремонта	Конкретные элементы	Отнесение к группе	Остаточный уровень износа после ремонта
Ремонт крыши	Чердачные перекрытия, кровельное покрытие, стропильная система, водостоки, вентиляционные шахты, снегозадержатели	Долгоживущие сменяемые (ремонт в основном касается деревянных элементов) Короткоживущие сменяемые (кровля, водостоки)	Износ практически полностью устраняется при замене кровли и вспомогательных элементов. Динамика межремонтного цикла лучше всего описывается логистической зависимостью (постепенное накопление износа с последующим резким ухудшением).
Ремонт фасада	Наружные стены, балконы, лоджии, козырьки, архитектурные элементы, оконные и дверные блоки, водосточная система	Долгоживущие несменяемые (несущие стены) Долгоживущие сменяемые (балконы, козырьки) Короткоживущие сменяемые (окна, водостоки)	Основная часть износа приходится на долгоживущие несменяемые стены, которые ремонтируются частично. Полной замене подвергаются только короткоживущие элементы. Замена долгоживущих сменяемых конструкций (например, балконов) происходит редко.
Ремонт фундамента	Фундамент, отмостка, приямки, входы в подвалы, места ввода коммуникаций	Долгоживущие несменяемые (основной массив фундамента, кроме деревянных конструкций) Короткоживущие сменяемые (отмостка, гидроизоляция)	Большая часть элемента – долгоживущая несменяемая конструкция, а ремонту подлежат лишь локальные участки (например, поврежденная гидроизоляция). Прогнозирование износа осложнено из-за скрытого характера деградации.

Это усложняет прогнозирование их срока службы, поскольку:

- разные конструкции имеют различную долговечность (долгоживущие/короткоживущие);
- ремонтные мероприятия по-разному влияют на их износ (полная замена или частичное восстановление);
- натуральные параметры изменения технического состояния не всегда поддаются точному прогнозированию из-за сложности взаимовлияния элементов.

Наиболее распространенный метод количественной оценки состояния строительных элементов представлен нормативным документом, регламентирующим оценку технического состояния жилищного фонда, остается ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий» (1987 г.). Методика базируется на стоимостном подходе, при котором физический износ конструкций определяется соотношением стоимости ремонтно-восстановительных работ к стоимости нового

строительства. Для каждого элемента (крыша, стены, фундамент и т.д.) разработаны таблицы и графики износа, устанавливающие корреляцию между визуальными признаками деградации и процентом износа (Рисунок 55).

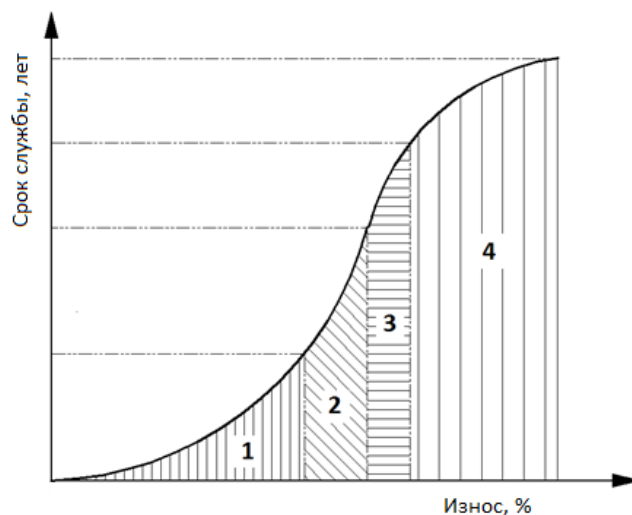


Рисунок 55 – График зависимости $I(t)$: 1 – состояние удовлетворительное; 2 – то же, неудовлетворительное; 3 – то же, ветхое; 4 – то же, аварийное.

Графики временной зависимости износа демонстрируют нелинейный характер деградации, аппроксимируемый логистической кривой, включающей три характерных этапа.

1. Медленная начальная фаза (адаптационный период), проявляющуюся 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.

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

$$I = \frac{T}{1 + e^{-k(i-i_0)}} \quad (13)$$

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

На форму кривой износа влияют такие факторы, как качество строительных материалов, климатические условия (мороз, влажность, УФ-излучение), эксплуатационные и динамические нагрузки. Своевременность проведения ремонтных мероприятий способна изменять точку перехода к ускоренному разрушению.

Этот подход помогает перейти от субъективных оценок к количественному анализу. Методика ВСН 53-86(р) устанавливает принципиальную взаимосвязь между износом конструкций и их эксплуатационной надежностью, базируясь не на оценке физико-механических характеристик материалов, а на анализе экономической целесообразности их дальнейшей эксплуатации, где ключевыми критериями выступают: ремонтпригодность как способность элемента к восстановлению без полной замены; стоимостной показатель ремонтных работ, при превышении 60-70% от стоимости нового строительства признающий элемент непригодным к эксплуатации; а также периодичность выполнения восстановительных мероприятий, прямо коррелирующая с уровнем надежности строительной конструкции. Несмотря на широкое применение, подход ВСН 53-86(р) имеет недостатки:

- *устаревшие нормативы* – не учитывает современные материалы и технологии;
- *упрощенная модель износа* – логистическая кривая не всегда соответствует реальным процессам (например, коррозии фундамента в агрессивных средах);
- *субъективность оценки* – процент износа часто определяется визуально, без инструментальных измерений;
- *игнорирование локальных дефектов* – методика не всегда отражает неравномерность деградации (например, трещины в несущих стенах).

Ввиду длительности процесса экспериментальные исследования для долговечных элементов требуют многолетнего (до 50 и более лет) непрерывного мониторинга. Необходимость получения усреднённых значений показателей вынуждает

отслеживать техническое состояние значительного количества объектов, что существенно усложняет реализацию метода. При ограниченном числе исследуемых объектов это дополнительно снижает точность модели.

Однако данное обстоятельство не является главным препятствием для применения метода при прогнозировании межремонтных циклов в задачах капитального ремонта.

Представленная логистическая кривая, даже при условии корректного прогнозирования и построения, не соответствует методологии постоянного мониторинга и системе ремонтов по следующим причинам. Во-первых, в реальных условиях капитальные ремонтные работы, проводимые при достижении 20-40% износа, препятствуют достижению конструкциями 100% износа, что делает невозможным построение классической S-образной логистической кривой – доступны для наблюдения лишь начальный и средний участки, тогда как фаза насыщения искусственно прерывается ремонтными вмешательствами.

Во-вторых, износ определяется как отношение стоимости ремонтных работ к стоимости нового строительства, однако ремонт не приводит к полному обнулению показателя износа. При этом непосредственно после проведения капитального ремонта невозможно определить ни виды выполненных работ, ни их стоимость, а следовательно, и степень снижения износа, поскольку все необходимы работы уже проведены. Оценка становится возможной лишь при следующем ремонтном цикле, когда вновь определяется стоимость капитального ремонта. Таким образом, прогнозирование располагает лишь начальной точкой (0% износа) и точками принятия решения о проведении ремонта. Данные об износе доступны исключительно в моменты принятия решений о проведении ремонтов. Это означает наличие:

- начальной точки (0% износа), соответствующей новому строительству;
- точек принятия решений о ремонте (например, при 20%, 40%, 60% износа), что исключает возможность точного прогнозирования максимального срока эксплуатации;
- отсутствия возможности измерить процент снижения износа после ремонта, поскольку стоимость работ в этот момент равна нулю.

Для короткоживущих элементов капитальный ремонт предполагает их физическое восстановление путем замены на новые аналогичные конструкции. Однако практическая реализация программ капитального ремонта в рамках предупредительной эксплуатации подразумевает, что ремонтные работы чаще всего охватывают не все элементы конструкции, что приводит к значительному варьированию стоимости ремонтных работ.

В случае долгоживущих несменяемых элементов капитальный ремонт, по существу, не предусматривает их полную замену. Накопление дефектов продолжается в течение всего срока эксплуатации здания, и капитальный ремонт фактически сводится к поддерживающим мероприятиям. При этом объединение в единой конструктивно-технологической системе как долгоживущих, так и короткоживущих элементов делает неприменимым использование логистических кривых приведенных в ВСН 53-86р как для планирования сроков, так и для оценки стоимости будущих ремонтов.

Таким образом, совокупность ограничений существующих моделей прогноза технического состояния включает:

1. *Гетерогенность конструктивных элементов.* В составе одного элемента (например, фасада) сочетаются долгоживущие несменяемые (стены) и короткоживущие сменяемые (оконные блоки) компоненты, что исключает единообразный подход к оценке износа.

2. *Ограниченная результативность ремонтных мероприятий.* Капитальный ремонт часто не устраняет износ несменяемых конструкций (фундаменты, несущие стены), а лишь замедляет процесс их деградации.

3. *Сложность количественной оценки физических параметров.* Для долгоживущих несменяемых элементов (например, фундаментов) отсутствуют четкие критерии полного износа, поскольку их деградация обусловлена множеством скрытых факторов (грунтовые воды, вибрационные воздействия, химические процессы).

4. *Разнородность моделей деградации.* Для короткоживущих элементов (кровельные покрытия, водосточные системы) применимы логистические или

экспоненциальные модели (характеризующиеся резким нарастанием износа после определенного срока). Для долгоживущих элементов (стены, фундаменты) характерны линейные или степенные зависимости, но с существенным разбросом экспериментальных данных.

Таким образом, хотя ВСН 53-86(р) устанавливает базовые принципы стоимостного подхода к оценке износа, где ключевым критерием выступает экономическая эффективность восстановления, а не физическая деградация, современные условия требуют адаптации методики с акцентом на методы мониторинга и формализацию технического состояния строительных элементов здания.

Основой для планирования ремонтных работ служат объективные данные об объемах и стоимости работ, зафиксированные при выявлении критических эксплуатационных дефектов, выраженных количественными показателями износа, а не абстрактными процентными величинами. Задача прогнозирования заключается в определении момента достижения критического уровня дефектов и оценке стоимости их устранения. При этом на каждом этапе планирования невозможно точно определить стоимость нового строительства отдельного элемента, поскольку объект был построен давно с использованием специфичных для того периода материалов и технологий, а неизбежное удорожание строительных работ добавляет неопределённости.

Основная проблема методологии ВСН 53-86(р) заключается в отсутствии четкого физического смысла у процентных показателей износа, особенно для долговечных конструктивных элементов. Указанный в нормативах износ конструкции на 40% формально предполагает необходимость выполнения строительно-монтажных работ на сумму 40% от стоимости нового строительства (фундаментов, стен или перекрытий). Однако такой подход содержит принципиальные противоречия – теоретически столь значительные капитальные вложения должны полностью устранять износ, но практически этот принцип не реализуем. Процентное соотношение стоимости ремонта к стоимости нового строительства:

- носит условный характер;
- не отражает фактического технического состояния конструкций;

– содержит методологическую ошибку в самой постановке критерия.

Фактически, нормативный показатель износа не имеет практического значения для оценки реального состояния строительных элементов и определения необходимого объема ремонтных работ.

Таким образом, для практического применения исследованию должна подвергаться не соотношение стоимости ремонтных работ и нового строительства, а нормализованная величина стоимости ремонтных работ. При этом моделирование динамики дефектов по логистической зависимости является достаточно обоснованным. В этом случае построение логистической кривой будет основано на трех ключевых точках:

- начальная точка (0) – состояние нового строительного элемента;
- точка ускорения роста стоимости ремонтных работ;
- максимальная стоимость ремонтных работ.

Можно выделить два метода аппроксимации зависимости «затраты на ремонт – срок службы» для различных постановок задачи (Таблица 73):

- для случая ограниченных данных (три ключевые точки);
- для случая наличия полного массива экспериментальных данных.

Таблица 73 – Сравнительная таблица методов построения логистической кривой

Критерий	Метод трех точек (аналитический)	Нелинейная регрессия (итеративный)
Формулировка задачи	Аппроксимация логистической зависимости «износ-срок службы» по трем ключевым точкам	Точная подгонка логистической кривой по всем доступным данным методом оптимизации
Необходимые данные	3 ключевые точки: (C_1, T_1) $(C_0, \frac{L}{2})$ $(C_{\text{крит}}, T \approx 0)$	Все доступные точки данных (C_i, T_i) (чем больше, тем точнее)
Формула модели	$T = \frac{L}{1 + e^{k(C-C_0)}}$	$T = \frac{L}{1 + e^{k(C-C_0)}}$ (аналогичная, но с уточнёнными параметрами)
Алгоритм расчёта параметров	8. Определить L (из T_1 или асимптоты). 2. Найти C_0 (точка перегиба). 3. Вычислить k через критическую точку: $k = \frac{1}{C_{\text{крит}} - C_0} \ln \left(\frac{L}{T_{\text{крит}}} - 1 \right)$	1. Задать начальные приближения $L^{(0)}, k^{(0)}, C_0^{(0)}$. 2. Линеаризовать модель вокруг текущих параметров. 3. Решить систему $J^T J \Delta p = J^T (T - T^{(n)})$. 4. Обновить параметры: $p^{(n+1)} = p^{(n)} + \Delta p$ 5. Повторять, пока SSE не сойдётся.
Точность	Низкая (грубая оценка)	Высокая (оптимизирует ошибку по всем точкам)
Сложность	Простота (вычисления вручную)	Сложнее (требует итераций и программирования)
Инструменты	Калькулятор, Excel	Python (scipy.optimize.curve_fit), MATLAB, R
Рекомендации к применению	- Мало данных - Нужна быстрая оценка	- Много данных - Требуется высокая точность
Плюсы	- Быстро - Понятная логика	- Точность - Учёт всех данных
Минусы	- Чувствительность к выбору точек - Не учитывает все данные	- Требует вычислительных ресурсов - Риск переобучения

Метод трех точек обеспечивает быстрое аналитическое решение, в то время как нелинейная регрессия позволяет достичь максимальной точности за счет итеративной оптимизации параметров модели по всем доступным данным. Выбор метода определяется как объемом имеющихся данных, так и требуемой точностью расчетов.

Ограничения применения логистической модели для прогнозирования сроков службы строительных элементов

Модель демонстрирует удовлетворительную прогностическую способность только при соблюдении строгих условий: отсутствии ремонтных вмешательств в наблюдаемом периоде, стабильности эксплуатационных параметров и сохранении первоначальных характеристик материалов.

Для обеспечения достоверных прогнозов необходимо формирование полной истории ремонтных воздействий, учет всех предыдущих вмешательств при калибровке модели, применение адаптивных методов оценки параметров при наличии пропущенных данных, а для объектов с неизвестной историей – использование консервативных оценок с поправкой на возможные предыдущие ремонты.

Таким образом, логистическая модель применима для прогнозирования только при наличии полной информации об эксплуатационной истории объекта и отсутствии неучтенных ремонтных воздействий.

В практических условиях эксплуатационные организации располагают лишь ограниченным временным рядом данных о динамике стоимости ремонтных работ, что исключает возможность точного определения начальной и конечной точек логистической зависимости. Теоретически, в данном случае возможно применение нелинейных методов моделирования, однако следует учитывать, что под воздействием периодических ремонтных воздействий логистическая кривая для каждого конструктивного элемента приобретает индивидуальные характеристики.

С методологической точки зрения, построение подобных моделей сопряжено со значительными сложностями:

- вычислительная сложность нелинейных расчетов существенно повышает трудоемкость анализа;

- физическая интерпретация параметров модели становится затруднительной;
- необходимость разработки индивидуальных зависимостей для каждого элемента конструкции.

При этом классический метод аппроксимации по трем точкам оказывается неприменимым ввиду отсутствия необходимых исходных данных.

Учитывая изложенные ограничения, прямое использование логистической зависимости в ее канонической форме представляется невозможным. Однако возможна разработка адаптированной методики, учитывающей специфику строительного производства на этапе эксплуатации объектов. Для преодоления ограничений предлагается модифицированный подход, основанный на следующих принципах:

1. Стоимостной подход для сложных строительных конструкций остается методологически обоснованным, однако требует перехода от относительных показателей (стоимости ремонта к стоимости нового строительства) к использованию абсолютных значений стоимости строительных работ.

2. Стоимость восстановительных работ при отсутствии своевременных ремонтных мероприятий имеет устойчивую тенденцию к росту, что соответствует логистической зависимости. То есть динамика изменения степени деградации строительного элемента в межремонтные периоды гипотетически соответствует фазам логистической кривой [153].

Для комплексной оценки технического состояния строительных конструкций предлагается методология фазового анализа, основанная на логистической модели износа. Анализ деградации строительных конструкций основан на статистической обработке ретроспективных данных о стоимости ремонтных работ, позволяющей идентифицировать ключевые фазы износа без построения полной логистической кривой. Посредством расчета годовых коэффициентов роста стоимости (k_t), их среднего геометрического значения ($\bar{k}$) и относительных отклонений (Δk_t) устанавливаются три характерные фазы деградации: начальная, ускоренная и критическая. Данный подход обеспечивает раннее выявление элементов с нелинейным ростом затрат на восстановление [153, 156].

Алгоритмы выявления фазы ускоренного роста и фазы стабилизации дефектов по историческим данным представлен в ПРИЛОЖЕНИИ Ж.

6.3 Алгоритм оптимизации плана капитального ремонта на основе фазово-логистической зависимости стоимости ремонтно-строительных работ от срока службы

1. Постановка задачи и исходные данные

Задача оптимизации плана капитального ремонта формулируется следующим образом: требуется найти такой план ремонтных работ на период K лет, который минимизирует суммарные затраты с учетом ограниченного бюджета, фаз износа объектов и минимального интервала между ремонтами. Исходными данными для решения задачи являются: множество объектов ремонта $E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$, где $N \leq 20$; ретроспективные данные о стоимости ремонта $c_i(t)$ для $t \in \{1, 2, \dots, T\}, i \in E$; ежегодные взносы в фонд капитального ремонта $B_{\text{год}} = \text{const}$; начальный накопленный фонд $F(0) = F_0$.

Требуется найти оптимальный план ремонтов на K лет ($K = 10$), минимизирующий суммарные затраты с учетом:

1) Ограниченного бюджета:

$$\sum_{i \in A(t)} c_i(t) \leq F(t), \forall t \in \{1, \dots, K\} \quad (14)$$

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

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

2. Расчет коэффициентов роста стоимости для каждого объекта e_i

1) Годовые коэффициенты роста стоимости:

$$k_i(t) = \frac{c_i(t)}{c_i(t-1)}, t \in \{2, \dots, T\} \quad (15)$$

2) Средний коэффициент роста:

$$\bar{k}_i = \left(\prod_{t=2}^T k_i(t) \right)^{\frac{1}{T-1}} \quad (16)$$

3) Коэффициент ускорения износа (приоритет ремонта):

$$\Delta k_i(t) = \frac{k_i(t)}{\bar{k}_i} \quad (17)$$

Если $\Delta k_i(t) > 1$, объект переходит в фазу ускоренной деградации. Чем выше значение $\Delta k_i(t)$, тем выше приоритет выполнения ремонта данного объекта.

3. Прогнозирование стоимости ремонта

Для каждого объекта e_i и года $t \in \{T+1, \dots, T+K\}$ прогнозируемая стоимость ремонта вычисляется по формуле:

$$c_i(t) = c_i(t-1) \cdot \bar{k}_i \cdot (1 + \lambda(\Delta k_i(t) - 1)) \quad (18)$$

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:

$$c_i(t) \leq 1.15 \cdot c_i(t_{\text{рем}}), t \in \{t_{\text{рем}} + 1, \dots, t_{\text{рем}} + 3\} \quad (19)$$

4. Динамическое программирование для оптимизации плана

Состояние системы:

$$E'(t) = (F(t), \{e_i\}_{\text{не отремонтированные}}) \quad (20)$$

Рекуррентное уравнение Беллмана:

$$V(t, F, E') = \min_{\substack{A \subseteq E' \\ \sum_{i \in A} c_i(t) \leq F}} \left\{ \sum_{i \in A} c_i(t) + V\left(t+1, F + B_{\text{год}} - \sum_{i \in A} c_i(t), E' \setminus A\right) \right\} \quad (21)$$

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:

– если $t > K$, то $V(t, F, E') = 0$;

– если $E' = \emptyset$, то $V(t, F, \emptyset) = 0$.

5. Принятие решений и упрощенная реализация

1) Ранжирование объектов по приоритету:

$$\text{Приоритет } (e_i) = \Delta k_i(t) \cdot c_i(t) \quad (22)$$

2) Выбор ремонтов на год t :

Выбираем объекты с максимальным приоритетом, пока не исчерпаем бюджет $F(t)$. Если объект был отремонтирован в последние 3 года, он исключается из рассмотрения.

Упрощенная реализация (жадный алгоритм)

Если $N \leq 20$, можно использовать жадный метод с учетом:

1) Ограничения бюджета:

$$\sum_{i \in A(t)} c_i(t) \leq F(t) = F_0 + t \cdot B_{\text{год}} \quad (23)$$

2) Правила выбора ремонтов:

Объекты сортируются по убыванию $\Delta k_i(t)$ и последовательно выбираются для ремонта до исчерпания бюджета. Невыполненные работы переносятся на следующий год.

3) Анализ результатов и преимущества алгоритма

Алгоритм обеспечивает нахождение оптимального плана капитального ремонта с учетом всех заданных ограничений. Ключевые преимущества метода включают: учет ускоренного износа объектов через коэффициент $\Delta k_i(t)$; оптимизацию использования бюджета с помощью динамического программирования; гарантированное выполнение ремонтных работ без дефицита финансовых средств; возможность учета минимального интервала между ремонтами объектов.

Алгоритм может быть реализован как в полной версии с использованием динамического программирования для точного решения, так и в упрощенной версии с применением жадного алгоритма для случаев с небольшим количеством объектов ($N \leq 20$).

Пример реализации см. в ПРИЛОЖЕНИИ 3.

Стратегия планирования ремонтов на основе фаз логистической кривой износа

Методология оптимизации инвестиционно-строительного планирования через фазовый анализ износа основана на логистической модели деградации строительных элементов и позволяет (Таблица 74):

- дифференцировать взносы в фонд капитального ремонта;
- приоритезировать восстановительные мероприятия;
- выявлять критические элементы для безотлагательного вмешательства.

Таблица 74 – 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 $kt=1.2 \rightarrow$ 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:

$$\text{Решение} \begin{cases} \text{Плановый ремонт, если } \Delta k_t < 1,05 \\ \text{Срочный ремонт, если } 1,05 \leq \Delta k_t \leq 1,2 \\ \text{Замена / снос, если } (\Delta k_t \approx 1) \wedge c_t \gg c_{\text{норм}} \end{cases} \quad (24)$$

Таким образом, стратегия фазового подхода к управлению техническим состоянием включает:

1. *Первая фаза (медленный износ)* – оптимальный период для плановых профилактических работ с минимальными затратами.

2. *Вторая фаза (ускоренная деградация)* требует срочного ремонта из-за экспоненциального роста стоимости (до 70% за 3 года) и высокого риска превышения лимитов финансирования.

3. *Третья фаза (насыщение)* – критическое состояние, характеризующееся стоимостью ремонта в 2-3 раза выше нормативной превышением 80% нормативного срока службы. Для короткоживущих элементов (кровля, инженерные системы) – обязательная замена в 1-2 года, для долгоживущих конструкций (фундамент) – экспертиза и подготовка к сносу.

4. *Быстрый возврат во вторую фазу после ремонта.*

Объективному контролю в рамках постоянного мониторинга подлежат стоимостные показатели каждого ремонтного цикла и периодичность выполнения работ. Выдвигаемая гипотеза предполагает сокращение последующих межремонтных циклов при повторном капитальном ремонте, поскольку восстановительные работы не устраняют полностью накопленный износ конструкции. Следовательно, после каждого цикла элемент сохраняет более высокий уровень износа по сравнению с предыдущей итерацией, что приближает его состояние к фазе ускоренного развития деформаций, поскольку внутренняя деградация материалов продолжает прогрессировать, предположительно следуя логистической зависимости, несмотря на проведение поддерживающих мероприятий. Следовательно следующий межремонтный период становится короче предыдущего.

Таким образом, быстрый возврат во вторую фазу после ремонта свидетельствует о необратимых дефектах (для короткоживущих элементов – полная замена) и исчерпании ресурса (для долговечных конструкций – подготовка к выводу из эксплуатации).

Практическая ценность методики состоит в эффективное распределение ограниченных ресурсов, предотвращение аварийных ситуаций и минимизация

совокупных затрат на жизненный цикл здания. Методика особенно эффективна для критических инженерных систем (газо- и водоснабжение) и короткоживущих конструктивных элементов с коэффициентами деградации $\Delta k_t > 1,1$.

Практические рекомендации по внедрению фазового подхода к управлению техническим состоянием объектов

1) Для управляющих компаний и эксплуатационных служб:

- внедрить в систему ежегодного технического аудита обязательный мониторинг коэффициентов деградации (Δk_t) по всем конструктивным элементам зданий;
- при выявлении перехода в фазу ускоренной деградации ($\Delta k_t > 1,1$) предусматривать финансовый резерв от прогнозируемой стоимости восстановительных работ;
- разработать регламент оперативного реагирования при достижении критических значений износа.

2) Для собственников помещений:

- при диагностировании фазы насыщения (3-я фаза) у несущих строительных конструкций в обязательном порядке инициировать проведение независимой технической экспертизы с привлечением аккредитованных специалистов;
- рассматривать возможность досрочного формирования резервного фонда для капитального ремонта или реконструкции.

3) Для проектных и изыскательских организаций:

- интегрировать данные о фазовом состоянии износа строительных конструкций в расчеты остаточного ресурса зданий;
- использовать параметры деградации (Δk_t) при обосновании сроков проведения реконструкции, разработке технико-экономических показателей проектов и составлении долгосрочных прогнозов эксплуатационных затрат.

Методика включает два этапа планирования ремонтных работ:

Первичный этап анализа технического состояния применяется на начальной стадии применяется жадный алгоритм приоритезации для обработки первичного датасета о техническом состоянии объектов. Данный подход позволяет

оперативно идентифицировать критические элементы, сформировать предварительный перечень восстановительных мероприятий и сроки выполнения работ.

Оптимизационный этап динамического моделирования предполагает углубленный анализ на основе динамических данных об изменении технического состояния, показателей скорости нарастания износа и относительных стоимостных параметров (на единицу измерения конструкции). Планирование ремонтных работ привязывается не к календарным срокам, а к фазовым переходам, с обязательным выполнением работ в начальный период фазы ускоренного износа (Таблица 75).

Таблица 75 – Алгоритм методологии организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта жилищного фонда

Этап	Основные задачи	Методы и инструменты	Результаты
1. Формирование системы оценки и базы данных	- Разработка унифицированных критериев оценки технического состояния - Декомпозиция строительных элементов согласно ст. 166 ЖК РФ - Создание реестра объектов с поэлементной оценкой	- Многокритериальный анализ - Систематизация нормативных требований - Классификация дефектов	- Унифицированная система оценки - Структурированная база данных строительных элементов
2. Мониторинг и анализ технического состояния	- Обследование объектов жилищного фонда - Оценка технического состояния поэлементно - Сметные расчеты стоимости ремонтов	- Экспертные обследования - Методы количественной оценки дефектов - Сметное нормирование	- База данных технического состояния - Сметные расчеты для обучения модели
3. Обучение прогнозной модели	- Формирование модели «дефекты-работы-стоимость» - Обучение алгоритмов машинного обучения	- Машинное обучение - Регрессионный анализ - Кластерный анализ	- Обученная прогнозная модель - Верифицированные зависимости
4. Краткосрочное планирование	- Определение работ для текущего периода - Приоритезация объектов ремонта - Формирование краткосрочного плана	- Методы оптимизации - Динамическое программирование - Приоритизация по стоимости и критичности	- Утвержденный план работ на период - Сметная документация
5. Долгосрочное прогнозирование	- Разработка условных прогнозов - Формирование долгосрочной программы - Оптимизация финансовых потоков	- Прогнозные модели - Сценарное планирование - Анализ временных рядов	- Долгосрочная программа капитального ремонта - План финансирования
6. Мониторинг и актуализация	- Повторный мониторинг технического состояния - Оценка динамики изменений - Переобучение модели	- Сравнительный анализ данных - Машинное обучение - Индексация цен	- Актуализированная база данных - Обновленная прогнозная модель
7. Корректировка программ	- Уточнение краткосрочных планов - Актуализация долгосрочной программы - Выбор приоритетных работ	- Динамическое планирование - Анализ рисков - Методы оптимизации	- Скорректированные программы - Уточненные приоритеты

Оптимизация системы планирования капитального ремонта жилищного фонда предполагает концентрацию на краткосрочном планировании, что обеспечивает оперативное выявление объектов, требующих срочного восстановительного вмешательства. При этом долгосрочная программа выполняет функцию стратегического ориентира и подлежит регулярной актуализации на основе мониторинга технического состояния.

Такая конфигурация системы капитального ремонта позволяет оперативно реагировать на изменения технических характеристик жилищного фонда, интегрируя данные о динамике формирования ремонтного фонда и данные фактического технического состоянии объектов

Для обеспечения эффективного управления капитальным ремонтом необходимо разработать единый регламент обследования, строго согласованный с нормативными сроками эксплуатации конструктивных элементов. В отношении короткоживущих компонентов (кровельные системы, инженерные коммуникации и оборудование) обязательным является формирование актуализированной базы данных с периодичностью не реже одного раза в 3 года, что соответствует циклу краткосрочного планирования восстановительных мероприятий. Для долговечных конструкций (несущие стены, фундаменты) допустимо установить более продолжительные периоды между осмотрами, обусловленные низкой скоростью деградиационных процессов.

Однако подобная дифференциация частоты мониторинга сопряжена с существенными рисками:

- запаздыванием в выявлении прогрессирующих дефектов в быстросареющих компонентах сложных строительных систем;
- возможностью пропуска критической фазы ускоренного износа, характеризующейся нелинейным ростом деструктивных изменений;
- снижением точности прогнозирования остаточного ресурса конструкций.

Научно обоснованный подход требует разработки адаптивной системы мониторинга, учитывающей как фактическую динамику деградации различных типов конструкций, так и экономическую целесообразность частоты обследований.

Значительно возрастает функциональная роль регионального оператора, который осуществляет централизованное управление процессом, несет ответственность за своевременность выполнения работ и обеспечивает прозрачность принятия решений

Такой подход позволяет:

- формировать научно обоснованные рекомендации по приоритезации работ;
- разрабатывать механизмы финансового стимулирования;
- минимизировать риски переноса сроков выполнения работ;
- снижать финансовую нагрузку на собственников помещений.

Научная новизна подхода заключается в создании адаптивной системы управления, сочетающей оперативное реагирование с долгосрочным стратегическим планированием на основе комплексного анализа технико-экономических показателей.

Реализация данной модели способствует повышению эффективности использования средств ремонтного фонда при одновременном снижении административной нагрузки на участников процесса.

6.4 Оценка эффективности методологии организационно-технологического проектирования и инвестиционно-строительного планирования при реализации региональных программ капитального ремонта жилищного фонда

Проведенный анализ показал, что традиционные методы организационно-технологического проектирования (определение состава работ) и инвестиционно-строительного планирования (оценка стоимости и сроков) демонстрируют ограниченную применимость для массовых расчетов ввиду существенных методологических недостатков: сложности сбора исходных данных, трудоемкости обработки информации и низкой точности прогнозирования стандартными аналитическими методами.

Предлагаемая методология обеспечивает синергетический эффект за счет комплексного учета ключевых факторов:

- автоматизации процессов сбора и обработки данных о техническом состоянии объектов;
- применения адаптивных алгоритмов прогнозирования, учитывающих нелинейную динамику износа строительных конструкций;
- интеграции экономических и технических параметров в единой расчетной модели.

1. Экономический эффект от оптимизации системы инвестиционно-строительного планирования

Ключевой проблемой при планировании капитального ремонта является существенный рост стоимости работ в точке перегиба кривой износа, обусловленный не только прогрессирующей деградацией самого элемента, но и сопряженных с ним конструктивных систем. Отсутствие эффективных методов непрерывного мониторинга, точного прогнозирования накопления дефектов в денежном выражении и приоритезации расходования ограниченных финансовых ресурсов приводит к критическим последствиям. Запоздывание с выполнением работ в оптимальный период (до точки перегиба логистической кривой стоимости ремонтных работ) ведет к необходимости более масштабных вмешательств, резкому увеличению сметной стоимости и риску возникновения аварийных ситуаций. При этом накопленные средства фонда капитального ремонта подвергаются негативному воздействию инфляции.

В рамках исследования проведено сравнение трех методов планирования капитального ремонта на примере тестового объекта с учетом:

- динамики стоимости ремонтных работ по 8 конструктивным элементам за 6 лет;
- ежегодных взносов в фонд капитального ремонта ($B = 966\,868$ руб.);
- накопленного фонда капитального ремонта на дату начала прогноза ($F(0) = 3\,718\,598$ руб.).

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 (Таблица 76, Таблица 77).

Таблица 76 – 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 77 – 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	-

На основе проведенного сравнения результатов планирования различными методами можно сделать следующие выводы:

Оптимальность затрат:

- динамическое программирование обеспечивает минимальные суммарные затраты (10,49 млн руб.) и максимальный остаток фонда (2,9 млн руб.);
- жадный алгоритм увеличивает затраты на 24% (13,09 млн руб.), но сохраняет простоту;
- случайный выбор в среднем дороже жадного метода на 4% и имеет риск невыполнения работ.

Надежность:

- только динамическое программирование и жадный метод гарантируют 100% выполнение ремонтов;
- при случайном выборе в 22% случаев остаются неотремонтированные объекты.

Рекомендации:

- для точного планирования использовать динамическое программирование (если доступны вычислительные ресурсы);
- для оперативных решений подходит жадный алгоритм (баланс простоты и результативности);
- случайный выбор не рекомендуется из-за непредсказуемости итоговых затрат.

Наилучший результат достигается при оптимизации через динамическое программирование, однако жадный алгоритм может быть практичным компромиссом.

Для количественного сравнения методов предлагается интегральный показатель эффективности:

$$E = \frac{\text{Выполнение плана}}{\alpha \cdot \text{Затраты} + \beta \cdot \text{Дефицит} + \gamma \cdot \text{Сложность}} \quad (25)$$

где (Таблица 78):

Таблица 78 – Компоненты формулы

Параметр	Обозначение	Расчет	Весовой коэффициент
Выполнение плана	P	$P = 1 - \frac{\text{Кол. – во неотрем. объектов}}{N}$	1 (нормирующий)
Затраты	C	$C = \frac{\text{Суммарные затраты}}{\text{Бюджет за 10 лет}}$	$\alpha = 0,6$
Дефицит	D	$D = \frac{\text{Макс. дефицит в годах}}{K}$	$\beta = 0,3$
Сложность	S	$S = \frac{(\text{Число вычислит. операций})}{(\text{Базовый уровень})}$	$\gamma = 0,1$

Исходные данные для расчета: Бюджет за 10 лет: $V_{\text{total}} = 3\,718\,598 + 10 \cdot 966\,868 = 13\,387\,278$ руб.

Базовый уровень сложности: 10^6 операций (Таблица 79).

Таблица 79 – Расчет эффективности E

Метод	P	C	D	S	Эффективность E
Динамическое	1,0	$\frac{10,49}{13,39} = 0,78$	0	10	$\frac{1}{0,6 \cdot 0,78 + 0,1 \cdot 10} = 1,02$
Жадный	1,0	$\frac{13,09}{13,39} = 0,98$	0	3	$\frac{1}{0,6 \cdot 0,98 + 0,1 \cdot 3} = 1,16$
Случайный (среднее)	0,78	$\frac{12,50}{13,39} = 0,93$	$\frac{2,2}{10} = 0,22$	1	$\frac{0,78}{0,6 \cdot 0,93 + 0,3 \cdot 0,22 + 0,1 \cdot 1} = 0,91$

Интерпретация результатов:

- *динамическое программирование* ($E=1,02$): максимальная точность, но теряет в эффективности из-за высокой вычислительной сложности ($S=10$);
- *жадный алгоритм* ($E=1,16$): оптимален по эффективности: баланс между затратами ($C=0,98$) и простотой ($S=3$);
- *случайный выбор* ($E=0,91$): проигрывает из-за риска дефицита ($D=0,22$) и перерасхода ($C=0,93$).

Для адаптации к конкретным условиям производства работ, возможности применения современных инструментов программирования изменяем весовые коэффициенты:

- приоритет стоимости увеличить α до 0,8;
- важность надежности поднять β до 0,5;

Пример для строгого контроля бюджета ($\alpha = 0,8, \beta = 0,1, \gamma = 0,1$):

$$E_{strict} = 0,8C + 0,1D + 0,1SP \Rightarrow E_{\text{динамическое}} = 1,25 \quad (26)$$

Предложенная формула учитывает экономические (затраты), технические (выполнение плана) и операционные (сложность) факторы. Позволяет численно обосновать выбор метода:

- для гарантированного результата – *динамическое программирование*;
- для практического применения – *жадный алгоритм*.

2. Оптимизация системы технического непрерывного мониторинга и обследования строительных объектов

Рациональное использование ресурсов прежде всего предполагает научно обоснованное формирование перечня объектов, требующих технического

обследования. Методология предусматривает исключение избыточных обследований для зданий, находящихся в нормативном или работоспособном состоянии, что достигается через:

1) Совершенствование долгосрочной региональной программы капитального ремонта с регулярной актуализацией данных, позволяющей распределять работы по конструктивным элементам согласно их текущему техническому состоянию, учитывать прогнозируемую динамику изменения характеристик и минимизировать затраты на обследования при корректировке сроков ремонта

2) Систематическое выявление в процессе эксплуатационного контроля объектов с ограниченной работоспособностью, аварийных зданий с последующим обоснованием необходимости их углубленного обследования

3) Повышение эффективности использования трудовых ресурсов за счет сокращения рутинных процедур обследования, перераспределения специалистов на приоритетные направления путем автоматизации процессов сбора и анализа данных

3. Оптимизация планирования ремонтных затрат и исключение избыточных работ

Несмотря на то, что предварительная оценка избыточных работ и их влияния на стоимость представляется затруднительной, корректность определения сметных показателей обеспечивается экспертным контролем, рыночным обоснованием стоимости и прогнозированием.

Экспертный контроль перечня работ и их стоимости на основе выявленных дефектов позволяет исключать работы, нехарактерные для кластера, к которому относится объект, обосновывать необходимость специфичных ремонтных мероприятий в адресном порядке

Рыночное обоснование стоимости, зафиксированной в исходных данных модели, достигается за счет проведения конкурсных процедур и верификации ценовых показателей.

Прогнозная аналитика краткосрочного плана демонстрирует (Таблица 77), что предлагаемая методика существенно оптимизирует планируемые затраты на восстановительные мероприятия, превосходит стандартные методы прогнозирования по точности и обеспечивает эффективное распределение ограниченных ресурсов.

Вывод по Главе 6

На основе содержания главы можно сделать вывод, что разработана и математически обоснована методика инвестиционно-строительного планирования, которая принципиально меняет подход к распределению средств фонда капитального ремонта, переводя его с интуитивно-случайной на научно-оптимизационную основу. Было выявлено и доказано, что ключевым фактором для планирования является нелинейный характер деградации строительных элементов, аппроксимируемый логистической кривой с тремя характерными фазами (медленного износа, ускоренной деградации и стабилизации). Значимость данного вывода заключается в создании формализованной фазово-логистической модели, которая описывает динамику изменения стоимости ремонтных работ в зависимости от срока службы и позволяет количественно определять момент перехода объекта в критическую фазу износа с помощью коэффициента ускорения $\Delta k_i(t)$. Практическая реализуемость заключается в том, что органы управления жилищным фондом получают четкий математический аппарат и критерии (например, « $\Delta k_i(t) > 1.1$ в течение двух лет подряд») для идентификации объектов, требующих срочного вмешательства, что позволяет предотвратить экспоненциальный рост затрат и аварийные ситуации.

Определено и доказано превосходство метода динамического программирования для решения задачи оптимизации распределения ограниченного бюджета, который обеспечивает минимальные суммарные затраты при 100%-м выполнении плана ремонтов. В ходе сравнительного моделирования было установлено, что данный метод, основанный на рекуррентных уравнениях Беллмана, позволяет сэкономить до 25% средств по сравнению с «жадным алгоритмом» и до 30% по сравнению со случайным выбором, который имитирует текущую практику. Научная ценность

этого вывода заключается в успешной адаптации и применении классического метода дискретной оптимизации к специфической задаче долгосрочного планирования ремонтов с учетом динамически меняющейся стоимости и фаз износа. Практическая реализация данного вывода, несмотря на высокую вычислительную сложность, возможна в виде программного модуля для региональных операторов капремонта, который будет формировать многолетний оптимизированный план работ, максимизируя количество отремонтированных объектов в рамках выделенного фонда и минимизируя совокупные затраты в долгосрочной перспективе.

Разработана и предложена к внедрению адаптивная система мониторинга технического состояния, которая дифференцирует периодичность обследований для короткоживущих и долговечных конструкций, но при этом минимизирует риски запаздывания в выявлении дефектов. Обосновано, что для короткоживущих элементов (кровля, инженерные системы) база данных должна актуализироваться не реже одного раза в 3 года, что соответствует циклу краткосрочного планирования. Значимость этого вывода заключается в решении дилеммы между экономической целесообразностью (снижение затрат на мониторинг) и технической надежностью (своевременное выявление ускоренного износа) за счет научно обоснованной дифференциации. На практике это позволяет региональному оператору разработать единый регламент обследований, оптимально распределить ресурсы на диагностику и создать непрерывный поток данных для актуализации прогнозных моделей, обеспечивая непрерывный цикл управления.

Установлено, что реализация предложенной методологии создает предпосылки для системного повышения эффективности региональных программ капремонта, что выражается в повышении обоснованности решений, прозрачности процесса и оптимизации использования средств. Эффективность методики доказана через достижение конкретных результатов: исключение избыточных работ, минимизация риска дефицита фонда и создание измеримых KPI. Научная новизна подхода заключается в интеграции организационно-технологического проектирования (глава 5) и инвестиционно-строительного планирования (глава 6) в единую систему поддержки принятия решений. Практическая ценность заключается в том, что

внедрение данной методологии позволяет перейти от оперативного устранения последствий к предупредительному, научно обоснованному управлению эксплуатацией жилищного фонда, что в конечном итоге снижает финансовую нагрузку на собственников и повышает долговечность и надежность жилищного фонда.

Глава 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

7.1 Цифровизация и информационное моделирование на этапе эксплуатации жилищного фонда

Цифровая трансформация строительной отрасли требует внедрения технологий информационного моделирования (ТИМ) на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства (ЖЦ ОКС). Эта задача закреплена в нормативной базе, включая Градостроительный кодекс РФ, и подтверждена научными исследованиями [66, 85, 86, 88, 103, 127, 131, 133, 145, 174, 176, 185, 251 и др.]. В концепции ИМ ОКС рассматриваются как сложные системные объекты, что позволяет эффективно управлять ими через цифровые данные.

В главе 2 исследования анализируется Классификатор строительной информации (КСИ), введенный 1 декабря 2020 года. Разработанный с учетом международного опыта и российских нормативов (Постановления Правительства №20, №87, №145), он играет ключевую роль в унификации данных информационной модели (ИМ). В работе предложена адаптация КСИ для этапа эксплуатации объектов недвижимости.

Классификатор строительной информации (КСИ) служит фундаментом информационного моделирования и основой для формирования цифровой информационной модели (ЦИМ). Преимущества ЦИМ на этапах инженерных изысканий и проектирования уже детально изучены и успешно внедрены в практику. В настоящее время наблюдается активное распространение цифрового моделирования на этап строительства, однако его применение в эксплуатационной фазе остается ограниченным. Существующие решения в данной сфере преимущественно сводятся к концепции цифровых двойников и сопутствующим технологиям.

Вместе с тем, в соответствии с ключевым тезисом настоящего исследования, основная задача эксплуатации заключается в поддержании объекта в нормативно-работоспособном состоянии посредством системного технического обслуживания

и ремонтов. Вопросы интеграции ремонтных процессов в информационную модель здания детально проанализированы в главах 3–5. Разработанная методология, включая методы и алгоритмы, базируется на наличии актуальных данных о техническом состоянии строительных конструкций и инженерных систем.

Таким образом, информационное моделирование выступает основой предложенной методологии, а его технологический инструментарий обеспечивает реализацию данного подхода. Целесообразность применения технологий информационного моделирования (ТИМ) подтверждается их 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. В случае нового строительства ЦИМ формируется последовательно, аккумулируя данные об объекте капитального строительства (ОКС) на всех стадиях его жизненного цикла – от инженерных изысканий до эксплуатации (Рисунок 56). Для новых объектов реализуется сквозной процесс информационного моделирования, накопление данных происходит поэтапно и системно [149].

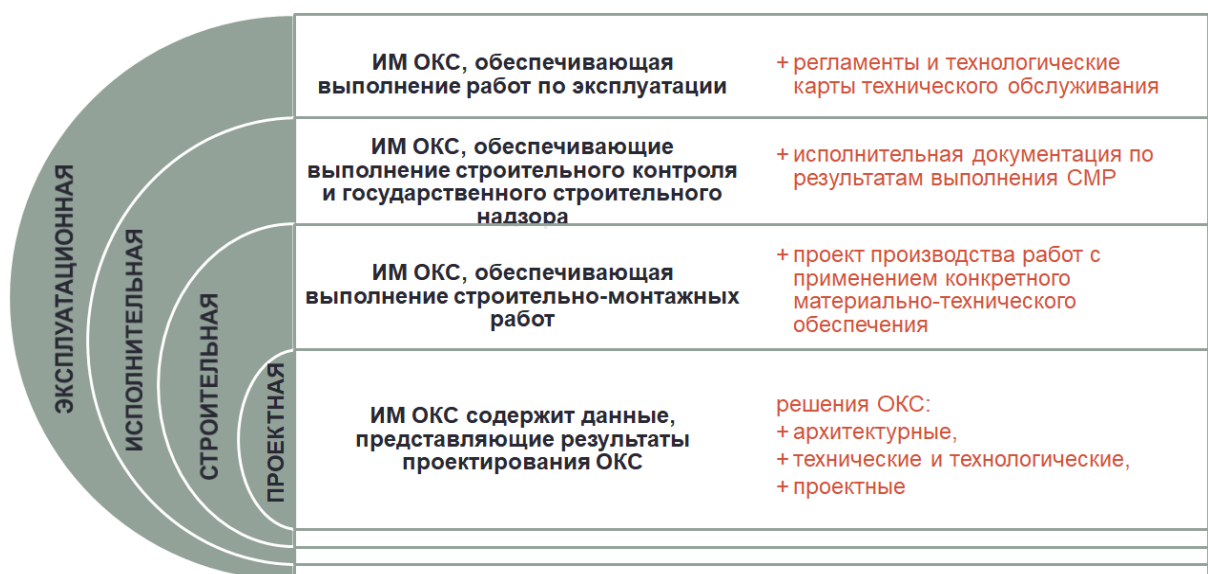


Рисунок 56 – Информационная модель на стадиях ЖЦ

Процесс формирования цифровой информационной модели (ЦИМ) представляет собой методологически сложную задачу (Рисунок 57).



а



б

Рисунок 57 – Требования к уровням проработки цифровых информационных моделей согласно СП 333.1325800.2020: а) при новом строительстве; б) при капитальном ремонте / реконструкции

В настоящее время данный процесс системно реализуется исключительно для объектов нового строительства. Однако для существующих зданий создание ЦИМ требует принципиально иного методологического подхода, что обусловлено:

- отсутствием исходных машиночитаемых данных в цифровом формате;
- необходимостью выполнения комплекса инструментальных обследований;
- требованиями к ретроспективному параметрическому моделированию.

На этапе эксплуатации создание ЦИМ теоретически возможно на базе проектной и исполнительной документации. Однако практические исследования показывают, что для большинства эксплуатируемых объектов техническая документация часто утрачена или не соответствует фактическому состоянию. Актуальные данные могут быть получены только путем натурных обследований

Таким образом, процесс ретроспективного создания ЦИМ для существующих зданий требует разработки специальных методик, сочетающих анализ сохранившейся документации, комплексные инженерные обследования, современные технологии цифровой фиксации объектов и алгоритмы параметрической реконструкции модели.

Данная проблематика актуализирует необходимость разработки унифицированных подходов к формированию ЦИМ для объектов различного периода строительства и состояния документальной базы.

7.2 Разработка типовых эксплуатационных цифровых информационных моделей (ЭЦИМ) для жилищного фонда

Значительная часть жилищного фонда Российской Федерации находится на стадии эксплуатации. У большинства объектов исходные данные проектной документации утрачены, произошли изменения в ходе эксплуатации. Это требует разработки специализированных подходов к формированию цифровых информационных моделей (ЦИМ) таких объектов. При этом создание ЦИМ с максимальным уровнем детализации (LOD 400-500) представляется нецелесообразным [148, 149, 157].

Во-первых, избыточная детализация строительных конструкций не соответствует практическим задачам технической эксплуатации. Финансовые затраты на моделирование второстепенных элементов не оправданы с точки зрения экономической эффективности. Действующие механизмы финансирования содержания

жилищного фонда не предусматривают расходов на проектные работы, поскольку отсутствуют нормативные требования к обязательному наличию ЦИМ у эксплуатируемых объектов. В вторых, необходимо адаптировать стандарты информационного моделирования (СП 333.1325800.2020) для объектов ретроспективного цифрового описания.

Оптимальным решением представляется разработка:

- упрощенных стандартов детализации (LOD 200-300) для эксплуатационных нужд;
- методик поэтапного формирования ЦИМ с привязкой к планово-предупредительным ремонтам;
- механизмов бюджетного финансирования создания базовых ЦИМ в рамках капитального ремонта.

В ходе проведенного исследования был выполнен комплексный анализ жилищного фонда Российской Федерации и Архангельской области, в частности. Результаты исследования свидетельствуют, что преобладающую часть жилищного фонда составляют типовые здания советского периода постройки (1960-1980 гг.).

В контексте цифровой трансформации жилищно-коммунального хозяйства представляется методологически обоснованной разработка типовых цифровых информационных моделей (ЦИМ) для указанной категории зданий. Экономический анализ подтверждает высокую эффективность внедрения ЦИМ в эксплуатационную деятельность

В связи с этим, автором предлагается реализация централизованного подхода к созданию библиотеки типовых ЦИМ, 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.

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 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.

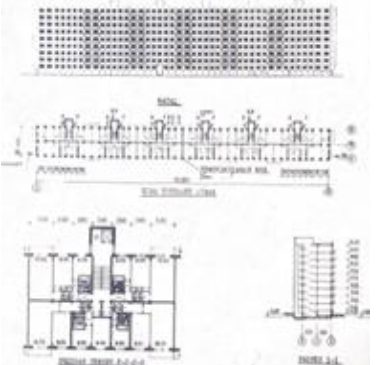
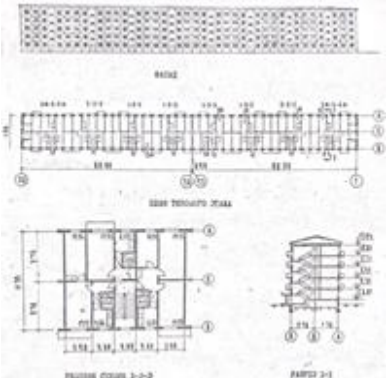
Преимущества подхода заключается в минимизации трудозатрат за счет типовых решений, сохранение функциональности при ограниченных ресурсах и постепенном наращивании детализации.

Архангельска. Анализ показал, что преобладающими типами жилых зданий в городе являются панельные и кирпичные дома (Таблица 80). На карте отображены группы домов 3 серии (Рисунок 58).



Рисунок 58 – Расположение серий многоквартирных домов в центральной части г. Архангельска: а) МКД 93 серии; б) МКД 1-335 серии; в) МКД 1-464 серии.

Таблица 80 – Типовые серии МКД г. Архангельск

№ серии / Технические характеристики	Фото	Фасады, планы
93 серия Фундамент – свайный Стены наружные – стеновые панели из керамзитобетона Кровля – четырёхслойный рулонный ковер Кол-во этажей – 9-10 Лифт – 350 кг		
1-355 серия Фундамент – свайный Стены наружные – стеновые панели из керамзитобетона Колонны – сборные ж/б Кровля – четырёхслойный рулонный ковер Кол-во этажей – 9 Лифт – 350 кг		
1-464 серия Фундамент – свайный Стены наружные – панели многослойной и однослойной конструкции Кровля – совмещенная Кол-во этажей – 5 Лифт – нет		

В рамках проведенного исследования были разработаны типовые цифровые информационные модели (ЦИМ) для ряда типовых многоэтажных жилых домов (Рисунок 59). Ключевым принципом при их создании являлась адаптация под конкретные архитектурно-конструктивные особенности каждого объекта. В первую очередь, учитывалась конструктивная схема здания, а также количество и вид типовых секций, составляющих его структуру.

Для иллюстрации данного подхода можно рассмотреть серию МКД 1-335. Для этой массовой серии характерно наличие трех основных разновидностей

секций: левой торцевой, правой торцевой и средней (или рядовой) секции. Каждый из этих типов обладает уникальной планировочной конфигурацией, что делало обязательным их раздельное моделирование. Что касается конструктивной системы, то она для данной серии определена следующим образом: наружные стены выполнены из керамзитобетонных панелей, а внутренний несущий каркас состоит из сборных железобетонных колонн и ригелей.

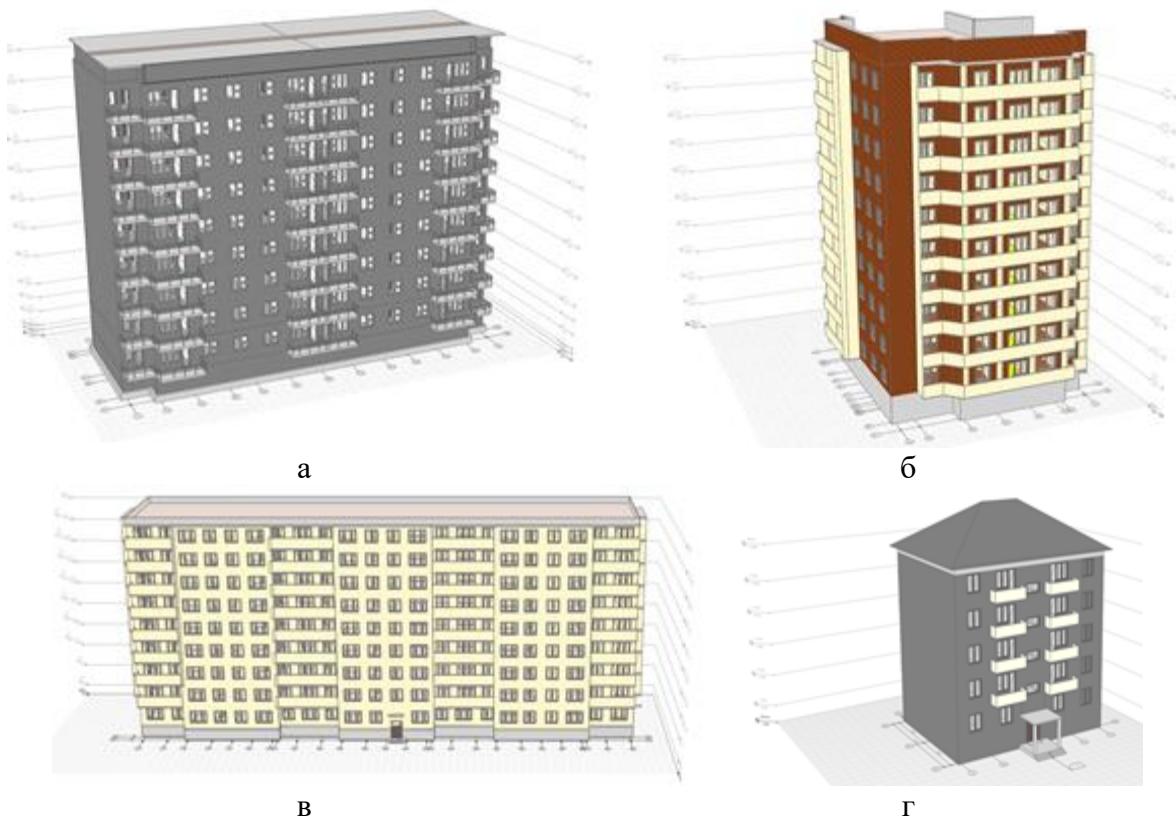


Рисунок 59 – Типовые проектные ЦИМ МКД: а) 93 серия; б) 93 улучшенная серия; в) 1-335 серия; г) 1-464 серия.

Именно эта каркасная система влияет на вариативность планировочных решений. Поскольку в таких зданиях отсутствуют внутренние несущие стены, пространство внутри секции является гибким и может быть разделено на квартиры различными способами. В результате, в рамках одной и той же серии и даже одного типа секции, застройщиками (владельцами) могли применяться разные планировки квартир. Этот исторический факт обусловил важный аспект при разработке типовой ЦИМ: необходимость создания моделей для всех трех типов секций, но с минимальным уровнем детализации именно внутренних планировок.

Таким образом, итоговые типовые модели для серии 1-335 включают три отдельные секции, которые достоверно отражают их внешние геометрические отличия и конструктивную основу, но при этом абстрагируются от переменных внутренних межквартирных перегородок. Такой подход позволяет создать универсальный и эффективный инструмент для управления и анализа здания, который фокусируется на неизменных элементах (конструкциях, габаритах, расположении инженерных стояков), оставаясь релевантным для всех модификаций домов данной серии.

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 эксплуатационной цифровой информационной модели (ЭЦИМ) становится дефект.

7.3 Использование эксплуатационных цифровых информационных моделей на этапах организационно-технологического проектирования

Согласно методологии организационно-технологического проектирования комплексного ремонта, первые два этапа включают эксплуатационный контроль (Рисунок 60):

1. Этап I – Определение категории технического состояния;
2. Этап II – Идентификация ремонтпригодных дефектов.

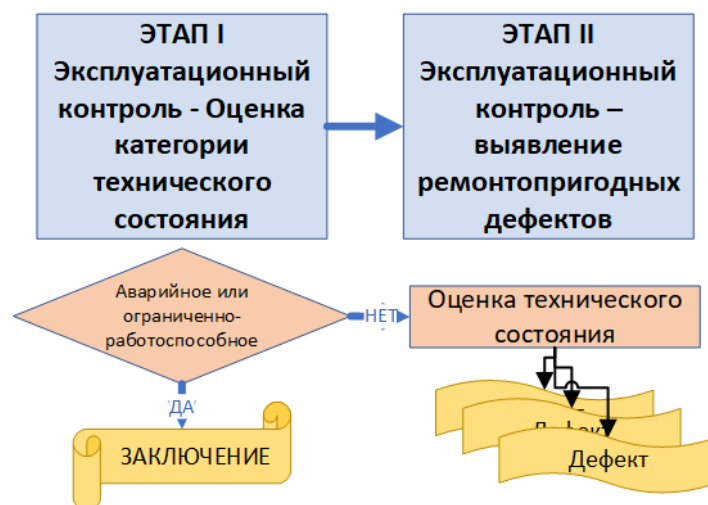


Рисунок 60 – Этапы эксплуатационного контроля при организационно-технологическом проектировании комплексного ремонта.

В соответствии с *первым этапом* предложенной методологии организационно-технологического проектирования комплексного (поэлементного) капитального ремонта жилищного фонда требуется установить категорию технического состояния здания согласно СП 454.1325800.2019. Объект рассматривается как совокупность единичных конструктивных элементов, каждый из которых оценивается на предмет наличия дефектов, свидетельствующих об аварийном или ограниченно-работоспособном состоянии. Сложность методологии обусловлена необходимостью идентификации всех конструктивных элементов и диагностики признаков аварийного или ограниченно-работоспособности для каждого из них [72]. ЭЦИМ позволяет выделять отдельные элементы и дефекты, влияющие на категорию состояния объекта.

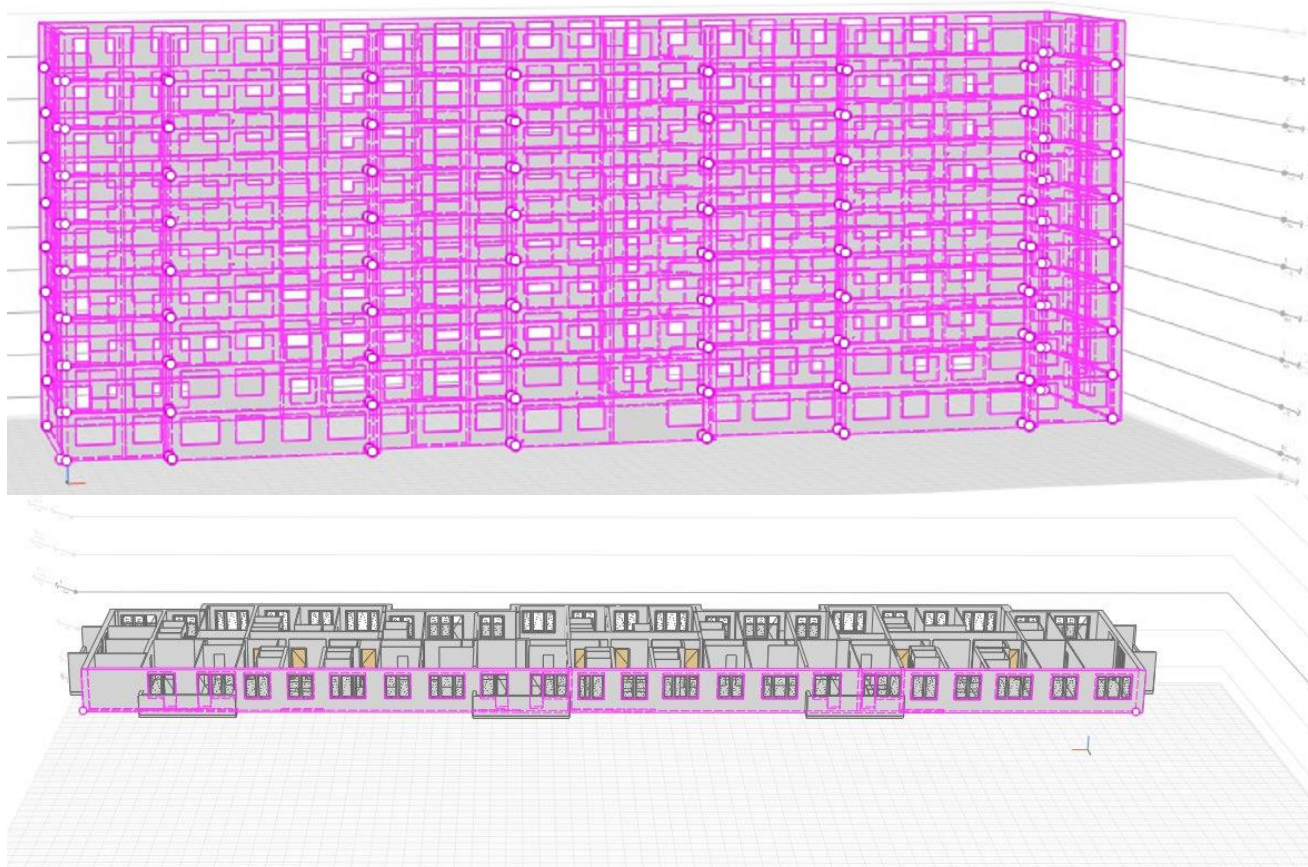
При отсутствии дефектов, указывающих на ограниченно-работоспособное или аварийное техническое состояние, осуществляется организационно-технологическое проектирование капитального ремонта и разработка сметной документации на основе типовых технологических карт.

Второй этап предполагает формирование унифицированного каталога дефектов на основе многокритериальной оценки, выявление ремонтпригодных дефектов с пространственной привязкой и количественное описание дефектов для реализации проектирования.

При использовании цифровой информационной модели фиксация дефектов первого и второго этапов реализуется одновременно (Рисунок 61 и Рисунок 62).

Апробация различных способов формирования ЭЦИМ в части описания и отображения дефектов с привязкой и без привязки к конструктивным элементам здания (в программном продукте Renga) показала, что целесообразно фиксировать дефекты как отдельные конструктивные элементы. В первую очередь это обусловлено временным характером дефекта по причинам:

- динамическое состояние нарастающего износа;
- устранение дефекта посредством ремонтно-восстановительных работ.



а) Формирование перечня единичных конструктивных с помощью ЭЦИМ

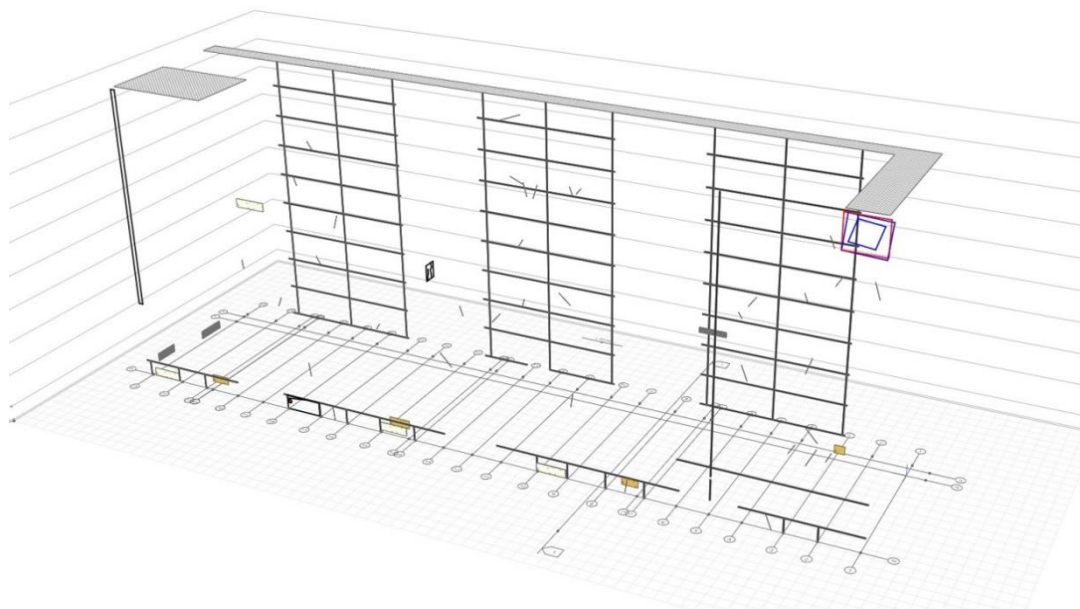
Обозначение	Марка	Чистая площадь продольного сечения	Номинальная длина	Полная площадь боковой поверхности среза	Относительная высота верха объекта
Наименование спецификации					
Обозначение	Марка	Чистая площадь продольного сечения	Номинальная длина	Полная площадь боковой поверхности среза	Относительная высота верха объекта
	С-ЖБ/3	8,79	5 800,00	16,54	+8 070,00
	С-ЖБ/3	3,54	1 316,74	3,07	+8 070,00
	С-ЖБ/3	20,71	11 950,00	31,20	+8 070,00
	С-ЖБ/3	3,06	1 136,52	3,06	+8 070,00
	С-ЖБ/3	12,60	8 049,95	22,60	+8 070,00
	С-ЖБ/3	3,07	1 142,52	3,07	+8 070,00
	С-ЖБ/3	20,71	11 950,39	31,20	+8 070,00
	С-ЖБ/3	3,06	1 136,52	3,06	+8 070,00
	С-ЖБ/3	12,60	8 050,00	22,60	+8 070,00
	С-ЖБ/3	2,93	1 142,52	3,07	+8 070,00
	С-ЖБ/3	20,68	11 950,00	31,20	+8 070,00
	С-ЖБ/3	3,53	1 311,52	3,06	+8 070,00
	С-ЖБ/3	9,43	5 975,58	15,60	+8 070,00
	С-ЖБ/3	24,50	11 793,16	31,25	+8 070,00
	С-ЖБ/3	106,22	63 686,36	170,85	+8 070,00
	С-ЖБ/3	25,04	11 774,29	31,67	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	12,19	5 130,11	13,80	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	12,58	5 357,95	14,41	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	12,25	5 158,17	13,88	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	13,57	5 931,20	15,95	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	9,57	3 695,00	10,03	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	5,63	2 600,00	7,09	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	9,66	3 730,00	10,03	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	16,78	6 942,20	18,67	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	19,91	8 105,00	21,80	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	6,34	2 950,00	8,34	+8 070,00
	С-ЖБ-В/3	13,80	5 787,75	15,57	+8 070,00

б) Спецификация единичных конструктивных с помощью ЭЦИМ

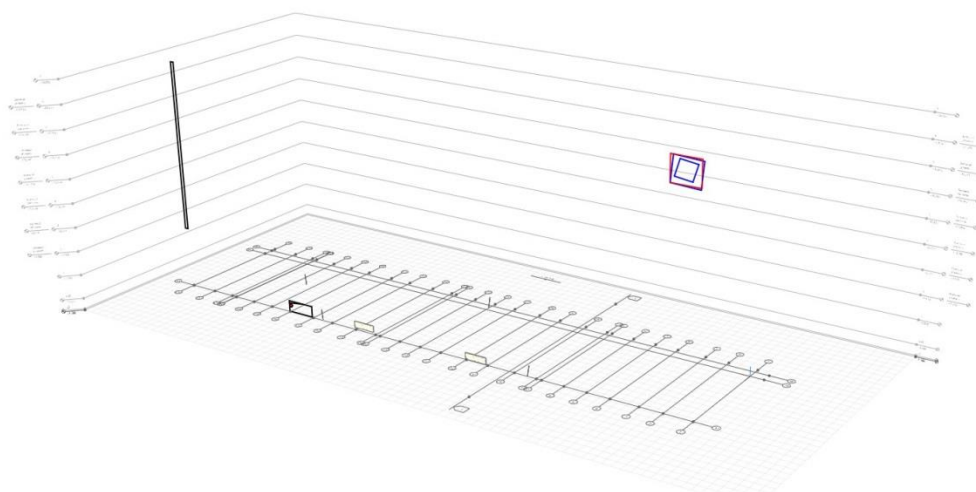
Рисунок 61 - Перечень единичных конструктивных на основе ЭЦИМ



а) Фиксация дефектов на ЦИМ в виде геометрических пространственно-ориентированных элементов



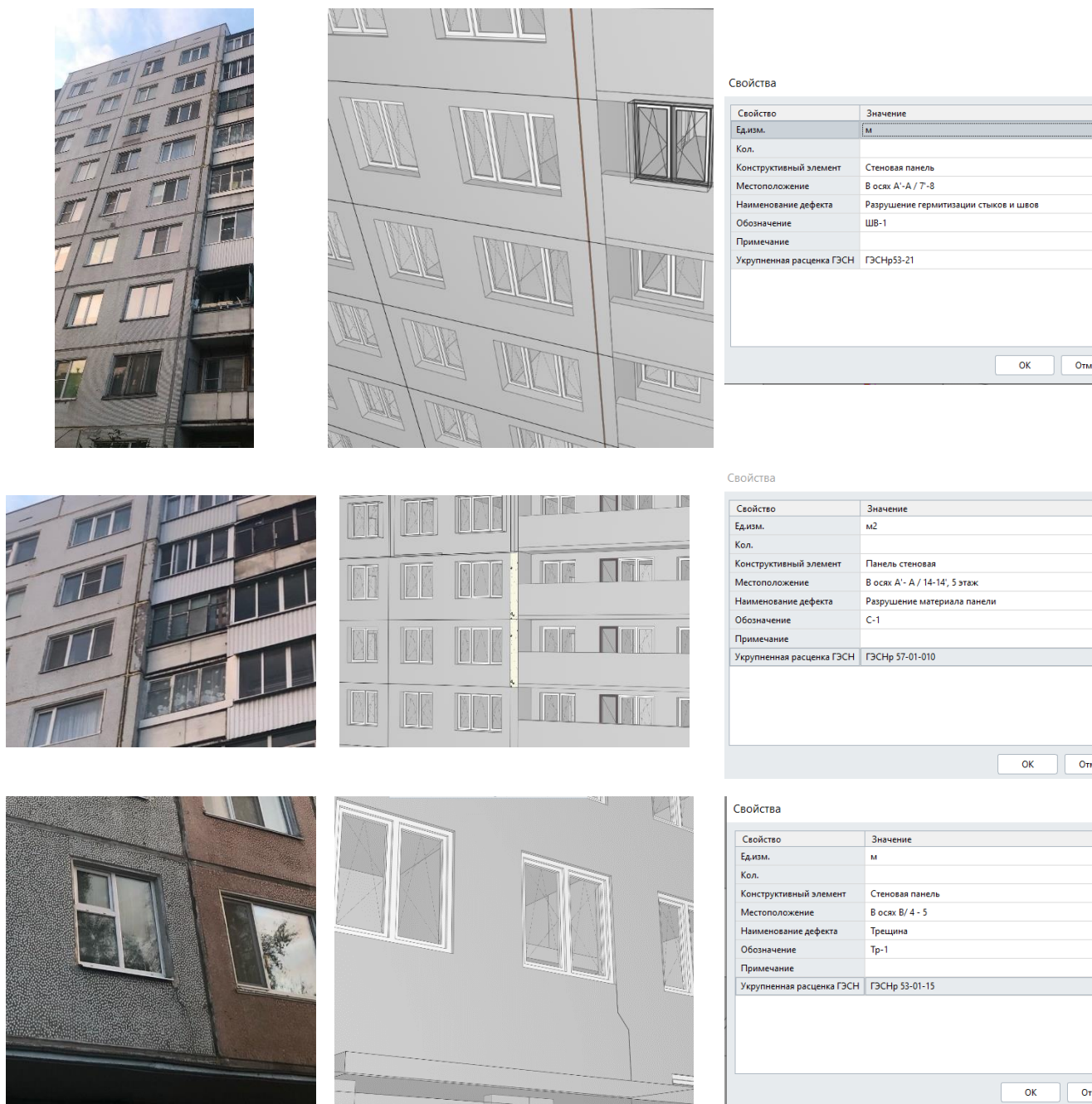
б) Формирование цифровой информационно модели (ЦИМ) дефектов



в) ЦИМ дефектов, характеризующих категорию аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния

Рисунок 62 – Этапы I и II оценки технического состояния здания – формирование спецификации дефектов

Каталог разрабатывается с учетом как нормативно-технических требований, так и региональных особенностей эксплуатации. В атрибутивном составе эксплуатационной цифровой модели появляются новые атрибуты дефектов (Рисунок 63). Для этого в программе необходимо создаётся список свойств и сформировать каталог обозначений дефектов в виде геометрических пространственно-ориентированных элементов. Сформированные таким образом дефекты можно вывести в виде спецификаций.



Формировании информационной базы данных на базе цифровых информационных моделей имеет ряд преимуществ:

- автоматическое формирование спецификации характеристик элементов в виде структурированных данных с унифицированными атрибутами в формате XML для обмена и сбора информации;
- пространственно-ориентированное геометрическое представление данных о технических характерах элементов и систем здания, что позволяет облегчить проектирование организации и производства ремонтно-строительных работ.

Программное обеспечение, интегрированное со сметными нормирующими системами, позволяет автоматически формировать перечень и стоимость работ. Хотя данные системы пока требуют доработки, они обладают значительным потенциалом.

Обследование зданий путем формирования цифровых информационных моделей и ведения моделей на этапе эксплуатации является эффективным инструментом сбора, обработки и передачи данных и организационно-технологического проектирования.

Реализация данного подхода имеет перспективы развития. Дополнительно возможно подключение данных с датчиков и систем машинного зрения для выявления дефектов, что придаст модели свойства цифрового двойника.

7.4 Интеграция цифровых решений в информационную систему эксплуатации жилищного фонда

Современные методов и методики организационно-технологического проектирования комплексного ремонта жилищного фонда при реализации массовых программ капитального ремонта носят преимущественно ответный, а не предупредительный характер. Без фундаментального пересмотра системы мониторинга и классификации дефектов создание ИИ-решений для планирования ремонтов на основе визуальных данных невозможно в принципе. Проблема носит системный характер и требует изменения нормативной базы и подходов к обследованию на уровне отрасли.

Сложившаяся ситуация требует системных мер на государственном уровне, в частности разработки комплексной программы по созданию единой цифровой платформы мониторинга жилищного фонда. Только такой подход позволит преодолеть существующие барьеры и создать условия для развития прогностических систем в строительной отрасли и ЖКХ.

Применение методологии организационно-технологического проектирования (ОТП) требует наличия комплексной и актуальной информационной базы по объектам жилищного фонда. В настоящее время ключевой системой, обеспечивающей формирование и ведение такой базы данных, выступает государственная информационная система жилищно-коммунального хозяйства (ГИС ЖКХ).

Параллельно наблюдается активное развитие цифровой трансформации в строительной отрасли, где последовательно выстраивается единая цифровая экосистема (Рисунок 64). Отработаны и стандартизированы информационные потоки между всеми участниками инвестиционно-строительного процесса. Разработана четкая схема взаимодействия и документооборота. Созданы регламенты передачи данных между этапами жизненного цикла объекта.

Такая систематизация позволяет:

- обеспечить сквозное информационное сопровождение объекта;
- формировать комплексную цифровую модель, включающую все этапы – от инженерных изысканий до ввода в эксплуатацию;
- минимизировать потери данных при передаче между участниками процесса;
- повысить качество управления строительными проектами.



Рисунок 64 – Схема цифровой вертикали строительной отрасли

Однако ключевая проблема заключается в том, что эти отлаженные процессы обрываются на моменте ввода здания в эксплуатацию. В настоящее время устойчивой связи информации между этапом строительства, где активно применяется информационное моделирование, и последующей долгосрочной фазой эксплуатации объекта практически не существует. Цифровая модель, созданная в процессе проектирования и строительства, по сути, не «передается» управляющим компаниям и собственникам для дальнейшего эффективного использования.

Сложившаяся ситуация обусловлена двумя фундаментальными пробелами. Во-первых, на уровне нормативно-правового регулирования отсутствуют единые и обязательные к применению механизмы, которые регламентировали бы состав, сроки и ответственность за передачу цифровых моделей и данных при переходе объекта от застройщика к эксплуатантам. Во-вторых, не разработаны унифицированные технологические решения и стандарты для серийной и бесшовной передачи такого объема информации, что делает этот процесс несистемным и экономически нецелесообразным для большинства проектов. Таким образом, без преодоления этих барьеров потенциал цифровой модели, заложенный на ранних стадиях, остается нереализованным на самом протяженном этапе жизни здания.

Можно констатировать, что для существующего жилищного фонда аналогичный подход пока не разработан, хотя логичным и перспективным решением

представляется интеграция уже функционирующих систем, таких как ГИС ЖКХ, в формирующуюся единую цифровую экосистему строительной отрасли.

В настоящее время наблюдается существенный системный пробел, лежащий в основе этой проблемы, – отсутствие нормативно закреплённого механизма передачи цифровой информационной модели с этапа строительства на этап эксплуатации. Это приводит к критическому разрыву информационной непрерывности и вынуждает участников процесса управления многократно и фрагментарно формировать одни и те же данные об объекте заново.

Проведенный анализ текущей ситуации выявил два ключевых недостатка, усугубляющих этот разрыв. Во-первых, это отсутствие цифровой взаимосвязи между участниками организационно-технологического проектирования капитального ремонта и субъектами инвестиционно-строительного процесса, что неоднократно отмечалось в ходе настоящего исследования. Данный дисбаланс не позволяет эффективно использовать накопленные проектные и строительные данные для планирования и выполнения ремонтных работ, приводя к снижению их обоснованности и эффективности.

Во-вторых, сохраняется недостаточная цифровизация процессов управления жилищным фондом на этапе эксплуатации. Даже при гипотетическом получении цифровой модели у большинства управляющих организаций сегодня отсутствуют регламенты, компетенции и технологическая инфраструктура для ее практического использования в повседневной деятельности. Таким образом, преодоление информационного разрыва требует не только создания каналов передачи данных, но и масштабной цифровой трансформации на стороне эксплуатационного сектора.

Для устранения этих недостатков предлагается осуществить интеграцию ГИС ЖКХ в единую цифровую вертикаль строительной отрасли (концептуальная схема взаимодействия представлена на рисунке), а также разработать и внедрить специализированную информационную систему управления проектами капитального ремонта (ИСУПр) по аналогии с существующими системами управления строительными проектами (ИСУП) (Рисунок 65).



Рисунок 65 – 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 [152]).

Проведенный детальный анализ информационного наполнения ГИС ЖКХ выявил существенные проблемы с качеством и структурой данных. Согласно требованиям Приказа Министра РФ от 7 февраля 2024 г. № 79/пр, в систему должны вноситься определенные сведения, однако фактический анализ этих требований показывает отсутствие системного подхода к формированию перечня характеристик. Отмечается хаотичный принцип отбора параметров для внесения в систему и явное несоответствие между структурой данных в ГИС ЖКХ и принципами построения классификатора строительной информации, а также современными требованиями к цифровому описанию объектов.

Особую проблему представляет невозможность полноценной интеграции с эксплуатационными цифровыми информационными моделями (ЭЦИМ), передачи

в систему полного комплекса данных об объекте. Даже базовые технические характеристики объектов не могут быть корректно отражены в существующей системе, что существенно ограничивает возможности ее практического использования для управления жилищным фондом. Такое состояние системы делает невозможным применение процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию капитального ремонта жилищного фонда.

Сравнительный анализ требований к составу информации, предоставляемой в ГИС ЖКХ (Приказ Минстроя РФ от 7 февраля 2024 г. № 79/пр) и требований к атрибутивному составу элементов цифровой информационной модели объекта капитального строительства (СП 333.1325800.2020) (Таблица 81) показал, что цифровые информационные модели (ЦИМ) объектов капитального строительства содержат значительно более полный и структурированный набор данных по сравнению с государственной информационной системой ЖКХ (ГИС ЖКХ), полностью покрывая ее информационные потребности. Однако принципиальным ограничением обеих систем является использование для оценки технического состояния исключительно показателей процентного износа, что существенно сужает возможности анализа.

Таблица 81 – Сравнительный анализ требований к составу информации ГИС ЖКХ и ЦИМ ОКС

Критерий сравнения	Требования ГИС ЖКХ (Приказ №№ 79/пр)	Требования к атрибутам ЦИМ ОКС (СП 333.1325800.2020, Приложение Г и Д)
Классификация элементов	1. Общие сведения 2. Основные конструктивные элементы 3. ВИС отопления 4. ВИС холодного водоснабжения 5. ВИС горячего водоснабжения 6. ВИС водоотведения 7. ВИС газоснабжения 8. ВИС электроснабжения 9. Лифты	1. Архитектурно-конструктивные решения 2. Электроснабжение 3. Водоснабжение 4. Водоотведение 5. Отопление, вентиляция, кондиционирование, теплоснабжение 6. Автоматизация и связь 7. Газоснабжение 8. Вертикальный транспорт
Характеристики технического состояния	- Общий износ здания, % - Физический износ элемента, %	- Процент износа здания, %
Стоимостные характеристики	Не предусмотрены	Предусмотрены

При детальном рассмотрении структуры данных ГИС ЖКХ выявляются системные недостатки, заключающиеся в отсутствии единой методики формирования информации, слабой структурированности данных, а также их несоответствии как требованиям классификатора строительной информации, так и принципам процессно-системного подхода к организационно-технологическому проектированию.

Для преодоления этих ограничений требуется комплекс мер, включающий разработку новых методик сбора и обработки данных, актуализацию нормативно-технической базы, совершенствование правового регулирования и создание единых регламентов информационного взаимодействия. Системный подход позволит обеспечить эффективную интеграцию цифровых технологий в управление жилищным фондом.

Выводы по Главе 7

На основе проведенного исследования разработан и обоснован централизованный подход к созданию библиотеки типовых эксплуатационных цифровых информационных моделей (ЭЦИМ) для существующего жилищного фонда, который является методологическим решением ключевой проблемы – принципиального различия процессов создания ЦИМ для новых и эксплуатируемых объектов. Значимость данного вывода заключается в преодолении системного пробела, вызванного отсутствием нормативно закреплённого механизма передачи ЦИМ с этапа строительства на этап эксплуатации, путем предложения нового методологического подхода, основанного на типизации и последующей адаптации. Практическая реализуемость подтверждается разработкой конкретных типовых ЦИМ для преобладающих серий МКД в г. Архангельске (93, 1-335, 1-464 и др.).

Обоснована практическая целесообразность и преимущества подхода, основанного на типовых ЭЦИМ, которые заключаются в минимизации трудозатрат, сохранении функциональности при ограниченных ресурсах и возможности постепенного наращивания детализации. Разработанные рекомендации по формированию ЭЦИМ, такие как исключение избыточной детализации короткоживущих элементов и обеспечение совместимости с ГИС ЖКХ, направлены на создание

работоспособных информационных моделей. Новизна подхода состоит в отказе от высокого уровня детализации в пользу прагматичной, достаточной для эксплуатационных задач модели. Практический эффект проявляется в том, что данный подход соответствует бюджетным ограничениям эксплуатационных организаций и формирует базовый уровень цифровизации, являющийся необходимой основой для внедрения более сложных аналитических систем и алгоритмов, разработанных в предыдущих главах, обеспечивая тем самым комплексную цифровую трансформацию процессов эксплуатации жилищного фонда.

Создание типовых эксплуатационных цифровых моделей позволяет муниципалитетам и управляющим компаниям начать массовую цифровизацию фонда с минимальными затратами, используя готовые шаблоны.

Определено и доказано, что ключевым элементом эксплуатационной ЦИМ является дефект, а сама модель служит структурной основой для реализации разработанной методологии организационно-технологического проектирования. Выявлено, что использование ЭЦИМ для фиксации дефектов в виде геометрических пространственно-ориентированных элементов позволяет формировать унифицированные каталоги дефектов и напрямую поддерживает первые два этапа проектирования – определение категории технического состояния и идентификацию ремонтпригодных дефектов. Научная ценность этого вывода заключается в конкретизации и развитии концепции процессно-системного подхода, где информационная модель становится не статичным архивом, а динамическим инструментом, непосредственно интегрированным в проектные процедуры. Практическая значимость заключается в том, что это обеспечивает наглядность, привязку дефектов к конкретным конструктивным элементам и формирует структурированную базу данных для последующего анализа с помощью алгоритмов машинного обучения, замыкая тем самым цифровой контур управления.

Разработана и визуализирована концептуальная схема интеграции ГИС ЖКХ в единую цифровую вертикаль строительной отрасли. В ходе анализа было выявлено, что отсутствие цифровой взаимосвязи между участниками инвестиционно-строительного процесса и субъектами эксплуатации приводит к потере

информационной непрерывности данных на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Значимость данного вывода заключается в системном анализе проблем цифровой трансформации ЖКХ и предложении архитектуры взаимодействия, обеспечивающей преемственность данных на всем жизненном цикле объекта. Практическая реализация предполагает не только техническую интеграцию систем, но и разработку, и внедрение специализированной информационной системы управления проектами капитального ремонта (ИСУПр) по аналогии со строительными ИСУП, что приведет к повышению прозрачности, контролируемости работ и автоматизированному наполнению ГИС ЖКХ актуальными данными.

Таким образом, реализация предложенных мер позволит системно подойти к цифровой трансформации ЖКХ, обеспечив преемственность данных на всех этапах жизненного цикла объектов и повысив эффективность их эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование посвящено разработке и совершенствованию методологических основ организационно-технологического проектирования и инвестиционно-строительного планирования комплексного ремонта жилищного фонда. В рамках исследования разработана и научно обоснована интегральная методология, объединяющая современные методы цифрового моделирования, процессно-системного анализа и машинного обучения для оптимизации управления ремонтными процессами. Особое внимание уделено адаптации строительных информационных технологий к задачам эксплуатационной фазы жизненного цикла зданий.

1. Разработана методология организационно-технологического проектирования комплексного капитального ремонта, устанавливающая его принципиальное отличие от проектирования нового строительства, которое заключается в прямой зависимости объемов и содержания работ от фактического, а не нормативного, технического состояния элементов здания. Конкретизирован понятийный аппарат для организационно-технологического проектирования и инвестиционно-строительного планирования применительно к капитальному ремонту жилищного фонда. Установлено обязательное включение сметной документации в состав организационно-технологической документации на капитальный ремонт. Научная новизна заключается в систематизации и развитии теоретических основ проектирования капитального ремонта. Практическая реализация разработанного алгоритма проектирования обеспечивает оптимизацию финансовых расходов и устранение управленческих противоречий за счет повышения обоснованности принимаемых решений о сроках, номенклатуре и объемах ремонтных работ.

2. Разработана концепция процессно-системного подхода к управлению жизненным циклом объектов капитального строительства на этапе эксплуатации, реализующая принцип «процесс в системе» через модификацию структуры Классификатора строительной информации (КСИ). Уточнены ключевые понятия системного и процессного подходов, установлено, что существующая структура Классификатора строительной информации (КСИ) не отражает изменчивость характеристик ОКС в процессе эксплуатации.

Предложена модифицированная структура КСИ. Модификация заключается во введении нового класса «Свойство», предназначенного для формализации данных о динамических изменениях характеристик конструкций под воздействием эксплуатационных факторов и ремонтных воздействий. Рассмотрены отличия между «Характеристикой» как статическим параметром и «Свойством» как динамическим показателем, определяющим поведение конструкции в условиях эксплуатации. Определено, что процессно-системный подход обеспечивает целенаправленное воздействие на свойства строительных элементов через организацию ремонтных процессов, что особенно актуально для проектирования комплексного (поэлементного) капитального ремонта.

Разработана схема процессно-системных связей, демонстрирующая трансформацию ОКС под влиянием эксплуатационных факторов и ремонтных мероприятий. Установлено, что изменение состояния объекта ($\text{ОКС} \rightarrow \text{ОКС}^*$) является результатом системного воздействия на физико-механические, эксплуатационно-технические и функциональные свойства его элементов.

Теоретическая значимость заключается в развитии аппарата системного анализа для эксплуатационной фазы жизненного цикла объекта капитального строительства.

Практическим результатом внедрения является обеспечение точной оценки текущего состояния и обоснованности принимаемых решений по восстановлению, а также создание формализованного базиса для внедрения технологий информационного моделирования эксплуатируемых зданий, обеспечивая комплексный мониторинг и оптимизацию ресурсного обеспечения восстановительных работ.

Таким образом, реализация процессно-системного подхода позволяет устранить ограничения действующего КСИ, повысить точность оценки технического состояния ОКС и обоснованность решений по их восстановлению, что способствует увеличению эффективности управления капитальным ремонтом на всех этапах жизненного цикла зданий.

9. Предложена система количественной многокритериальной оценки технического состояния строительных элементов, позволяющая повысить точность

планирования капитального ремонта за счет учета фактического износа конструкций и системного подхода к формированию ремонтных программ. Установлено, что существующие нормативно-технические документы не обеспечивают необходимой достоверности оценки, так как либо основаны на усредненных нормативных сроках эксплуатации, либо требуют чрезмерных трудозатрат при обследовании.

Обоснована необходимость поэлементного подхода к оценке технического состояния, подтверждаемая анализом региональных программ капитального ремонта (на примере г. Архангельска), где выявлено несоответствие между плановыми сроками ремонта и реальным состоянием зданий. Предложена трехуровневая методологическая основа, включающая:

- декомпозицию объекта на минимальные структурные единицы,
- системное описание свойств технического состояния элементов,
- детализацию видов ремонтных работ.

Разработанная система унифицированных критериев оценки охватывает ключевые типовые признаков износа строительных конструкций с указанием:

- измеримых характеристик (ширина трещин, площадь биоповреждений и др.),
- перечня элементов, подверженных каждому виду износа,
- количественных параметров для объективной оценки.

Подтверждена возможность практической реализации метода через:

- использование существующего Классификатора строительной информации,
- формализацию процесса обследования,
- интеграцию с этапами организационно-технологического проектирования.

Внедрение предложенного метода позволит:

- устранить субъективность в оценке технического состояния,
- оптимизировать распределение ресурсов при планировании ремонта,
- обеспечить обоснованность принимаемых решений на основе количественных данных,

– создать единую систему мониторинга состояния жилищного фонда.

Таким образом, разработанный метод количественной многокритериальной оценки представляет собой эффективный инструмент для реализации процессно-системного подхода к управлению капитальным ремонтом, сочетающий достаточную точность с приемлемой трудоемкостью обследований.

Введено и обосновано понятие конструктивно-технологического решения ремонта как системной совокупности технологических процессов и строительно-монтажных операций, направленных на восстановление эксплуатационных характеристик строительных элементов с учетом их реального износа. Предложенная методология позволяет перейти от усредненных нормативных подходов к индивидуальному проектированию ремонтных работ для каждого конкретного объекта.

10. Разработан метод организационно-технологического проектирования комплексного ремонта на основе комбинированного алгоритма машинного обучения, позволяющий автоматизировать процесс проектирования капитального ремонта за счет установления нелинейных зависимостей между параметрами технического состояния строительных элементов и оптимальными конструктивно-технологическими решениями. Установлено, что существующие подходы к оценке ремонтных работ не учитывают сложные взаимосвязи между дефектами и требуемыми работами.

Обоснован выбор комбинации самоорганизующихся карт Кохонена (SOM) и случайного леса (Random Forest) как наиболее эффективного решения, позволяющего:

- группировать объекты по схожести дефектов (SOM),
- строить точные прогнозные модели для каждого кластера (Random Forest),
- сохранять интерпретируемость решений для целей сметного планирования.

Предложена трехуровневая методика, включающая:

- кластеризацию объектов по характеристикам дефектов,
- построение локальных регрессионных моделей для каждого кластера,
- прогнозирование объемов и стоимости работ для новых объектов.

Апробация метода на выборке из 61 многоквартирного дома с плоскими кровлями позволила:

- автоматически выделить 5 кластеров объектов с различной степенью износа,
- установить типовые наборы работ для каждого кластера,
- определить приоритетность ремонта (кластер 3 → кластер 2 → кластер 5 → кластер 1 → кластер 4).

Основные преимущества разработанного метода:

- учет нелинейных зависимостей между комбинациями дефектов и требуемыми работами;
- повышение точности прогнозирования на 25-30% по сравнению с традиционными методами;
- сохранение интерпретируемости результатов для целей сметного нормирования;
- возможность адаптации под различные типы строительных конструкций.

Внедрение предложенного метода в практику проектирования капитального ремонта позволит:

- сократить время на подготовку проектной документации на 30-40%,
- повысить обоснованность решений за счет объективных данных,
- оптимизировать распределение ресурсов между объектами,
- создать основу для цифровой платформы управления ремонтным фондом.

Таким образом, разработанный комбинированный алгоритм машинного обучения представляет собой эффективный инструмент автоматизации организационно-технологического проектирования, сочетающий высокую точность прогнозирования с практической применимостью в условиях реального строительного производства.

5. Разработана трехфазная модель оценки технического состояния строительных элементов, основанная на фазово-логистической зависимости, которая позволяет определять экономически оптимальные периоды восстановительных мероприятий, включающая три характерные фазы:

- 1) медленный начальный износ (10-20 лет эксплуатации);
- 2) ускоренная деградация (20-50 лет);
- 3) стабилизация износа (предельное состояние).

Предложен алгоритм оптимизации плана ремонтных работ, сочетающий:

- динамическое программирование для минимизации суммарных затрат,
- фазовый анализ износа через коэффициент ускорения $\Delta k_i(t)$,
- бюджетные ограничения и временные регламенты ($\Delta t \geq 3$ года).

Сравнительный анализ методов планирования показал, что:

- 1) динамическое программирование обеспечивает минимальные суммарные затраты (до 15-20% экономии против жадного алгоритма);
- 2) жадный алгоритм представляет практический компромисс между эффективностью и сложностью реализации;
- 3) случайный выбор неприемлем из-за высокого риска дефицита (22%).

Разработана стратегия планирования, дифференцирующая действия по фазам износа:

- плановые ремонты при $\Delta k_i < 1,05$;
- срочные ремонты при $1,05 \leq \Delta k_i \leq 1,2$;
- замену/снос при $\Delta k_i \approx 1$ и стоимости $\gg$ нормативной.

Внедрение предложенной модели позволяет:

- сократить суммарные затраты на 20-25%;
- минимизировать риски аварийного состояния;
- оптимизировать использование ограниченного бюджета;
- создать научную основу для цифровизации управления ремонтным фондом.

Таким образом, трехфазная модель оценки технического состояния представляет собой эффективный инструмент инвестиционно-строительного планирования, сочетающий математическую строгость оптимизационных методов с практической применимостью в условиях реального жилищного хозяйства.

11. Обосновано внедрение процессно-системного подхода к мониторингу энергоэффективности жилых зданий, позволяющий повысить точность оценки и

эффективность энергосберегающих мероприятий. Установлено, что существующая система учета энергоэффективности не отражает реального состояния жилищного фонда, что подтверждается анализом 200 многоквартирных домов г. Архангельска, где: 78% объектов относятся к классу D и ниже; отсутствует четкая зависимость от типовых серий; заниженное потребление часто свидетельствует о дефектах систем отопления и пр.

Предложена система мониторинга на основе расширенного класса свойств, включающая:

- показатели энергопотребления (удельное теплopotребление, температурный график);
- технические характеристики (сопротивление теплопередаче; воздухопроницаемость);
- рекомендации по энергосбережению и пр.

Внедрение процессно-системного подхода позволяет:

- выявлять реальные причины потерь энергии;
- оптимизировать планирование энергосберегающих мероприятий;
- оценивать эффективность выполненных работ;
- формировать объективную базу для принятия решений.

Таким образом, предложенный подход создает научную основу для совершенствования системы энергомониторинга и цифровизации управления энергоэффективностью жилищного фонда, обоснованного планирования капитального ремонта и разработки адресных энергосберегающих программ.

12. Разработаны механизмы формирования информационной системы учета жилищного фонда, основанные на создании типовых цифровых информационных моделей (ЦИМ) для эксплуатируемых МКД. Установлено, что существующая система имеет критический разрыв между этапами строительства и эксплуатации, что требует разработки библиотеки типовых ЦИМ для основных серий домов и интеграции ГИС ЖКХ в цифровую экосистему строительной отрасли.

Ключевыми решениями являются создание адаптируемых шаблонов ЦИМ с оптимизированной детализацией и разработка методики фиксации дефектов в ЦИМ как базовых элементов модели.

Преимуществами подхода являются сокращение затрат на цифровизацию в 3-5 раз за счет типовых решений, совместимость с ГИС ЖКХ и поддержка процессов организационно-технологического проектирования: от оценки состояния до формирования смет.

Внедрение обеспечит преемственность данных на всех этапах жизненного цикла зданий, автоматизацию мониторинга технического состояния и повышение точности планирования капитального ремонта.

Реализация предложенной системы требует нормативного закрепления порядка передачи ЦИМ от застройщиков к эксплуатирующим организациям и разработки специализированной ИСУП для капитального ремонта

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

AdaBoost	Adaptive Boosting - «адаптивный бустинг»
BIM	Building Information Model - «информационная модель здания», или «информационное моделирование зданий»
CatBoost	Categorical Boosting - «бустинг с учётом категориальных признаков»
DBSCAN	Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise — «пространственная кластеризация приложений с шумом на основе плотности»
GridSearch	«Поиск по сетке»
IoT	Internet of Things («интернет вещей»)
k-Means	«Метод К-средних»
LightGBM	Light Gradient Boosting Machine - «Лёгкий градиентный бустинг машины»
LSTM	Long Short-Term Memory - «долгая краткосрочная память»
MLP	Multilayer Perceptron - «Многослойный перцептрон»
Optuna	Библиотека Python с открытым исходным кодом
PCA	Principal Component Analysis - «метод главных компонент»
Random Forest	«Случайный лес»
SOM	Self-organizing map (самоорганизующаяся карта Кохонена)
SVM	Support Vector Machine - «Метод опорных векторов»
t-SNE	t-distributed stochastic neighbor embedding - «стохастическое вложение соседей с t-распределением»
UMAP	Uniform Manifold Approximation and Projection - «Uniformное приближение многообразия и проекция на плоскость»
XGBoost	Extreme Gradient Boosting - «экстремальное градиентное усиление»
AP	Архитектурное решение
АСП	Архитектурно-строительное проектирование
АСР	Архитектурно-строительное решение

ВОР	Ведомость объёмов работ
ВСН	Ведомственные строительные нормы
ГИС ЖКХ	Государственная информационная система жилищно-коммунального хозяйства
ГИСОГД	Государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности
ГОСТ	Государственный стандарт
ГрК РФ	Градостроительный кодекс Российской Федерации
ГЭСН	Государственные элементные сметные нормы
ЕЦПЭ	Единая цифровая платформа экспертизы
ЖК	Жилищный кооператив
ЖК РФ	Жилищный кодекс Российской Федерации
ЖКХ	Жилищно-коммунальное хозяйство
ЖСК	Жилищно-строительный кооператив
ЖЦ ОКС	Жизненный цикл объекта капитального строительства
ИИ	Искусственный интеллект
ИМ	Информационная модель
ИС	Информационная система
ИС ГСН	Информационная система государственного строительного надзора
ИСУП	Информационная система управления проектами
ИСУПр	Информационная система управления проектами ремонта
КР	Конструктивное решение
КСИ	Классификатор строительной информации
КТРр	Конструктивно-технологическое решение ремонта
ЛСР	Локальный сметный расчёт
МДС	Методические документы в строительстве
МКД	Многоквартирный дом
МО	Машиное обучение

НПА	Нормативно-правовой акт
ОКС	Объект капитального строительства
ОСС	Общее собрание собственников
ОТД	Организационно-технологическая документация
ОТП	Организационно-технологическое проектирование
ОТР	Организационно-технологическое решение
ПОКР	Проект организации капитального ремонта
ПОС	Проект организации строительства
ПП	Постановления Правительства
ППР	Проект производства работ
ПСД	Проектно-сметная документация
СМР	Строительно-монтажные работы
СП	Строительные правила
ТИМ	Технологии информационного моделирования
ТК	Технологическая карта
ТО	Техническое обслуживание
ТоиР	Техническое обслуживание и ремонт
ТР	Технологическое решение
ТСЖ	Товарищество собственников жилья
УО	Управляющая организация
ЦИМ	Цифровая информационная модель
ЭЦИМ	Эксплуатационная цифровая информационная модель

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. Закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ // КонсультантПлюс : справочно-правовая система. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/
2. Жилищный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 188-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912240027>
3. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102148891>
4. Федеральный закон от 25.12.2012 № 271-ФЗ «О внесении изменений в Жилищный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации...» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201212250001>
5. Закон РФ от 04.07.1991 № 1541-1 «О приватизации жилищного фонда в Российской Федерации» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_137/
6. Указ Президента РФ от 28.04.1997 № 425 (ред. От 27.05.1997) «О реформе жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202108050018>
7. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. От 28.12.2024) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_74988/
8. Постановление Правительства РФ от 5 марта 2007 г. № 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_66518/
9. Постановление Правительства РФ от 13.08.2006 № 491 «Об утверждении Правил содержания общего имущества в многоквартирном доме...» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/>
10. Постановление Правительства РФ от 03.04.2013 № 290 «О минимальном перечне услуг и работ...» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/>
11. Постановление Правительства РФ от 13.10.1997 № 1301 «О государственном учете жилищного фонда в Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/>
12. Постановление Правительства РФ от 28.09.2022 № 1702 (не вступило в силу) [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/>
13. Приказ Министерства коммунального хозяйства РСФСР от 27 октября 1970 г. № 404 «Об утверждении методики определения физического износа гражданских зданий» [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс». – URL: <https://www.consultant.ru/>

14. Приказ Минземстроя РФ от 04.08.1998 No 37 (ред. От 04.09.2000) «Об утверждении Инструкции о проведении учета жилищного фонда в Российской Федерации» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25054/
15. Приказ Минстроя России от 06.08.2020 No 430/пр «Об утверждении структуры и состава классификатора строительной информации» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008190028>
16. Приказ Минстроя России от 29.05.2019 No 314/пр «Об утверждении Методики разработки и применения укрупненных нормативов цены строительства, а также порядка их утверждения» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201906040038>
17. Приказ Минстроя России от 06.05.2024 No 306/пр «Об утверждении методических рекомендаций по определению оценочной стоимости капитального ремонта многоквартирного дома» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/00012024051000XX>
18. Письмо Минстроя России от 21.02.2022 No 3363-ОГ/08 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Минстроя России. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>
19. Письмо Минстроя России от 28.10.2020 No 43518-ИФ/09 «О проверке сметной стоимости капитального ремонта объектов капитального строительства при проведении государственной экспертизы проектной документации» [Электронный ресурс] // СПС «Гарант». – URL: <https://base.garant.ru/>
20. Письмо Минстроя России от 28.10.2020 No 43518-ИФ/09 «О проверке сметной стоимости капитального ремонта объектов капитального строительства при проведении государственной экспертизы проектной документации» [Электронный ресурс] // СПС «Гарант». – URL: <https://base.garant.ru/>
21. Письмо Минстроя России от 20.08.2024 No 47894-АФ/04 «О разъяснении положений законодательства, регулирующего государственный учет жилищного фонда» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Минстроя России. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>
22. Письмо Минстроя России от 06.07.2023 No 18386-ОГ/00 «О строительном контроле при проведении капитального ремонта» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Минстроя России. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>
23. Закон Архангельской области от 02.07.2013 No 701-41-ОЗ «Об организации проведения капитального ремонта...» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации Архангельской области. – URL: <http://duma.arkhgd.ru/>
24. Постановление Правительства Архангельской области от 29.08.2017 No 349-пп [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации Архангельской области. – URL: <http://duma.arkhgd.ru/>
25. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 31.07.1957 No 931 «О развитии жилищного строительства в СССР» [Текст] // Собрание постановлений Правительства СССР. – 1957. – No 9. – Ст. 102.
26. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 04.11.1955 No 1871 «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве» [Текст] // Собрание постановлений Правительства СССР. — 1955. — No 19. — Ст. 187.

27. IEC 81346-1:2022 «Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Structuring principles and reference designations – Part 1: Basic rules» [Электронный ресурс] // Официальный сайт IEC. – URL: <https://webstore.iec.ch/publication/67877>
28. INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities [Электронный ресурс] // INCOSE Official Website. – URL: <https://www.incose.org/products-and-publications/se-handbook>
29. ISO 15926 (серия) «Industrial automation systems and integration — Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities» [Электронный ресурс] // Официальный сайт ISO. – URL: <https://www.iso.org/standard/73778.html>
30. ISO/IEC/IEEE 15288:2023 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла системы» [Электронный ресурс] // Официальный сайт ISO. – URL: <https://www.iso.org/standard/81870.html>
31. ISO/IEC/IEEE 24765:2017 «Systems and software engineering — Vocabulary» [Электронный ресурс] // Официальный сайт ISO. – URL: <https://www.iso.org/standard/71952.html>
32. ГОСТ Р 58607-2019/ISO/IEC/IEEE 24748-4:2016 «Системная и программная инженерия. Управление жизненным циклом. Часть 4. Планирование системной инженерии» = «Systems and software engineering. Life cycle management. Part 4. Systems engineering planning» (утв. Приказом Росстандарта) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
33. ГОСТ Р ИСО 21500-2023 «Управление проектами, программами и портфелями проектов. Контекст и основные понятия» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
34. ГОСТ Р ИСО 22274-2016 «Системы управления терминологией, базами знаний и контентом. Концептуальные аспекты разработки и интернационализации систем классификации» (утв. Приказом Росстандарта от 30.11.2016 № 1903-ст) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
35. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
36. ГОСТ 18322-2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
37. ГОСТ 21.501-2018 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
38. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2015. – 20 с.
39. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
40. ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
41. ГОСТ Р 21.101-2020 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>

42. ГОСТ Р 51929-2014 «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Термины и определения» (утв. Приказом Росстандарта от 11.06.2014 No 543-ст) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
43. ГОСТ Р 54860-2011 «Теплоснабжение зданий. Общие положения методики расчета энергопотребности и эффективности систем теплоснабжения» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
44. ГОСТ Р 54869-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
45. ГОСТ Р 55062-2021 «Информационные технологии. Интероперабельность. Основные положения» = «Information technologies. Interoperability. Basic principles» (утв. Приказом Росстандарта от 25.10.2021 No 1296-ст) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
46. ГОСТ Р 57193-2025 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» (утв. Приказом Росстандарта от 25.03.2025 No 212-ст) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
47. ГОСТ Р 59793-2021 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания» (утв. Приказом Росстандарта от 25.10.2021 No 1285-ст) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
48. ВСН 42-85(р) «Правила приемки в эксплуатацию законченных капитальным ремонтом жилых зданий» [Текст] : утв. Приказом Госгражданстроя от 07.05.1985 No 135. – М. : Стройиздат, 1985. – 28 с.
49. ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий» [Текст] : утв. Приказом Госстроя СССР от 24.12.1986 No 446. – М. : Стройиздат, 1987. – 34 с.
50. ВСН 55-87(р) «Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на капитальный ремонт жилых зданий» (утв. Приказом Госгражданстроя СССР от 01.07.1987 No 203) (утратил силу) [Текст] // Бюллетень строительной техники. — 1987. — No 10. — С. 3-25.
51. ВСН 57-88(р) «Положение по техническому обследованию жилых зданий» [Текст] : утв. Приказом Госстроя СССР от 06.07.1988 No 191. – М. : Стройиздат, 1988. – 56 с.
52. ВСН 58-88(р) «Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения» (утв. Приказом Госкомархитектуры при Госстрое СССР от 23.11.1988 No 312) [Текст]. — М.: Стройиздат, 1989. — 78 с.
53. ВСН 61-89(р) «Реконструкция и капитальный ремонт жилых домов. Нормы проектирования» [Текст] : утв. Приказом Госкомархитектуры от 26.12.1989 No 250. – М. : Стройиздат, 1990. – 48 с.
54. МДС 12-29.2006 «Методические рекомендации по разработке и оформлению технологической карты» [Электронный ресурс] // Система нормативных документов в строительстве. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200046434>
55. МДС 13-1.99 «Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на капитальный ремонт жилых зданий» [Электронный ресурс] // Система нормативных документов в строительстве. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004024>

56. Методические рекомендации по оценке целесообразности проведения обследования технического состояния многоквартирного дома (утв. Фондом ЖКХ 30.12.2020) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Фонда ЖКХ. – URL: <https://www.fondgkh.ru/>
57. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» (утв. Постановлением Госстроя РФ от 21.08.2003 № 153) [Электронный ресурс] // Система нормативных документов в строительстве. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035428>
58. СП 255.1325800.2016 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения» (утв. Приказом Минстроя России от 24.08.2016 № 590/пр) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
59. СП 368.1325800.2017 «Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта» (утв. Приказом Минстроя России от 25.11.2017 № 1582/пр) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
60. СП 372.1325800.2018 «Здания жилые многоквартирные. Правила эксплуатации» (утв. Приказом Минстроя России от 18.01.2018 № 27/пр) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
61. СП 454.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные. Правила оценки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
62. СП 48.13330.2019 «СниП 12-01-2004 Организация строительства. Актуализированная редакция» (утв. Приказом Минстроя России от 24.12.2019 № 861/пр) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Росстандарта. – URL: <https://www.gost.ru/>
63. СТО НОСТРОЙ 2.33.14-2011 «Организация строительного производства. Общие положения» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Национального объединения строителей. – URL: <https://www.nostroy.ru/>
64. Абрамов, В. И. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития / В. И. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 691-716. – DOI 10.18334/vines.14.3.121484
65. Акристиний, В. А. Использование искусственного интеллекта при обследовании зданий и сооружений / В. А. Акристиний, А. С. Чернышова // Недвижимость: экономика, управление. – 2024. – № S3. – С. 44-48.
66. Алексанин, А. В. Использование информационных технологий на этапе строительства объекта // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 4(108). – С. 132-137. – DOI 10.33979/2073-7416-2023-108-4-132-137.
67. Ананьина, О. К., Шевченко, И. С., Лapidус, А. А. Формирование организационно-технологических аспектов научно-технического сопровождения проектирования и строительства зданий с заглублением подземной части полностью или частично ниже планировочной отметки земли более чем на 15 м // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 5. – URL: <https://esj.today/PDF/45SAVN519.pdf>.
68. Атаджанов, С. Роль искусственного интеллекта и машинного обучения в прогнозирующем обслуживании строительной техники / С. Атаджанов, М. Аллагулыев // Еo ipso. – 2024. – № 12. – С. 40-41.
69. Баженов, В. И. Оценка и прогноз надежности сетей водоснабжения с помощью искусственного интеллекта / В. И. Баженов, О. Г. Примин, В. В. Баженов // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 10. – С. 66-74. – DOI 10.33622/0869-7019.2024.10.66-74.

70. Баженов, В. И. Роль искусственного интеллекта в предотвращении утечек воды из сетей водоснабжения / В. И. Баженов, О. Г. Примин, В. В. Баженов // Строительство: наука и образование. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 98-111. – DOI 10.22227/2305-5502.2024.4.98-111.
71. Балыков, А. С. Прогнозирование прочности при сжатии и проектирование составов конструкционных легких бетонов с применением методов машинного обучения / А. С. Балыков, Е. А. Каледина, С. В. Володин // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 171-186. – DOI 10.15828/2075-8545-2023-15-2-171-186.
72. Байбурин, А. Х. Патент № 2742081 С1 Российская Федерация, МПК G01M 7/00. способ мониторинга технического состояния производственных зданий с оценкой рисков аварии : № 2020110745 : заявл. 12.03.2020 : опубл. 02.02.2021 / А. Х. Байбурин, Д. А. Байбурин, Н. И. Фомин ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)" ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)". – EDN QAGGIL.
73. Баркалов, С. А., Курочка, П. Н., Мищенко, В. Я. Моделирование и автоматизация организационно-технологического проектирования строительного производства : учеб. Пособие / С. А. Баркалов, П. Н. Курочка, В. Я. Мищенко. – Воронеж : [б. и.], 1997. – 120 с.
74. Баширова, Д. Р. Прогнозирование осадок оснований автомобильных дорог на высоких насыпях на основе машинного обучения по данным геодезических измерений / Д. Р. Баширова, М. Я. Брын, Д. А. Кривонос // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2022. – Т. 27, № 5. – С. 19-29. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-5-19-29.
75. Боброва, Т. В. И др. Совершенствование организационно-технологического проектирования линейных транспортных объектов на основе моделирования их пространственной декомпозиции // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 4 (32). – С. 169–175. – DOI: 10.18324/2077-5415-2016-4-169-175.
76. Болотин С.А. Методология оптимального ресурсораспределения в календарном планировании строительства объектов и их комплексов: Дисс. Док. Техн. Наук. / СпбГА-СУ С.-Пб.; 1998. – 328с.
77. Болотин, С. А., Дадар, А. Х., Оолакай, З. Х. Возможности использования ресурсных профилей в организационно-технологическом проектировании // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 12 (19). – URL: <https://research-journal.org/archive/12-19-2013-december/vozmozhnosti-ispolzovaniya-resursnykh-profilej-v-organizacionno-technologicheskoy-proektirovaniy>.
78. Борисов, К. Б. Анализ факторов, влияющих на повышение энергоэффективности многоквартирных домов с учетом территориально-климатических различий. Часть 1 / К. Б. Борисов // Энергосбережение. – 2024. – № 4. – С. 44-51.
79. Борисов, К. Б. Анализ факторов, влияющих на повышение энергоэффективности многоквартирных домов с учетом территориально-климатических различий. Часть 2 / К. Б. Борисов // Энергосбережение. – 2024. – № 5. – С. 30-37.
80. Бриллиант, Л. С. Интеграция методов машинного обучения и геолого-гидродинамического моделирования при проектировании разработки месторождений / Л. С. Бриллиант, А. С. Завьялов, М. Ю. Данько [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 48-53. – DOI 10.24887/0028-2448-2022-3-48-53.
81. Бурков В.Н., Буркова И.В. Метод дихотомического программирования в задачах дискретной оптимизации. Научное издание ЦЕМИРАН. М., 2003.

82. Валинтеева, В. П., Козлов, И. Д., Ехаев, Н. Ю., Николаев, Ю. Н. Совершенствование методов организационно-технологического проектирования // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-metodov-organizatsionno-tehnologicheskogo-proektirovaniya>.
83. Вильман, Ю. А. Особенности технологии и механизации возведения многоэтажных зданий / Ю. А. Вильман, С. А. Синенко, П. Г. Грабовый [и др.] // Вестник МГСУ. – 2012. – № 4. – С. 170-174.
84. Волков, С. В. Техничко-экономические показатели оценки качества организационно-технологических решений строительства жилых объектов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 9(657). – С. 34-42.
85. Волкодав, В. А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий / В. А. Волкодав, И. А. Волкодав // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, № 6. – С. 867-906. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906.
86. Гайдо, А. Н. Информационное моделирование здания (BIM) с учетом технологических параметров при производстве работ нулевого цикла / А. Н. Гайдо // Жилищное строительство. – 2019. – № 4. – С. 47. – DOI 10.31659/0044-4472-2019-4-47-55.
87. Гайдо, А. Н. Методические подходы к оценке качества разработки проектов производства работ / А. Н. Гайдо // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 1(109). – С. 571-592.
88. Гайдо, А. Н. Особенности построения цифровых информационных моделей объектов на стадии строительства нулевого цикла / А. Н. Гайдо, А. Г. Погода // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы II Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 64-69. – DOI 10.23968/BIMAC.2019.011.
89. Гайдо, А. Н. Оценка актуальности применения норм времени / А. Н. Гайдо, Е. В. Хорошенькая, М. А. Капустин // Экономика строительства. – 2025. – № 3. – С. 110-112.
90. Гайдо, А. Н. Оценка технологических рисков при разработке проектов производства работ / А. Н. Гайдо // Экономика строительства. – 2025. – № 1. – С. 450-453.
91. Гайдо, А. Н. Современные методы проведения строительного контроля / А. Н. Гайдо, А. Г. Погода // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 2(110). – С. 491-505.
92. Гинзбург, А. В. Возможности искусственного интеллекта по повышению организационно-технологической надежности строительного производства / А. В. Гинзбург, А. И. Рыжкова // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13, № 1(112). – С. 7-13. – DOI 10.22227/1997-0935.2018.1.7-13. –
93. Гинзбург, А. В. Моделирование организации работы строительной техники // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 9. – С. 9-11. – EDN PCVIMB.
94. Грабовый, П. Г. Реконструкция и обновление сложившейся застройки города. Учебное пособие для вузов. / под общей ред. П.Г. Грабового и В.А. Харитоновой – М.: Изд-ва «АСВ» и «Ре-алпроект», 2006. – с. 624.
95. Гранов, Г. С. Экономико-математическое моделирование в решении организационно-управленческих задач в строительстве. Учебное пособие / Г.С. Гранов, Г.Ш. Сафаров, К.Р. Тагирбеков – М.: АСВ, 2001. – 64 с.
96. Дахе, А. Использование алгоритмов машинного обучения для обнаружения и диагностики неисправностей в системах жизнеобеспечения / А. Дахе, В. В. Стучилин // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2024. – № 70(96). – С. 93-99. – DOI 10.36807/1998-9849-2024-70-96-93-99. –

97. Дацюк Т. А., Гримитлин А. М. Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на энергопотребление жилых зданий // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6 (65). – С. 182-187.
98. Дацюк Т. А., Уляшева В. М., Пухкал В. А., Верховский А. А. Влияние удельной вентиляционной характеристики офисных зданий на энергопотребление // Вестник гражданских инженеров. – 2024. – № 1(102). – С. 73-83.
99. Дудина, А. Г. Организационно-технологический механизм сокращения энергозатрат при возведении крупнопанельных зданий : дис. ... канд. Техн. Наук. – 2022. – 166 с.
100. Жадановский, Б. В., Синенко, С. А., Кужин, М. Ф. Рациональные организационно-технологические схемы производства строительно-монтажных работ в условиях реконструкции действующего предприятия // Технология и организация строительного производства. – 2014. – № 1. – С. 38–40.
101. Жаров, Я. В. Организационно-технологическое проектирование в строительстве на основе интеллектуального блока планирования // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – Т. 16, № 6. – С. 193–199. – DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-6-193-199.
102. Жаров, Я. В. Оценка параметров организационно-технологических решений на основе нейросетевых моделей // Новые технологии в строительстве. – 2023. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-parametrov-organizatsionno-tehnologicheskikh-resheniy-na-osnove-neyrosetevykh-modeley-1>.
103. Иванец, В. К. Информационная технология проектирования организационно-технологических процессов в строительстве : автореф. Дис. ... д-ра техн. Наук : 05.13.12. – Москва, 2000.
104. Иванов, Н. А. Оценка состояния зданий перед ремонтными работами на основе применения технологий машинного обучения / Н. А. Иванов, М. В. Гневанов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 4(94). – С. 46-48.
105. Кабанов, В. Н. Organizational and technological reliability of the construction process // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – № 1(77). – С. 59–67. – DOI: 10.18720/MCE.77.6.
106. Кабанов, А. В. Формирование рационального варианта организационно-технологических решений по критерию издержек на производство работ / А. В. Кабанов // Системные технологии. – 2021. – № 2(39). – С. 11-16. – EDN SDHCGD.
107. Каган, П. Б. Повышение эффективности организационно-технологического проектирования в строительстве за счет его модернизации с использованием современных цифровых технологий // Отходы и ресурсы. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 9. – DOI: 10.15862/09INOR120.
108. Кашеварова, Г. Г. Искусственный интеллект», или «логические рассуждения и разумные решения» в технической диагностике объектов строительства / Г. Г. Кашеварова // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 4. – С. 166-180. – DOI 10.22337/2077-9038-2023-4-166-180.
109. Киевский, И. Л. Формирование центров компетенций применения технологий информационного моделирования в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 11. – С. 4-10. – DOI 10.33622/0869-7019.2021.11.04-10.
110. Князева, Н. В. Применение искусственного интеллекта для обнаружения дефектов в строительных конструкциях / Н. В. Князева, Е. А. Назойкин, А. А. Орехов // Строительство и архитектура. – 2023. – Т. 11, № 3. – С. 18. – DOI 10.29039/2308-0191-2023-11-3-18-18.
111. Колчеданцев, Л. М., Волков, С. В., Дроздов, А. Д. Организация строительной площадки для возведения высотных зданий при размещении приобъектного бетоносмесительного узла // Жилищное строительство. – 2015. – № 2. – С. 38.

112. Концепция использования искусственного интеллекта в автоматизированных системах управления твердыми бытовыми отходами / Н. П. Сапарходжаев, К. М. Акишев, Д. С. Жамангарин [и др.] // Труды университета. – 2024. – № 1(94). – С. 472-480. – DOI 10.52209/1609-1825_2024_1_472.
113. Король, О. А. Energy-efficient activities in various stages of organizational and technological design in the construction of objects of monolithic housing // BST: Byulleten' stroitel'noj tehniki. – 2016. – № 6(982). – С. 60–61.
114. Король, О. А. Основные подходы и принципы формирования методики оценки эффективности энергосберегающих мероприятий в строительном производстве // Научное обозрение. – 2015. – № 12. – С. 393-396.
115. Король, С. П. Сетевое моделирование в календарном планировании организационно-технологического проектирования: строительство // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 9. – С. 3317-3328. – DOI 10.18334/epp.13.9.118701.
116. Кривов'яз, Ю. О. Застосування концепцій прогнозного технічного обслуговування з використанням методів машинного навчання / Ю. О. Кривов'яз // Актуальні наукові дослідження в сучасному світі. – 2021. – № 12-9(80). – С. 101-111.
117. Крылов, С. А. Автоматизация диагностирования причин возникновения дефектов на фасадах кирпичных зданий с применением технологий искусственного интеллекта / С. А. Крылов, Г. Г. Кашеварова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2023. – № 4(52). – С. 51-62. – DOI 10.15593/2409-5125/2023.04.05.
118. Кунелбаев, М. М. Использование алгоритмов машинного обучения для системы солнечного теплоснабжения / М. М. Кунелбаев // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 3(87). – С. 72-81.
119. Куриленко Н. И., Давлятчин Р. Р., Шалагин И. Ю. Воздухопроницаемость как составляющая удельного расхода на отопление и вентиляцию зданий // Сб. междунар. Науч.-практ. Конф. 15.04.2014. Т. 2. Тюмень: ТюмГАСУ, 2014.
120. Курочка, П. Н. Разработка моделей и механизмов организационно-технологического проектирования строительного производства : автореф. Дис. ... д-ра техн. Наук : 05.23.08. – Воронеж, 2004. – 34 с.
121. Лapidус, А. Organizational and technological platform of construction // Vestnik MGSU. – 2022. – Т. 17, № 4. – С. 516–524. – DOI: 10.22227/1997-0935.2022.4.516-524.
122. Лapidус, А. А. Актуальные проблемы организационно-технологического проектирования // Технология и организация строительного производства. – 2013. – № 3. – С. 1.
123. Лapidус, А. А., Экба, С. И., Трегубова, Е. Б., Кормухин, С. А. Методика типизации многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту общего имущества // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 2(770). – С. 56-64. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-770-2-56-64.
124. Лебедев, В. М. Проектирование системоквантов строительных процессов поточного производства работ на возведении кирпичных зданий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 172-179.
125. Ливчак В. И. Об экспериментальной оценке показателя энергоэффективности многоквартирных зданий // Энергосбережение. – 2018. – № 5. – С. 32-38.
126. Лобов О. И., Ананьев А. И., Рымаров А. Г. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 11. – С. 67-71.

127. Лоечко, А. С. Метаморфоза методологий информационного моделирования в период эксплуатации строительного объекта / А. С. Лоечко, З. Р. Тускаева // Национальная Ассоциация Ученых. – 2022. – № 77. – С. 40-43. – EDN ZYLRLMK.
128. Маилян, А. Л. Научные и методологические принципы организационно-технологического анализа и выбора оптимальных вариантов производства строительно-монтажных работ : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, 2020. – 331 с.
129. Макрушин, Н. С. Эффективность применения методов организационно-технологического проектирования и экологичности строительства в городских условиях в связке с BIM-средой / Н. С. Макрушин, В. А. Панин, А. А. Овсепян [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 6. – С. 273-275.
130. Малыгина, С. В. Совершенствование организационно-технологического проектирования с целью повышения надежности возведения жилых зданий : автореф. Дис. ... канд. Техн. Наук. – Омск, 2005.
131. Методическое пособие «Классификация и кодирование информационных моделей объектов капитального строительства промышленного назначения» / ФАУ «ФЦС». — М., 2021. — 151 с. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Минстроя России. — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/>
132. Михайлова, Е. В. Искусственный интеллект как инструмент оптимизации ресурсных графиков / Е. В. Михайлова, В. В. Савина, И. М. Савин // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 52-56. – DOI 10.54950/26585340_2022_2_52.
133. Мищенко В.Я., Драпалюк Д.А // Система информационных матриц при организации конкурентоспособного управления в жилищно-коммунальном комплексе недвижимости // Оценка риска и безопасность строительных конструкций: сб. ст. по материалам 1-й международной. Науч –практ. Конф. – Воронеж: ВГАСУ, 2006. – С. 99-100.
134. Мищенко В.Я., Драпалюк Д.А., Назаров А.Н. // Моделирование проведения ремонтно-строительных работ при эксплуатации жилого фонда // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – Вып. №24.
135. Мищенко, В. Я. Моделирование выполнения бригадами комплекса технологических процессов в организационно-технологическом проектировании / В. Я. Мищенко, Е. П. Горбачева, С. Ю. Арчакова, М. Г. Добросоцких // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2017. – № 6. – С. 37-43.
136. Молодин, В. В., Волков, С. В. Организационно-технологическое проектирование строительства жилых объектов : учеб. Пособие / В. В. Молодин, С. В. Волков. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2015. – 216 с.
137. Москвина, Ю. Н. Современное состояние организационно-технологического проектирования в строительстве // Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Тверь, 20 февраля 2020 года / Под общей редакцией Т.Б. Новиченковой. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2020. – С. 108-113.
138. Назойкин, Е. А. Применение искусственного интеллекта для обнаружения дефектов в строительных конструкциях зданий / Е. А. Назойкин, А. А. Орехов // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности : Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», 2023. – С. 398-304.

139. Овчинников, А. Н. Рассмотрение современных научно-технических подходов к организационно-технологическому проектированию // Технология и организация строительного производства. – 2017. – № 1(2). – С. 18-21.
140. Панибратов Ю. П. Муниципальное управление и социальное планирование в строительстве: учебное пособие для вузов /Ю. П. Панибратов, А. Н. Ларионов, Ю. В. Иванова. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 256с.
141. Погорелов, В. А., Карандина, Е. В., Побегайлов, О. А. Особенности технико-экономического обоснования организационно-технологического проектирования реконструкции // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4.
142. Поляков, В. Г. Организационно-технологические проблемы при строительстве в стесненных городских условиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – № 2(79). – С. 113-118.
143. Понявина, Н. А., Чеснокова, Е. А., Емельянов, Д. И., Косовцева, И. А. Организационно-технологическое проектирование при реализации инвестиционно-строительного проекта : учеб. Пособие / сост.: Н. А. Понявина, Е. А. Чеснокова, Д. И. Емельянов, И. А. Косовцева. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2021. – 76 с. – ISBN 978-5-4446-1579-9.
144. Попова О. Н., Глебова Ю. М. Энергетическая устойчивость жилой застройки как критерий комплексной оценки энергосистемы города // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2018. – № 3(66). – С. 7–18. – DOI 10.18720/CUBS.66.1.
145. Попова О.Н. Преобразование структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий на этапе эксплуатации // Строительное производство. – 2025. - №1. – С.87-92. – DOI: 10.54950/26585340_2025_1_87.
146. Попова О.Н., Глебова Ю.М. Мониторинг и оценка качества урбанизированных территорий на основе методов нейросетевого моделирования и ГИС // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. - №11(62). – С.47-59. – DOI: 10.18720/CUBS.62.4.
147. Попова О.Н., Глебова Ю.М. Энергетическая устойчивость жилой застройки как критерий комплексной оценки энергосистемы города // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2018. - №3(66). – С.7-18. – DOI: 10.18720/CUBS.66.1.
148. Попова О.Н., Заостровская А.С. Цифровое моделирование технического состояния зданий для целей технического обслуживания и ремонта // Инженерный вестник Дона. – 2025. - №5. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2025/10031.
149. Попова О.Н., Заостровская А.С., Юдина А.Ф. Проблемы и задачи построения цифровой информационной модели зданий для реализации программ капитального ремонта жилищного фонда // Жилищное строительство. – 2024. - №1-2. – С.80-86. – DOI: 10.31659/0044-4472-2024-1-2-80-86.
150. Попова О.Н., Симанкина Т.Л., Соколовский Н.Д. Планирование периодичности ремонта жилых зданий на основе динамического программирования // Современная наука и инновации. – 2017. - №2(18). – С.154-164.
151. Попова О.Н., Шошина А.А., Юдина А.Ф., Симанкина Т.Л. Исследование энергоэффективности жилищного фонда для разработки технологических решений при капитальном ремонте // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2025. – Т.15, №1. – С.97-109. – DOI: 10.21285/2227-2917-2025-1-97-109.

152. Попова О.Н., Юдина А.Ф., Заостровская А.С. Информационные системы ЖКХ в цифровой вертикали строительной отрасли // Строительное производство. – 2024. - №4. – С.35-40. – DOI: 10.54950/26585340_2024_4_35.
153. Попова, О. Н. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / О. Н. Попова, Т. Л. Симанкина // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7(42). – С. 40-50. – DOI 10.5862/MCE.42.6.
154. Попова, О. Н. Применение самоорганизующихся карт (SOM) для анализа жилищного фонда при его комплексном воспроизводстве // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 10(81). – С. 171-178.
155. Попова, О.Н. Методы машинного обучения для организационно-технологического проектирования капитального ремонта жилищного фонда // Жилищное строительство. 2025. № 5. С. 39–46. – URL <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2025-5-39-46>
156. Попова, О.Н. Прогнозирование износа строительных конструкций с использованием логистической модели ремонтно-восстановительных работ // Строительные материалы. – 2025. - №4. – С. 73-80. – DOI: 10.31659/0585-430X-2025-834-4-73-80
157. Попова, О.Н., Заостровская А.С. Разработка каталогов дефектов единичных строительных конструкций для эксплуатационных цифровых информационных моделей зданий // Инженерный вестник Дона. – 2025. - №7. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10213.
158. Практическое пособие по повышению энергетической эффективности многоквартирных домов (МКД) при капитальном ремонте. – Москва, 2015.
159. Протасова, М. А. Использование беспилотных летательных аппаратов и методов машинного обучения для технического обследования кровельных покрытий зданий / М. А. Протасова, Н. И. Фомин // Молодой ученый. – 2020. – № 17(307). – С. 71-73.
160. Пухкал В. А., Шкаровский А. Л., Черненко В. П., Кобзарь А. В. Теплопотребление жилых зданий на отопление и вентиляцию в процессе эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 1(96). – С. 103-110.
161. Римшин, В. И. Применение искусственного интеллекта при обследовании арматуры зданий и сооружений / В. И. Римшин, В. А. Кучеренко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 1(781). – С. 39-46. – DOI 10.32683/0536-1052-2024-781-1-39-46.
162. Сагайдак, М. М. Как компьютерные технологии влияют на строительство зданий и сооружений / М. М. Сагайдак, А. Ф. Юдина // SCIENCE AND EDUCATION: PROBLEMS AND INNOVATIONS : сборник статей III Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 февраля 2020 года. – Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 78-81. – EDN MFMFFN.
163. Салихов, М. Р. Алгоритм прогнозирования состояния оборудования на основе машинного обучения / М. Р. Салихов, Р. А. Юрьева // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2022. – Т. 65, № 9. – С. 648-655. – DOI 10.17586/0021-3454-2022-65-9-648-655.
164. Синенко, С. А. Опыт применения новых технологий при возведении современных зданий и сооружений (на примере комплекса ММДЦ «Москва-Сити») / С. А. Синенко, Э. Эммин, П. Г. Грабовый [и др.] // Вестник МГСУ. – 2012. – № 4. – С. 165-169. – EDN PABGSJ.
165. Соболев, В. В. Математическое моделирование и методы оптимизации в проектировании организации строительства // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 1(159). – С. 106-109.

166. Соболев, В. В. Оптимальные методы в развитии организационно-технологического проектирования строительных процессов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 5(163). – С. 102-105.
167. Спиридонов, С. В. Предотвращение аварий в системах теплоснабжения / С. В. Спиридонов, Х. Н. Низамов // Теплоэнергетика. – 1999. – № 7. – С. 66-69.
168. Сулейманова, Л. А. Управление жизненным циклом здания на этапе эксплуатации с использованием моделей искусственных нейронных сетей и машинного обучения / Л. А. Сулейманова, А. А. Обайди // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 3. – С. 38-46. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-3-38-46.
169. Тарасевич Е. И Управление эксплуатацией недвижимости. СПб.: Издательство «МКС», 2006. 838 с.
170. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.: ил. – Парал. Тит. Англ.
171. Топчий, Д. В. Основы функционирования организационно-технологических систем реноваций производственных территорий // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 1. – С. 141-143.
172. Топчий, Д. В. Теоретические основы для совершенствования прямых неразрушающих методов испытаний в рамках инструментального контроля // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16, № 4.
173. Тупицына, Д. С. Анализ оценки категорий технического состояния строительных конструкций / Д. С. Тупицына, А. Х. Байбурин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 75-84. – DOI 10.14529/build210110. – EDN FXXSTW.
174. Тускаева, З. Р. Осуществление строительного контроля с применением технологий информационного моделирования зданий и виртуальной реальности / З. Р. Тускаева, З. В. Албегов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 2(74). – С. 371-384. – EDN SFOPMK.
175. Узаев, М. А. Комплексное организационно-технологическое проектирование крытых стадионов с использованием BIM-технологий // Экономика строительства. – 2024. – № 3. – С. 252-256.
176. Учебное пособие «Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве» // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 4(23). – С. 190-192.
177. Фомин, Н. И. Организационно-технологическое обеспечение комплексного повышения эксплуатационных качеств монолитных и сборно-монолитных гражданских зданий : автореф. Дис. ... канд. Техн. Наук. – 2023.
178. Фролова, А. А., Лухменев П. И. Расчет уровня энергетически целесообразной теплозащиты // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 1. – С. 82-90.
179. Хальясмаа, А. И. Машинное обучение как инструмент повышения эффективности управления жизненным циклом высоковольтного электрооборудования / А. И. Хальясмаа // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 5(154). – С. 1093-1104. – DOI 10.21285/1814-3520-2020-5-1093-1104.
180. Чебанова, С. А. Организационно-технологические решения строительства в стесненных городских условиях // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1(48). – С. 179.

181. Чумакова, С. В. Применение математического моделирования к задачам прикладного характера // Современная интеллектуальная трансформация социально-экономических систем : материалы III международной научно-практической конференции, Саратов, 17 марта 2020 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Институт исследований и развития профессиональных компетенций», 2020. – С. 147-150.
182. Шрейбер К. А. Технология и организация ремонтно-строительного производства. Научное издание. М.: Издательство АСБ, 2008. 296 с.
183. Шрейбер К.А. Вариантное проектирование при реконструкции жилых зданий. – М.: Стройиздат, 1990. – 287 с.
184. Экба, С. И., Трегубова, Е. Б., Кормухин, С. А. Основные факторы, влияющие на выбор организационно-технологических решений при капитальном ремонте жилых домов // Строительное производство. – 2023. – № 4. – С. 83-87. – DOI 10.54950/26585340_2023_4_83.
185. Юдина, А. Ф. Использование BIM-технологий для контроля качества проектов строительной инфраструктуры / А. Ф. Юдина, С. Ю. Григорьев, В. З. Величкин // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 2(79). – С. 132-137. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-132-137.
186. Юдина, А. Ф. Модель структурного уравнения контроля качества в строительном производстве Вьетнама / А. Ф. Юдина, Т. Х. Нгуен // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 1(78). – С. 140-149. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-140-149.
187. Юдина, А. Ф. Оптимизация выбора данных для обеспечения теплофизических характеристик ограждающих конструкций / А. Ф. Юдина, Э. С. Головина // Технология и организация строительства : Материалы I Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство», Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 года / Под общей редакцией А.Н. Гайдо. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 458-465.
188. Юдина, А. Ф. Развитие технологий жилищного строительства в Санкт-Петербурге / А. Ф. Юдина, С. А. Евтюков, Ю. И. Тилинин // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 1(72). – С. 110-119. – DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-110-119.
189. Юдина, А. Ф. Реконструкция перекрытий в зданиях старого жилого фонда методом облегченной конструкции / А. Ф. Юдина // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3(99). – С. 317-326.
190. Юдина, А. Ф. Совершенствование конструктивно-технологических решений по устройству «мокрого» фасада / А. Ф. Юдина, П. В. Стрижнев // Заметки ученого. – 2020. – № 9. – С. 407-412.
191. Юргайтис, А. Ю. Формирование организационно-технологических решений как фактора интенсификации проектов производственных программ строительных предприятий / А. Ю. Юргайтис, Д. Д. Зуева, Е. С. Бабушкин, А. А. Зеленцов // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 5. – С. 227-231.
192. Agostinelli, S., Cumo, F. Machine Learning Approach for Predictive Maintenance in an Advanced Building Management System // WIT Transactions on Ecology and the Environment. – 2022. – Vol. 255. – ISSN 1743-3541 (on-line). – DOI: 10.2495/EPM220111.
193. Alghanmi A., Yunusa-Kaltungo A., Edwards R.E. Investigating the influence of maintenance strategies on building energy performance: A systematic literature review. Energy Reports. 2022;8:14673–14698. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.441>.

194. Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J. [и др.] Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions // *Journal of Big Data*. – 2021. – Vol. 8. – Article 53. – DOI: 10.1186/s40537-021-00444-8.
195. Bashmakov I., Myshak A., Bashmakov V. [et al.]. Compact meta-models to estimate the effects of energy efficiency policies and measures // *Energy Efficiency*. – 2024. – Vol. 17, No. 5. – P. 45. – DOI 10.1007/s12053-024-10222-z. – EDN VQSIHG.
196. Bengio, Y., Courville, A., Vincent, P. Representation Learning: A Review and New Perspectives // *ArXiv*. – 2012. – arXiv:1206.5538v3 [cs.LG]. – URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1206.5538>.
197. Bojanowski, P., Joulin, A. Unsupervised Learning by Predicting Noise // *ArXiv*. – 2017. – arXiv:1704.05310v1 [stat.ML]. – URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.05310>.
198. Borgstein E. H., Lamberts R., Hensen J. L. M. Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review // *Energy and Buildings*. – 2016. – Volume 128. – P. 734–755. – ISSN 0378-7788. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>.
199. Bouabdallaoui, Y., Lafhaj, Z., Yim, P., Ducoulombier, L., Bennadji, B. Predictive Maintenance in Building Facilities: A Machine Learning-Based Approach // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, no. 4. – P. 1044. – DOI: 10.3390/s21041044. – URL: <https://doi.org/10.3390/s21041044>.
200. Chen, H., Wang, Y., Xu, C., Yang, Z., Liu, C., Shi, B., Xu, C., Xu, C., Tian, Q. Data-Free Learning of Student Networks // *ArXiv*. – 2019. – arXiv:1904.01186v4 [cs.LG]. – URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.01186>.
201. Chen, J., Lu, W., Liu, D. Built environment defect mapping, modeling, and management (D3M): A BIM-based integrated framework // *Journal of Intelligent Construction*. – 2024. – Vol. 2, no. 1. – DOI: 10.26599/JIC.2024.9180008. – URL: <https://doi.org/10.26599/JIC.2024.9180008>.
202. Chung W. Using the fuzzy linear regression method to benchmark the energy efficiency of commercial buildings // *Applied Energy*. – 2012. – Volume 95. – P. 45–49. – ISSN 0306-2619. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.061>.
203. Cuerda E., Guerra-Santin O., Sendra J. J., Neila F. J. Understanding the performance gap in energy retrofitting: measured input data for adjusting building simulation models // *Energy & Buildings*. – 2019. – PII: S0378-7788(19)32211-X. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109688>.
204. De Wilde P. The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation // *Automation in Construction*. – 2014. – Volume 41. – P. 40–49. – ISSN 0926-5805. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>.
205. Er-Retby, H., Zoubir, Z., Kaitouni, S. I., Mghazli, M. O., Elmankibi, M., Benzaazoua, M. Indoor Environment's Quality IEQ Forecasting for a Residential Building Using Machine Learning Models // *Sustainability in Energy and Buildings 2023: Proceedings of the SEB 2023* / Ed. By J. R. Littlewood, L. Jain, R. J. Howlett. – Singapore: Springer, 2024. – (Smart Innovation, Systems and Technologies; Vol. 378). – P. 249–260. – DOI: 10.1007/978-981-99-8501-2_23.
206. Fan C., Xiao F., Zhao Y. A short-term building cooling load prediction method using deep learning algorithms // *Applied Energy*. – 2017. – Volume 195. – P. 222–233. – ISSN 0306-2619. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.064>.
207. Farrar C.R., Worden K. *Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective*. — 1st ed. — Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. — First published: 1 November 2012. — ISBN 978-1-119-99433-6 (print), ISBN 978-1-118-44311-8 (online). — DOI: 10.1002/9781118443118.

208. Gao X., Malkawi A. A new methodology for building energy performance benchmarking: An approach based on intelligent clustering algorithm // *Energy and Buildings*. – 2014. – Volume 84. – P. 607–616. – ISSN 0378-7788. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.030>.
209. Gao Y., Mosalam K.M. Deep Transfer Learning for Image-Based Structural Damage Recognition // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. – 2018. – First published: 16 April 2018. – DOI: 10.1111/mice.12363. – Citations: 587.
210. Gao, R., Pishdad-Bozorgi, P., Tang, S., Shelden, D. R. Machine Learning-Based Building Life-Cycle Cost Prediction: A Framework and Ontology // *Proceedings of the Construction Research Congress 2020*. – Tempe, Arizona, 2020. – DOI: 10.1061/9780784482865.116.
211. Gao, X., Pishdad-Bozorgi, P. BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review // *Advanced Engineering Informatics*. – 2019. – Vol. 39. – P. 227–247. – ISSN 1474-0346. – DOI: 10.1016/j.aei.2019.01.005.
212. Hashim, B., Sallehudin, H., Safie, H., Hussain, A. H., Bakar, N. A. A., Yahya, F., Ihsan, A., Abdelghany, S. Building Information Modeling and Internet of Things Integration in the Construction Industry: A Scoping Study // *Advances in Civil Engineering*. – 2022. – Vol. 2022. – P. 1–20. – DOI: 10.1155/2022/7886497.
213. Ikeda, S., Nagai, T. A novel optimization method combining metaheuristics and machine learning for daily optimal operations in building energy and storage systems // *Applied Energy*. – 2021. – Vol. 289. – P. 116716. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116716.
214. Jiang, P. A Generalized Attention Mechanism to Enhance the Accuracy Performance of Neural Networks / P. Jiang, F. Neri, Y. Xue, U. Maulik // *International Journal of Neural Systems*. – 2024. – DOI: 10.1142/S0129065724500631. – Издательство: World Scientific Pub Co Pte Ltd.
215. Jin, S. Research on the Application of Machine Learning in Predictive Maintenance of Building Structures // *Artificial Intelligence for Future Society: Proceedings of the AIS 2024* / Ed. By V. Palade, M. Favorskaya, S. Patnaik, M. Simic, S. Belciug. – Cham: Springer, 2024. – (Learning and Analytics in Intelligent Systems; Vol. 41). – P. 381–391. – DOI: 10.1007/978-3-031-69457-8_35.
216. Jung, N., Lee, G. Automated classification of building information modeling (BIM) case studies by BIM use based on natural language processing (NLP) and unsupervised learning // *Advanced Engineering Informatics*. – 2019. – Vol. 41. – P. 100917. – ISSN 1474-0346. – DOI: 10.1016/j.aei.2019.04.007. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034618304981>.
217. Kavousian A., Rajagopal R., Fischer M. Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior // *Energy*. – 2013. – Volume 55. – P. 184–194. – ISSN 0360-5442. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>.
218. Korol', E. A. Improvement of organizational and technological design of low-rise residential buildings with consumption of fuel and energy resources // *Real Estate: Economics, Management*. – 2021. – No. 2. – P. 63-68. – EDN LAWHAR.
219. Li, Y. Automatic pixel-level detection method for concrete crack with channel-spatial attention convolution neural network / Y. Li, M. Yu, D. Wu, R. Li, K. Xu, L. Cheng // *Structural Health Monitoring: An International Journal*. – 2023. – Vol. 22, no. 2. – P. 1460–1477. – DOI: 10.1177/14759217221109496. – Publisher: SAGE Publications Ltd.
220. Martinez, P., Al-Hussein, M., Ahmad, R. A scientometric analysis and critical review of computer vision applications for construction // *Automation in Construction*. – 2019. – Vol. 107. – P. 102947. – ISSN 0926-5805. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102947>.

221. Mathumitha, R., Rathika, P., Manimala, K. Intelligent deep learning techniques for energy consumption forecasting in smart buildings: a review // *Artificial Intelligence Review*. – 2024. – Vol. 57. – Article number 35. – DOI: 10.1007/s10462-023-10660-8.
222. Nelson, W., Culp, C. Machine Learning Methods for Automated Fault Detection and Diagnostics in Building Systems—A Review // *Energies*. – 2022. – Vol. 15, no. 15. – P. 5534. – DOI: 10.3390/en15155534.
223. Nikolenko, S. I. Synthetic Data for Deep Learning // *ArXiv*. – 2019. – arXiv:1909.11512v1 [cs.LG]. – URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.11512>.
224. Numan, M. Advancements in Structural Health Monitoring: A Review of Machine Learning Approaches for Damage Detection and Assessment / M. Numan // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. – 2024. – Vol. 20, No. 1. – P. 124-142. – DOI 10.22337/2587-9618-2024-20-1-124-142. – EDN QUUANL.
225. Pan, Y., Zhang, L. Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions // *Archives of Computational Methods in Engineering*. – 2023. – Vol. 30. – P. 1081–1110. – DOI: 10.1007/s11831-022-09830-8.
226. Paolanti, M., Romeo, L., Felicetti, A., Mancini, A., Frontoni, E., Loncarski, J. Machine Learning approach for Predictive Maintenance in Industry 4.0 // *Proceedings of the 2018 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*. – 2018. – DOI: 10.1109/MESA.2018.8449150.
227. Papadopoulos S., Bonczak B., Kontokosta C. E. Pattern recognition in building energy performance over time using energy benchmarking data // *Applied Energy*. – 2018. – Volume 221. – P. 576–586. – ISSN 0306-2619. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.079>.
228. Papadopoulos S., Kontokosta C. E. Grading buildings on energy performance using city benchmarking data // *Applied Energy*. – 2019. – Volumes 233–234. – P. 244–253. – ISSN 0306-2619. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.053>.
229. Papadopoulos, S. Grading buildings on energy performance using city benchmarking data / S. Papadopoulos, C. Kontokosta // *Applied Energy*. – 2019. – Vol. 233–234. – P. 244–253. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.10.053.
230. Popova O. CLUSTERING OF CITY HOUSING FACILITIES BASED ON SELF-ORGANIZING MAPS / Simankina T., Popova O. // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. № 725-726. C. 1057.
231. Popova O. Neural network application for scheduling of building construction repair / T. Simankina, O. Popova // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 584-586. – P. 1944-1950. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.584-586.1944.
232. Popova, O. Cities of North-West Federal District: The state of urban development sector and its main challenges / O. Popova, M. Perekopskaya, E. Martynova, K. 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.
233. Popova, O. Climate dependent energy-efficient technologies of major housing renovation / O. Popova, Yudina A.; Shoshina A.; Simankina T. // *AIP Conf. Proc.* 2936, 020006 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0179456>
234. Popova, O. Complex assessment of urban housing energy sustainability / O. 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.

235. Popova, O. Energy performance of areas for urban development (Arkhangelsk is given as example) / O. 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.
236. Popova, O. Feasibility study of energy efficient repair of residential buildings of the first mass series / O. 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.
237. Popova, O. Kohonen cards for clustering fund of the residential real-estate / O. Popova, T. 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/matecconf/201710601013.
238. Popova, O. Planning of the territory of large cities of Russia in the interests of their sustainable development / O. 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.
239. Popova, O. Quality assessment of urban areas based on neural network modeling and GIS / O. 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.
240. Popova, O. Sanitation of the buildings of the first mass series in Arkhangelsk / N. Brenchukova, O. 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.
241. Raymand, F., Najafi, B., Mamaghani, A. H., Moazami, A., Rinaldi, F. Machine learning-based estimation of buildings' characteristics employing electrical and chilled water consumption data: Pipeline optimization // Energy and Buildings. – 2023. – Vol. 295. – P. 113327. – ISSN 0378-7788. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113327.
242. Ribeiro M. T., Singh S., Guestrin C. «Why should I trust you?» Explaining the predictions of any classifier // Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – 13–17 August 2016. – P. 1135–1144. – DOI: 10.1145/2939672.2939778.
243. Shrivastava, A., Pfister, T., Tuzel, O., Susskind, J., Wang, W., Webb, R. Learning from Simulated and Unsupervised Images through Adversarial Training // ArXiv. – 2016. – arXiv:1612.07828v2 [cs.CV]. – URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.07828>.
244. Such, F. P., Rawal, A., Lehman, J., Stanley, K. O., Clune, J. Generative Teaching Networks: Accelerating Neural Architecture Search by Learning to Generate Synthetic Training Data // ArXiv. – 2019. – Vol. abs/1912.07768. – URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:209386415>.
245. Tayefeh Hashemi, S., Ebadati, O. M., Kaur, H. Cost estimation and prediction in construction projects: a systematic review on machine learning techniques // SN Applied Sciences. – 2020. – Vol. 2. – Article number 1703. – DOI: 10.1007/s42452-020-03497-1.
246. Tobin, J., Fong, R., Ray, A., Schneider, J., Zaremba, W., Abbeel, P. Domain Randomization for Transferring Deep Neural Networks from Simulation to the Real World // ArXiv. – 2017. – arXiv:1703.06907v1 [cs.RO]. – URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.06907>.
247. Usharani, S., Gayathri, R., Kovvuri, U. S. D. R., Nivas, M., Md, A. Q., Tee, K. F., Sivaraman, A. K. An efficient approach for automatic crack detection using deep learning // International Journal of Structural Integrity. – 2024. – Vol. 15, no. 3. – P. 434–460. – DOI: 10.1108/IJSI-10-2023-0102.

248. Villa, V., Naticchia, B., Bruno, G., Aliev, K., Piantanida, P., Antonelli, D. IoT Open-Source Architecture for the Maintenance of Building Facilities // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, no. 12. – P. 5374. – DOI: 10.3390/app11125374. – URL: <https://doi.org/10.3390/app11125374>.
249. Wang, R. A novel improved model for building energy consumption prediction based on model integration / R. Wang, S. Lu, W. Feng // *Applied Energy*. – 2020. – Vol. 262. – P. 114561. – ISSN 0306-2619. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114561.
250. Wu X., Rajagopalan P., Lee S. E. Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore's hotel industry // *Energy Policy*. – 2010. – Volume 38, Issue 8. – P. 4520–4527. – ISSN 0301-4215. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.006>.
251. Yin, M., Tang, L., Webster, C., Yi, X., Ying, H., Wen, Y. A deep natural language processing-based method for ontology learning of project-specific properties from building information models // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. – 2023. – Vol. 39, no. 4. – DOI: 10.1111/mice.13013.
252. Yuan, X., Li, L., Zhang, H., Zhu, Y., Chen, G., Dagli, C. H. Machine Learning-Based Seismic Damage Assessment of Residential Buildings Considering Multiple Earthquake and Structure Uncertainties // *Natural Hazards Review*. – 2023. – Vol. 24, no. 3. – DOI: 10.1061/NHREFO.NHENG-1681.
253. Yudina, A. Defects in the hydro-insulation of the underground part of the building of tovstonogov 325olshoi drama theater after the reconstruction / A. Yudina // *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. 02017. – DOI 10.1051/e3sconf/202016402017.
254. Zhang, L., Chen, Z., Zhang, X. [и др.] Challenges and opportunities of machine learning control in building operations // *Building Simulation*. – 2023. – Vol. 16. – P. 831–852. – DOI: 10.1007/s12273-023-0984-6.
255. Zhong D, Xia Z, Zhu Y, Duan J. Overview of predictive maintenance based on digital twin technology. *Heliyon*. 2023 Mar 13;9(4):e14534. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14534. PMID: 37025897; PMCID: PMC10070392.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Приложение
к Структуре классификатора
строительной информации,
утвержденной приказом Министерства
строительства и жилищно-коммунального
хозяйства Российской Федерации

от 6 августа 2020 г. № 430/мр

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЗОВЫХ КЛАССОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО
БАЗОВЫМ КАТЕГОРИЯМ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ТИПЫ СВЯЗЕЙ
С ДРУГИМИ БАЗОВЫМИ КЛАССАМИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Базовая категория строительной информации	Базовый класс строительной информации	Тип связи с другим базовым классом строительной информации	
		Тип связи	Базовый класс/категория строительной информации
Результат	Зона	-	-
	Помещение	Может быть частью	Зона
	Комплекс объектов капитального строительства	Совокупность	Объект капитального строительства
		Является типом	Результат
	Объект капитального строительства	Является типом	Результат
	Функциональная система	Является типом	Строительный элемент
	Техническая система	Является частью	Функциональная система
		Является типом	Строительный элемент
		Может быть частью	Техническая система
Процесс	Компонент	Является типом	Строительный элемент
		Является частью	Техническая система
		Может быть частью	Компонент
	Управление	Является частью	Процесс
		Осуществляет контроль	Процесс
		-	-
	Стадия жизненного цикла объектов капитального строительства	-	-
	Процесс инженерных изысканий	Является типом	Процесс
	Процесс проектирования	Является типом	Процесс
	Процесс строительства	Является типом	Процесс

2

Ресурс	Процесс эксплуатации	Является типом	Процесс
	Процесс реконструкции	Является типом	Процесс
	Процесс ремонта	Является типом	Процесс
	Процесс сноса здания или сооружения	Является типом	Процесс
	Строительное изделие	Является типом	Ресурс
		Выполнено из	Строительный материал
	Строительный материал	Является типом	Ресурс
	Вспомогательный ресурс	Является типом	Ресурс
	Трудовой ресурс	Является типом	Ресурс
Характеристика	Характеристика	Является типом	Ресурс
		Описывает	Результат
		Описывает	Процесс
		Описывает	Ресурс

№	Класс В	Подкласс	Код кл.	Наименование Класса, Подкласса, Элемента	Описание Класса, f	Классиф.	Классиф.	Классиф.	Классиф.
		BA		Конструктивная система	Техническая система ТхС	TeS			
				Основание здания или сооружения	Массив грунта, восп	TxS			
		BA10		Естественное основание	Массив грунта в усл	TxS	BQ		Конструкции мостового полотна
		BA20		Искусственное основание	Площадка из грунта, ТхС	TeS		BQ10	Конструкции мостового полотна автодорож
		BB		Несущие конструкции фундамента	Система несущих ко	TxS	TeS	BQ20	Конструкции мостового полотна железодо
		BB10		Ленточные фундаменты	Протяженный, узкий ТхС	TeS	BR		Конструкции входной части тоннеля
		BB20		Столбчатые фундаменты	Отдельные фундаме	TxS	BR10		Конструкции рампы
		BB30		Плитные фундаменты	Фундамент в виде сп	TxS	BR20		Конструкции портала
		BB40		Свайные фундаменты	Фундамент, в которо	TxS	BR30		Конструкции оголовка
		BB50		Комбинированные фундаменты	Конструкции фунда	TxS	H_		Система снабжения (обеспечения)
		BB60		Фундаменты оборудования	Конструкции для раз	TxS	HA		Система воздухо- и газоснабжения
		BC		Несущие конструкции перекрытия	Система несущих ко	TxS	TeS	HA10	Система газоснабжения
		BC10		Сборные перекрытия	Конструкции перекры	TxS	TeS	HA20	Система снабжения воздухом
		BC20		Монолитные перекрытия	Конструкции перекры	TxS	HB		Система снабжения жидкостью
		BC30		Сборно-монолитные перекрытия	Составные конструк	TxS	HC		Система холодноснабжения
		BD		Несущие конструкции стены	Система несущих ко	TxS	TeS	HC10	Система непосредственного охлаждения
		BD10		Стены из кладки	Конструкции стен, в	TxS	TeS	HC20	Система промежуточного охлаждения
		BD20		Крупнопанельные стены	Конструкции стен из	TxS	TeS	HD	Система теплоснабжения
		BD30		Монолитные стены	Конструкции стен, в	TxS	TeS	HD10	Рециркуляционная система снабжения тепл
		BD40		Каркасные стены	Конструкции стен, в	TxS	TeS	HD20	Геотермальная система теплоснабжения
		BD50		Стены из брусев или бревен	Конструкции стен, в	TxS	TeS	HD30	Комбинированная система солнечного тепл
		BE		Несущие конструкции крыши	Система несущих ко	TxS	TeS	HD40	Система снабжения теплом на основе сгора
		BE10		Стропильные конструкции крыши	Несущие элементы з	TxS	TeS	HD50	Система снабжения теплом на основе электр
		BE20		Балочные конструкции крыши	Конструкции крыши	TxС	TeS	HD60	Система снабжения теплом на основе ядерн
		BE30		Плитные конструкции крыши	Конструкции крыши	TxС	TeS	HE	Комбинированная система тепло- и холодо
		BE40		Оболочечные конструкции крыши	Конструкции крыши	TxС	TeS	HF	Система вентиляции
		BF		Конструкции пола	Система конструкций	TxС	TeS	HF10	Система местной вентиляции
		BF10		Сплошные полы	Конструкции пола с л	TxС	TeS	HF20	Система общеобменной вентиляции
		BF20		Штучные полы	Конструкции пола с г	TxС	TeS	HF30	Система смешанной вентиляции
		BF30		Рулонные полы	Конструкции пола с г	TxС	TeS	HF60	Система противодымной вентиляции
		BG		Потолочные конструкции	Система конструкций	TxС	TeS	HF70	Система аварийной вентиляции
		BG10		Подшивные потолки	Конструкции, в кото	TxС	TeS	HG	Система электроснабжения
		BG20		Подвесные потолки	Потолок, расположе	TxС	TeS	HG10	Система электроснабжения общего назначе
		BG30		Натяжные потолки	Горизонтальные кон	TxС	TeS	HG20	Резервная система электропитания
		BG40		Комбинированные потолки	Конструкции, состоя	TxС	TeS	HG30	Система непрерывного электроснабжения
		BH		Направляющие и опорные конструкции	Конструктивная сист	TxС	TeS	HG40	Система электроснабжения железнодорожн
		BH10		Внутренние направляющие и опорные конст	Конструкции, устан	TxС	TeS	HG50	Система электроснабжения переменного то
		BH20		Внутренние направляющие и опорные конст	Конструкции, устан	TxС	TeS	HG60	Система электроснабжения переменного то
		BH30		Наружные надземные направляющие и опор	Конструкции, устан	TxС	TeS	HG70	Система электроснабжения постоянного ток
		BH40		Наружные подземные направляющие и опор	Конструкции, устан	TxС	TeS	HG80	Система электроснабжения постоянного ток
		BJ		Конструктивные системы каркасные	Системы, основным	TxС	TeS	HN	Система освещения
		BJ10		Каркас рамный	Пространственная кс	TxС	TeS	HN10	Система общего освещения
		BJ20		Каркас рамно-связевой	Пространственная кс	TxС	TeS	HN100	Система наружного освещения
		BJ30		Каркас связевой	Пространственная кс	TxС	TeS	HN110	Система внутреннего освещения
		BL		Конструкции мостовых опор	Несущий элемент мо	TxС	TeS	HN20	Система местного освещения
		BL10		Конструкции промежуточных опор	Конструкция опор, п	TxС	TeS	HN30	Система комбинированногоосвещения
		BL20		Конструкции береговых опор	Конструкции крайни	TxС	TeS	HN40	Система естественного освещения
		BM		Конструкции обделки тоннелей	Постоянная несущая	TxС	TeS	HN60	Система светового ограждения
		BM10		Конструкции обделки тоннелей набрызг-бет	Конструкции обделки	TxС	TeS	HN70	Система освещения аэродромов
		BM20		Конструкции обделки тоннелей монолитные	Конструкции обделки	TxС	TeS	HN80	Система освещения тоннелей
		BM30		Конструкции обделки тоннелей сборные жем	Конструкции обделки	TxС	TeS	HN90	Система совмещенногоосвещения
		BM40		Конструкции обделки тоннелей комбинир	Конструкции обделки	TxС	TeS	HN	Система обеспечения связи
		BM50		Конструкции обделки тоннелей монолитные	Конструкции обделки	TxС	TeS	HJ10	Система телеграфии
		BM60		Конструкции обделки тоннелей тубинговые	Конструкции обделки	TxС	TeS	HJ20	Система телефонии
		BM70		Конструкции обделки тоннелей блочные	Конструкции обделки	TxС	TeS	HJ30	Система фототелеграфии
		BM80		Конструкции обделки тоннелей решетчатые	Конструкции обделки	TxС	TeS	HJ40	Система телевидения
		BM90		Конструкции обделки тоннелей анкерные	Конструкции обделки	TxС	TeS	HJ50	Система телеметрии
		BN		Специальная конструктивная система	Конструктивная сист	TxС	TeS	HJ60	Система телеуправления
		BN10		Система преднапряжения	Конструктивная сист	TxС	TeS	HJ70	Система передачи данных
		BN20		Система усиления конструкций	Конструктивная сист	TxС	TeS	HK	Система климатизации
		BP		Конструкции пролетных строений	Конструкции, предна	TxС	TeS	HK10	Система кондиционирования воздуха

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Унифицированные признаки технического состояния строительных элементов

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины (цоколь, отмостка, примыкания)	- Ширина раскрытия: 1–2 мм (незначительные), 2–5 мм (средние), >5 мм (критические)	Все типы фундаментов	Заделка трещин, инъектирование, усиление, восстановление гидроизоляции	Фундамент
2	Осадка, перекосы, просадки	- Прогиб/перекос: до 0.01 длины (незнач.), 0.01–0.02 (средний), >0.02 (крит.)	Ленточные, столбчатые, свайные ж/б	Усиление фундаментов, вывешивание стен, инъектирование, ж/б пояса	Фундамент
3	Разрушение кладки/блоков/бетона	- Площадь: до 5% (локальные), 5–25% (частичные), >25% (массовые)	Каменные, крупноблочные, ж/б	Ремонт кладки, замена участков, усиление	Фундамент
4	Увлажнение, высолы, нарушение гидроизоляции	- Капиллярный подсос >15 см, мокрые пятна, размягчение материала	Все типы	Восстановление гидроизоляции, дренаж, гидрофобизация	Фундамент
5	Деформации (выпучивание, искривление, отмостка)	- Отклонение: до 1/3 толщины (среднее), >1/3 (критическое)	Ленточные, столбчатые	Усиление, замена, демонтаж с восстановлением	Фундамент
6	Разрушение швов, стыков, вводов коммуникаций	- Раскрытие: до 2 мм (допустимо), 2–5 мм (ремонт), >5 мм (аварийно)	Крупноблочные, все типы (для коммуникаций)	Герметизация, заделка раствором, бетонитовые шнуры	Фундамент
7	Биоповреждения (гниль, грибок)	- Площадь: <25% (I ст.), 25–50% (II ст.), >50% (III ст.)	Деревянные	Замена элементов	Фундамент
8	Неисправность дренажа/загромождение подвалов	- Засорение >50%, вода в приямках	Ленточные, свайные, подвалы	Прочистка, замена дрен, устройство дренажной системы	Фундамент
9	Дефекты приямков	- Высота ограждения <15 см, отсутствие водоотвода	Подвальные помещения	Бетонирование с уклоном 0.03, установка козырьков	Фундамент
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины в стенах	- Ширина: ≤2 мм (незнач.), 2–5 мм (средние), >5 мм (критич.)	Кирпичные, каменные, бетонные, деревянные	- Заделка трещин, герметизация (незнач.)	Все типы стен
		- Глубина: до 1/3 толщины (средние), >1/2 (критич.)		- Инъектирование, усиление (средние)	
		- Площадь: ≤10% (незнач.), ≤30% (средние)		- Перекладка, металлоконструкции (критич.)	
2	Отслоение/разрушение облицовки	- Площадь: ≤30% (отслоение), >20% (разрушение)	Кирпичные, панельные, облицованные	- Замена плиток/штукатурки	Облицовочный слой
		- Трещины в швах >2 мм		- Восстановление гидроизоляции	
3	Поражение гнилью/биопоражения	- Площадь: ≤50% (гниль)	Деревянные, кирпичные	- Замена элементов + антисептики (гниль)	Деревянные стены, фасады
		- Наличие плесени, высолов		- Очистка + антисептики (биопоражения)	
4	Деформации стен	- Отклонение от вертикали: >1/100 (сильные), >1/200 (умеренные)	Все типы	- Усиление каркаса/распорками	Несущие стены
		- Прогиб: >1/200 длины		- Перекладка участков	

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
5	Разрушение кладки/бетона	- Выпадение кирпичей, глубина трещин >1/2 толщины	Кирпичные, блочные, железобетонные	- Перекладка, инъектирование - Торкретирование (бетон)	Каменные и бетонные стены
6	Промерзание/продувание	- Локальное обледенение - Температура поверхности <12°C	Панельные, каркасные, деревянные	- Утепление стыков, замена утеплителя - Герметизация	Ограждающие конструкции
7	Коррозия металлических элементов	- Ржавые потеки - Потеря сечения >30%	Панельные, каркасные, балконы	- Замена креплений + антикоррозийная обработка	Каркасные системы
8	Разрушение стыков/герметичность	- Раскрытие трещин >1–3 мм - Протечки (>10–20% помещений)	Крупнопанельные, блочные	- Герметизация мастиками, замена уплотнителей	Стыки панелей
9	Увлажнение стен	- Влажность >5% (кирпич), >12% (дерево) - Высолы, плесень	Все типы (особенно цоколь)	- Восстановление гидроизоляции + осушение	Стены, цоколь
10	Повреждение архитектурных деталей	- Трещины в карнизах, парапетах - Отслоение штукатурки	Все типы	- Ремонт/замена элементов + укрепление креплений	Карнизы, парапеты
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины в местах сопряжений	- Ширина до 2 мм (незначительные) - 2-5 мм (средние) - >5 мм (критические)	Все типы перегородок	Заделка трещин, уплотнение стыков, усиление металлической сеткой	Перегородки
2	Отклонение от вертикали	- До 1/200 высоты (незначительное) - 1/200-1/100 (среднее) - >1/100 (критическое)	Деревянные, гипсобетонные, фибролитовые	Выравнивание, установка дополнительных креплений, перекладка	Перегородки
3	Разрушение поверхности	- Повреждения до 10% площади (незначительные) - 10-30% (средние) - >30% (критические)	Оштукатуренные, кирпичные, панельные	Ремонт штукатурки, замена облицовки, восстановление защитного слоя	Перегородки
4	Поражение материала (гниль, коррозия)	- Локальные очаги (до 10%) - Значительное (10-50%) - Полное (>50%)	Деревянные, фибролитовые	Антисептическая обработка, замена поврежденных участков	Перегородки
5	Разрушение каркаса	- Отдельные повреждения - Частичное разрушение связей - Полная потеря устойчивости	Каркасные, фибролитовые	Укрепление каркаса, замена элементов, полная переборка	Перегородки
6	Зыбкость конструкции	- Незначительная (до 5 мм) - Средняя (5-15 мм) - Сильная (>15 мм)	Деревянные, каркасные	Усиление креплений, установка распорок, полная замена	Перегородки
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины, раскрытие	- ≤ 1 мм (незначительные) - 1–2 мм (средние) - >2 мм (критические)	Кирпичные, железобетонные	Заделка раствором, инъектирование, усиление обоями	Колонны (стойки, столбы)
2	Прогиб, искривление	- ≤ 1/400 высоты (незначительное) - 1/400–1/100 (среднее) - >1/100 (критическое)	Деревянные, железобетонные	Усиление, выравнивание, замена (при сильном искривлении)	Колонны (стойки, столбы)

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
3	Разрушение материала (гниль, коррозия, выветривание)	- $\leq 10\%$ сечения (незначительное) - 10–50% (среднее) - $>50\%$ (критическое)	Деревянные, кирпичные, железобетонные	Очистка, восстановление сечения, замена поврежденных участков, антисептическая обработка	Колонны (стойки, столбы)
4	Отслоение защитного слоя, оголение арматуры	- Локальное (до 10% площади) - Значительное (10–50%) - Полное ($>50\%$)	Железобетонные	Очистка, антикоррозийная обработка, нанесение нового защитного слоя, усиление обоями	Колонны (стойки, столбы)
5	Отклонение от вертикали, выпучивание	- ≤ 3 см (незначительное) - 3–5 см (среднее) - >5 см (критическое)	Кирпичные, железобетонные	Выравнивание, усиление металлоконструкциями, замена	Колонны (стойки, столбы)
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы перекрытий	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины в местах сопряжений	- ≤ 1 мм (незначительные) - 1–2 мм (средние) - >2 мм (критические)	Все типы (кроме деревянных неоштукатуренных)	Заделка трещин, инъектирование, усиление швов	Перекрытия
2	Прогиб несущих элементов	- $\leq 1/400$ пролета (норма) - 1/400–1/150 (средний) - $>1/150$ (критический)	Деревянные, ж/б сборные, монолитные	Усиление балок/плит, установка подпорок, полная замена	Перекрытия
3	Разрушение материала	- Дерево: гниль $\leq 10\%$ сечения - Ж/б: сколы ≤ 5 мм - Кирпич: выпадение $\leq 10\%$	Деревянные, кирпичные своды, ж/б	Замена поврежденных участков, антисептическая обработка, восстановление защитного слоя	Перекрытия
4	Отслоение штукатурки/защитного слоя	- Локальное ($\leq 10\%$ площади) - Распространенное (10–50%) - Полное ($>50\%$)	Деревянные оштукатуренные, ж/б	Восстановление штукатурки, нанесение нового защитного слоя	Перекрытия
5	Зыбкость, смещение плит	- Смещение ≤ 1.5 см - 1.5–3 см (среднее) - >3 см (критическое)	Деревянные, сборные ж/б	Выравнивание, укрепление связей, замена крепежных элементов	Перекрытия
6	Коррозия арматуры/металлоконструкций	- $\leq 10\%$ сечения (незначительная) - 10–30% (средняя) - $>30\%$ (критическая)	Ж/б сборные/монолитные, кирпичные своды	Антикоррозийная обработка, усиление обоями, замена балок	Перекрытия
7	Промерзание/увлажнение	- Локальные пятна - Постоянные протечки - Образование наледи	Чердачные, над подвалами	Утепление, гидроизоляция, ремонт стыков	Перекрытия
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы лестниц	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины в ступенях и площадках	- ≤ 1 мм (незначительные) - 1–2 мм (средние) - >2 мм (критические)	Деревянные, ж/б, по стальным косоурам	Заделка трещин, замена поврежденных ступеней, инъектирование (для ж/б)	Лестницы
2	Прогиб маршей/косоуров	- $\leq 1/400$ пролета (норма) - 1/400–1/200 (средний) - $>1/200$ (критический)	Ж/б, стальные косоуры	Усиление металлоконструкциями, замена косоуров	Лестницы
3	Износ ступеней (истирание, сколы)	- $\leq 10\%$ площади (незначительный) - 10–30% (средний)	Все типы	Шлифовка, замена проступей, накладки из износостойких материалов	Лестницы

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
		- >30% (критический)			
4	Разрушение перил/ограждений	- Расшатывание (люфт ≤5 мм) - Частичное разрушение - Полное отсутствие	Все типы	Укрепление крепежей, замена секций перил, сварка (для металлических)	Лестницы
5	Коррозия металлических элементов	- Локальные пятна ржавчины - Потеря сечения ≤10% - >10% сечения	Стальные косоуры, ограждения	Очистка, антикоррозийная обработка, замена элементов	Лестницы
6	Гниль деревянных конструкций	- Поражение ≤10% сечения - 10–50% - >50%	Деревянные	Антисептическая обработка, замена тетив/ступеней	Лестницы
7	Отслоение защитного слоя (штукатурка, бетон)	- Локальное (≤10% площади) - Распространенное (10–50%) - Полное (>50%)	Ж/б, оштукатуренные стальные	Восстановление слоя, торкретирование, нанесение составов	Лестницы
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины в плитах и стенках	- Ширина до 1 мм (незначительные) - 1-2 мм (средние) - >2 мм (критические)	ЖБ лоджии, балконы, козырьки	Заделка трещин, инъектирование, усиление арматуры	Лоджии и балконы
2	Повреждения гидроизоляции	- Локальные повреждения (до 20% площади) - Частичное разрушение (20-50%) - Полное разрушение (>50%)	Все типы	Замена гидроизоляционного слоя, устройство нового покрытия	Лоджии и балконы
3	Прогиб несущих плит	- До 1/200 пролета (норма) - 1/200-1/100 (превышение) - >1/100 (аварийное)	ЖБ консольные конструкции	Усиление плит, установка дополнительных опор, полная замена	Балконы и козырьки
4	Коррозия металлических элементов	- Локальные очаги ржавчины - Потеря сечения до 10% - Потеря >10% сечения	Ограждения, козырьки, консоли	Антикоррозийная обработка, замена элементов	Балконы и козырьки
5	Разрушение защитного слоя бетона	- Отслоения до 10% площади - 10-30% площади - >30% площади с оголением арматуры	ЖБ конструкции	Восстановление защитного слоя, торкретирование	Лоджии и балконы
6	Деформация ограждений	- Незначительные искривления - Расшатывание конструкции - Полное разрушение	Все типы ограждений	Выравнивание, укрепление креплений, полная замена	Лоджии и балконы
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины в несущих элементах	- ≤1 мм (незначительные) - 1–3 мм (средние) - >3 мм (критические)	ЖБ плиты, стропила, балки	Заделка трещин, инъектирование, усиление металлоконструкциями	Несущие конструкции крыши
2	Прогиб несущих элементов	- ≤1/200 пролета (норма) - 1/200–1/100 (превышение) - >1/100 (аварийное)	ЖБ плиты, деревянные балки	Усиление опор, установка дополнительных стоек, замена элементов	Несущие конструкции крыши

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
3	Повреждение кровельного покрытия	- Локальные дефекты $\leq 10\%$ площади - 10–30% площади - $> 30\%$ площади	Рулонные, мастичные, мембранные, профнастил	Локальный ремонт, замена участков, полная перекладка	Кровельное покрытие
4	Протечки и намокание	- Единичные протечки - Множественные локальные - Сплошные протечки	Все типы крыш	Ремонт гидроизоляции, замена утеплителя, вентиляция подкровельного пространства	Кровельный пирог
5	Коррозия металлических элементов	- Пятна ржавчины - Потеря сечения $\leq 10\%$ - $> 10\%$ сечения	Металлоконструкции, водостоки, крепёж	Антикоррозийная обработка, замена повреждённых элементов	Металлические конструкции
6	Биоповреждения/гниль деревянных конструкций	- Локальная гниль $\leq 20\%$ - 20–50% поражения - $> 50\%$ разрушения	Деревянные стропила, обрешётка	Антисептирование, замена повреждённых участков, полная замена	Деревянные конструкции
7	Деформация водосточной системы	- Незначительные повреждения - Частичное разрушение (10–30%) - Полный выход из строя ($> 30\%$)	Металлические, пластиковые водостоки	Ремонт желобов и воронок, замена элементов, монтаж новой системы	Водоотведение
8	Повреждение примыканий	- Неплотности ≤ 5 мм - Зазоры 5–15 мм - Разрушения > 15 мм	Все типы кровель	Герметизация, устройство фартуков, переделка узлов	Сопряжения и примыкания
9	Деформация парапетов и ограждений	- Отклонение ≤ 50 мм - Отклонение 50–100 мм - Отклонение > 100 мм	Кирпичные, бетонные, металлические	Выравнивание, усиление, замена элементов	Ограждающие конструкции
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины и выбоины	- ≤ 1 мм (незначительные) - 1–3 мм (средние) - > 3 мм (критические)	Бетонные, цементные, мозаичные	Заделка трещин, шлифовка, восстановление поверхности	Полы
2	Отслоение покрытия	- Локальное ($\leq 10\%$ площади) - 10–30% - $> 30\%$	Керамические плитки, паркет, линолеум	Подклейка, замена участков, полная перекладка	Полы
3	Истирание поверхности	- Незначительное ($\leq 20\%$ площади) - Среднее (20–50%) - Сильное ($> 50\%$)	Паркет, дощатые, синтетические плитки	Циклевка, натирка мастикой, замена изношенных участков	Полы
4	Прогибы и зыбкость	- Локальные (≤ 5 мм) - Средние (5–15 мм) - Сильные (> 15 мм)	Дощатые, ДСП, паркет	Усиление лаг, сплачивание досок, замена основания	Полы
5	Биоповреждения (гниль, жуки)	- Локальные очаги - Поражение 20–50% - Массовое ($> 50\%$)	Деревянные (дощатые, паркет)	Антисептическая обработка, замена повреждённых элементов	Полы
6	Просадки основания	- Локальные ($\leq 10\%$ площади) - Средние (10–30%) - Сильные ($> 30\%$)	Все типы (особенно бетонные и плиточные)	Ремонт стяжки, выравнивание, полная замена основания	Полы

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
7	Деформация швов	- Неплотности ≤ 2 мм - 2–5 мм - >5 мм	Плиточные, паркетные	Герметизация швов, перекладка плиток/клепок	Полы
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины и щели в притворах	- ≤ 2 мм (незначительные) - 2–5 мм (средние) - >5 мм (критические)	Деревянные/металлические окна и двери	Уплотнение прокладками, регулировка петель, замена штапиков	Окна и двери
2	Деформация коробок/переплетов	- Перекос ≤ 3 мм - 3–10 мм - >10 мм (створки не закрываются)	Деревянные конструкции	Выравнивание коробки, усиление креплений, замена поврежденных элементов	Оконные и дверные блоки
3	Коррозия металлических элементов	- Локальные очаги - Потеря сечения $\leq 30\%$ - >30% сечения	Металлические окна и двери	Антикоррозийная обработка, замена поврежденных деталей	Металлоконструкции
4	Биоповреждения древесины	- Поверхностная гниль - Глубокое поражение ($\leq 50\%$ сечения) - Сквозное разрушение	Деревянные окна/двери	Антисептирование, замена поврежденных участков, полная замена блока	Деревянные конструкции
5	Износ фурнитуры	- Незначительный люфт - Частичная неисправность - Полный выход из строя	Все типы	Регулировка, смазка, замена механизмов	Фурнитура
6	Повреждение остекления	- Трещины - Частичное отсутствие - Полное разрушение	Окна, светопрозрачные двери	Замена стекол, восстановление уплотнителей	Стеклянные элементы
7	Нарушение герметичности	- Локальные продувания - Значительные сквозняки - Протечки воды	Все типы	Замена уплотнителей, регулировка притвора, ремонт откосов	Оконно-дверные блоки
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Трещины в покрытиях	- ≤ 1 мм (волосные) - 1-3 мм (средние) - >3 мм (сквозные)	Штукатурка, окраска, обои	Заделка шпаклевкой, расшивка трещин, локальный ремонт	Стены, потолки
2	Отслоение покрытия	- Локальное ($\leq 10\%$ площади) - 10,3 - >30%	Обои, краска, плитка	Подклейка, замена участков, полный демонтаж	Вертикальные поверхности
3	Изменение цвета/выгорание	- Незначительное - Заметное - Полное обесцвечивание	Окраска, обои	Локальная подкраска, замена покрытия	Все типы
4	Механические повреждения	- Царапины/сколы - Средние выбоины - Глубокие разрушения	Плитка, штукатурка, обшивка	Шлифовка, замена элементов, восстановление основания	Стены, полы
5	Биоповреждения	- Плесень/пятна - Поверхностное поражение	Деревянная обшивка, обои	Антисептическая обработка, замена материалов	Деревянные конструкции

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
6	Деформация основания	- Глубокое разрушение	Все типы отделки	Выравнивание, усиление конструкции, полная замена	Несущие поверхности
		- Незначительная			
		- Средняя (3-10 мм)			
		- Сильная (>10 мм)			
7	Потеря адгезии	- Локальное отслоение	Окраска, штукатурка, плитка	Грунтовка, нанесение нового покрытия, замена	Все типы
		- Частичное			
		- Полное			
№	Типовой признак износа	Критерии измерения (степень повреждения)	Типы конструкций (элементы системы)	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Разгерметизация соединений	- Капельные течи	- Трубопроводы	- Замена прокладок, подтяжка соединений	Водоснабжение (ГВС, ХВС), отопление, тепловые сети
		- Постоянные протечки	- Запорная арматура	- Герметизация стыков	
		- Разрыв соединений	- Смесители	- Замена фитингов	
			- Фланцы/резьбовые соединения	- Опрессовка системы	
2	Коррозия трубопроводов	- Локальные очаги ржавчины	- Стальные, чугунные трубы	- Антикоррозийная обработка	Водоснабжение, отопление, теплосети, газоснабжение
		- Сквозные свищи	- Радиаторы	- Замена поврежденных участков	
		- Утончение стенок	- Полотенцесушители	- Полная замена трубопроводов	
		- Массовое поражение	- Теплообменники		
3	Нарушение теплоизоляции	- Местные повреждения	- Магистраль, стояки	- Локальный ремонт изоляции	Отопление, ГВС, тепловые сети
		- Полное разрушение	- Тепловые узлы	- Полная замена теплоизоляционного слоя	
		- Повышенные теплотери	- Оборудование в неотапливаемых помещениях	- Усиление гидроизоляции	
		- Образование конденсата			
4	Износ запорной арматуры	- Подтекание по штоку	- Краны, вентили, задвижки	- Замена прокладок, сальников	Все системы (водоснабжение, отопление, газоснабжение)
		- Заклинивание механизма	- Регулирующие клапаны	- Ревизия механизма	
		- Разрыв корпуса	- Смесители	- Полная замена арматуры	
			- Газовые краны	- Установка современных аналогов	
5	Засорение трубопроводов	- Замедленный сток/снижение давления	- Стояки, магистраль	- Гидропневматическая/гидродинамическая промывка	Водоснабжение, отопление, канализация
		- Неравномерный прогрев	- Радиаторы	- Химическая очистка	
		- Полная блокировка/гидравлические удары	- Канализационные трубы	- Замена участков труб	
			- Грязевики		
6	Износ сантехприборов и отопительных приборов	- Трещины, сколы	- Раковины, ванны, унитазы	- Герметизация стыков	

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
		- Течи между секциями	- Радиаторы, конвекторы	- Замена прокладок/уплотнений	Канализация, водоснабжение, отопление
		- Снижение теплоотдачи	- Полотенцесушители	- Промывка внутренней полости	
		- Полное разрушение		- Полная замена прибора	
7	Деформация трубопроводов	- Провисы, искривления	- Полимерные, металлические трубы	- Выравнивание, усиление креплений	Водоснабжение, канализация
		- Разрыв труб	- Канализационные стояки	- Замена поврежденных участков	
		- Отслоение креплений		- Полная реконструкция	
8	Разрушение гидроизоляции	- Протечки на стыках	- Душевые поддоны	- Локальный ремонт покрытия	Канализационные сети
		- Отслоение покрытия	- Полы санузлов	- Полная замена гидроизоляции	
		- Появление плесени	- Трапы	- Антисептическая обработка	
9	Неисправность автоматики и электрооборудования	- Окисление контактов	- Терморегуляторы, датчики	- Чистка и подтяжка контактов	Электроснабжение, тепловые пункты
		- Оплавление изоляции	- Розетки, выключатели	- Замена поврежденных элементов	
		- Короткие замыкания	- Щитовое оборудование	- Настройка автоматики	
		- Сбои в работе регуляторов		- Обновление ПО	
10	Износ насосного оборудования	- Шум, вибрация	- Циркуляционные насосы	- Замена уплотнений	Системы отопления, ГВС
		- Падение давления	- Повысительные станции	- Балансировка вала	
		- Перегрев подшипников		- Полная замена насоса	
11	Дефекты дымоходов и вентиляции	- Отсутствие тяги	- Дымоходы котлов	- Прочистка	Котельные, тепловые пункты
		- Образование конденсата	- Вентиляционные каналы	- Ремонт кладки	
		- Разрушение оголовка		- Замена дефлекторов	
12	Износ кабельных линий	- Нарушение изоляции	- Силовые кабели	- Локальный ремонт изоляции	Электроснабжение
		- Перегрев проводников	- Групповые линии	- Замена поврежденных участков	
		- Механические повреждения	- Квартирная разводка	- Полная замена линий	
№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
1	Деформация ствола мусоропровода	- Трещины, наплывы на внутренней поверхности	- Металлические трубы	- Замена поврежденных участков	Ствол мусоропровода
		- Нарушение герметичности стыков	- Асбоцементные каналы	- Герметизация швов	
		- Прогиб конструкции	- Пластиковые стволы	- Усиление креплений	
2	Износ загрузочных клапанов	- Неплотное закрытие ковша	- Чугунные клапаны	- Замена уплотнительных прокладок	Загрузочные устройства
		- Разрушение уплотнителей	- Стальные ковши	- Антикоррозийная обработка	
		- Коррозия металлических частей	- Пластиковые механизмы	- Регулировка механизма закрытия	

№	Типовой признак износа	Критерии измерения	Типы конструкций	Ремонтные мероприятия	Конструкция
3	Неисправность шибера	- Нарушение блокировки		- Полная замена клапана	Запорное устройство
		- Заедание механизма	- Ручные шиберы	- Очистка и смазка механизма	
		- Неполное перекрытие ствола	- Автоматические затворы	- Замена изношенных деталей	
		- Разрушение огнеотсекателя	- Противопожарные клапаны	- Проверка работы огнеотсекателя	
4	Засорение ствола	- Снижение скорости движения отходов	- Вертикальные стволы	- Гидропневматическая прочистка	Транспортный канал
		- Появление неприятного запаха	- Наклонные участки	- Механическое удаление засора	
		- Полная блокировка канала	- Поворотные колена	- Дезинфекция канала	
5	Нарушение вентиляции	- Отсутствие тяги	- Вентиляционные каналы	- Прочистка вентканалов	Вентиляционная система
		- Обратная тяга	- Дефлекторы	- Замена дефлектора	
		- Образование конденсата	- Вытяжные трубы	- Утепление оголовка	
6	Износ мусоросборной камеры	- Трещины в покрытии пола	- Бетонные камеры	- Ремонт гидроизоляции	Мусороприемное помещение
		- Неисправность трапа	- Металлические контейнеры	- Замена трапа	
		- Коррозия металлоконструкций	- Керамическая облицовка	- Антикоррозийная обработка	
		- Разрушение гидроизоляции		- Восстановление покрытия пола	
7	Неисправность моеюще-дезинфицирующего устройства	- Подтекание соединений	- Автоматические системы	- Замена уплотнений	Очистное оборудование
		- Неисправность механизма щетки	- Ручные установки	- Ремонт приводного механизма	
		- Нарушение подачи дезраствора	- Спринклерные узлы	- Настройка дозирования	
8	Износ контейнеров	- Прогиб дна и стенок	- Стальные емкости	- Замена изношенных контейнеров	Тара для отходов
		- Неисправность колес	- Пластиковые баки	- Ремонт ходовой части	
		- Коррозия металла	- Контейнеры с колесами	- Антикоррозийная обработка	
		- Разрушение крышки			
9	Нарушение противопожарной защиты	- Неисправность спринклеров	- Системы автоматического пожаротушения	- Проверка и ремонт спринклеров	Противопожарная система
		- Разрушение огнезащитных покрытий	- Огнестойкие конструкции	- Восстановление огнезащиты	
		- Нарушение целостности дымовых клапанов	- Противопожарные перегородки	- Замена дымовых клапанов	
10	Общее санитарное состояние	- Появление насекомых и грызунов	Все элементы системы	- Дезинфекция	Комплексная санация
		- Стойкие загрязнения		- Дезинсекция	
		- Плесень и грибок		- Дератизация	
				- Генеральная уборка	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Нормализованные характеристики конструктивно-технологических решений капитального ремонта объектов

Таблица Г1 – Нормализованные характеристики дефектов и работ

Дефекта/Работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
С крыши м2	0,77	0,20	0,25	0,71	0,53	0,74	0,81	1,00	0,61	0,32	0,74	0,68	0,45	0,82	0,29	0,57	0,91	0,36	0,63	0,75	0,50	0,65	0,30	0,90	0,50	0,80	0,40	0,70	0,55	0,85	0,25	
кров разр	0,15	0,02	0,05	0,60	0,07	1,00	0,44	0,77	0,06	0,05	0,09	0,40	0,12	0,85	0,04	0,30	0,92	0,08	0,55	0,70	0,25	0,30	0,05	0,95	0,20	0,60	0,10	0,50	0,15	0,75	0,03	
гидро повр	0,02	0,00	0,01	0,37	0,01	1,00	0,17	0,43	0,00	0,01	0,01	0,25	0,05	0,60	0,01	0,15	0,75	0,03	0,30	0,45	0,10	0,15	0,01	0,80	0,10	0,40	0,05	0,30	0,08	0,50	0,01	
прим деф	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	1,00	0,07	0,24	0,00	0,00	0,00	0,15	0,02	0,40	0,00	0,08	0,50	0,01	0,18	0,30	0,05	0,08	0,00	0,60	0,05	0,25	0,02	0,20	0,04	0,35	0,00	
мет корр	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	1,00	0,03	0,14	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,25	0,00	0,04	0,30	0,00	0,10	0,15	0,02	0,04	0,00	0,40	0,02	0,15	0,01	0,10	0,02	0,20	0,00	
покр корр	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	1,00	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,15	0,00	0,02	0,20	0,00	0,06	0,08	0,01	0,02	0,00	0,25	0,01	0,08	0,00	0,05	0,01	0,12	0,00	
водост деф	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	1,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,10	0,00	0,01	0,12	0,00	0,03	0,05	0,00	0,01	0,00	0,15	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	
стяж разр	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	1,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00	0,07	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	
тепло деф	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	1,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	
вент деф	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
окн дверь деф	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
био повр	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
инж деф	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
фасад деф	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ГЭСН12-01-017-01	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ГЭСН12-01-017-02	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
ГЭСН12-01-017-01	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
ГЭСН12-01-017-02	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
ГЭСН12-01-002-09	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00
ГЭСН12-01-004-04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00
ГЭСН12-01-010-01	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
ГЭСН12-01-030-01	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСНр57-01-021-02	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН46-04-008-01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00
65ГЭСНм38-01-006-07	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСНр58-01-020-01	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН34-02-061-01	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН15-02-001-01	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН16-04-001-02	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН12-01-002-10	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
ГЭСН12-01-006-02	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН12-01-004-04	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСНр-58-16-3	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00
ГЭСН11-01-050-01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН07-05-039-09	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН09-04-003-01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН09-04-013-01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН12-01-011-01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
ГЭСН12-01-004-09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
ГЭСН12-01-007-10	0,00																															

Таблица Г1 (продолжение)

[illegible]

Сравнение методов машинного обучения SOM и Random forest для задачи кластеризации

1. Кластеризация методом Random Forest

Для кластеризации методом Random Forest используется подход на основе матрицы близости (proximity matrix), которая вычисляется как среднее количество раз, когда объекты попадают в один и тот же лист дерева. Затем применяется алгоритм кластеризации (например, k-means или иерархическая кластеризация) к этой матрице.

Шаги выполнения:

1. Обучение Random Forest (в режиме регрессии или классификации, но с учетом всех признаков).
2. Вычисление матрицы близости (proximity matrix).
3. Применение кластеризации (например, k-means или иерархической) к матрице близости.

После выполнения алгоритма получилось 3 кластера (таблица Д1)

Таблица Д1 - Результаты кластеризации

Кластер	Объекты	Характеристики кластера
1	Объект 3, Объект 10	Высокая стоимость и трудоемкость, широкий спектр дефектов и работ.
2	Объект 2, Объект 5	Средняя стоимость, умеренная трудоемкость, средний уровень дефектов.
3	Объект 1, 4, 6, 7, 8, 9, 11	Низкая стоимость, низкая трудоемкость, ограниченный набор дефектов и работ.

Кластеризация объектов ремонта кровли с интерпретацией дефектов, работ и затрат

Таблица Д2 – Кластер 1 (Капитальный ремонт)

Характеристики	Описание
Объекты	Объект 3, Объект 10
Диапазон стоимости	0.61 – 1.00 ($\approx$ 3,147 – 5,158 руб.)
Диапазон трудоемкости	0.45 – 1.00
Основные дефекты	- Сильное разрушение кровельного покрытия (0.06 – 1.00) - Повреждение гидроизоляции (0.00 – 1.00) - Дефекты примыканий (0.00 – 1.00) - Коррозия металлических элементов (0.00 – 1.00)
Основные работы	- Устройство кровель в 2 слоя - Устройство примыканий к парапетам - Разборка покрытий кровли - Устройство мелких покрытий из оцинкованной стали - Ремонт штукатурки фасадов (Объект 10)
Вывод	Требуется полная замена кровельного ковра, восстановление гидроизоляции и примыканий.

Таблица Д3 – Кластер 2 (Средний ремонт)

Характеристики	Описание
Объекты	Объект 2, Объект 5
Диапазон стоимости	0.44 – 0.51 ($\approx$ 2,270 – 2,630 руб.)
Диапазон трудоемкости	0.42 – 0.50
Основные дефекты	- Умеренное разрушение покрытия (0.02 – 0.07) - Незначительные повреждения гидроизоляции (0.00 – 0.01) - Коррозия металлических элементов (0.00)
Основные работы	- Устройство кровель в 2 слоя - Смена обделок из листовой стали - Улучшенная штукатурка фасадов (Объект 2) - Устройство пароизоляции (Объект 5) - Устройство герметизации окон (Объект 5)
Вывод	Требуется частичный ремонт кровли с заменой покрытия и дополнительными работами по герметизации.

Таблица Д4 – Кластер 3 (Локальный ремонт)

Характеристики	Описание
Объекты	Объект 1, 4, 6, 7, 8, 9, 11
Диапазон стоимости	0.03 – 0.33 ($\approx$ 155 – 1,700 руб.)
Диапазон трудоемкости	0.04 – 0.49
Основные дефекты	- Минимальные повреждения (0.00 – 0.81) - Локальные дефекты гидроизоляции (0.00 – 0.37) - Отсутствие коррозии (0.00)
Основные работы	- Демонтаж стяжек (Объект 1, 11) - Ремонт цементной стяжки (Объект 4, 7, 8) - Устройство кровель в 1 слой (Объект 4, 6, 10) - Установка противопожарных дверей (Объект 6) - Устройство кровель из наплавливаемых материалов (Объект 9)
Вывод	Достаточно локального ремонта, заделки стяжек и мелких восстановительных работ.

Таблица Д5 – Итоговая сводка по кластерам

Кластер	Тип ремонта	Стоимость (руб.)	Трудоемкость	Рекомендуемые работы
1	Капитальный	3,147 – 5,158	Высокая	Полная замена кровли, гидроизоляции
2	Средний	2,270 – 2,630	Средняя	Частичная замена покрытия, герметизация
3	Локальный	155 – 1,700	Низкая	Ремонт стяжек, мелкие восстановительные работы

Вывод:

Кластер 1 требует максимальных вложений.

Кластер 2 можно отремонтировать с умеренными затратами.

Кластер 3 – наименее затратный, можно ограничиться точечным ремонтом.

Метод Random Forest хорошо выделил группы объектов по сложности ремонта и затратам.

2. Кластеризация методом SOM (Self-Organizing Maps)

После обучения карты Кохонена (SOM) и анализа U-Matrix выделено 4 кластера (Таблица Д6).

Таблица Д6 - Интерпретация кластеров

Кластер	Объекты	Диапазон стоимости (руб.)	Диапазон трудоемкости	Ключевые дефекты	Основные работы	Тип ремонта
1	Объект 3, 10	3,147 – 5,158	0.45 – 1.00	- Сильное разрушение покрытия (0.05–1.00) - Повреждение гидроизоляции (0.00–1.00) - Коррозия металла (0.00–1.00)	- Устройство кровли в 2 слоя - Устройство примыканий - Разборка покрытий	Капитальный
2	Объект 2, 5	2,270 – 2,630	0.42 – 0.50	- Умеренные дефекты покрытия (0.02–0.07) - Минимальные повреждения гидроизоляции (0.00–0.01)	- Смена обделок из стали - Улучшенная штукатурка - Устройство пароизоляции	Средний
3	Объект 1, 6, 11	155 – 1,700	0.13 – 0.49	- Локальные дефекты (0.00–0.81) - Деформация водосточной системы (0.00)	- Демонтаж стяжек - Ремонт штукатурки - Установка противопожарных дверей (Объект 6)	Локальный
4	Объект 4, 7, 8, 9	155 – 1,700	0.04 – 0.33	- Минимальные повреждения (0.00–0.71) - Дефекты примыканий (0.00–0.23)	- Ремонт цементной стяжки - Устройство кровли в 1 слой (Объект 4, 9) - Установка дверных блоков (Объект 9)	Локальный (минимальный)

Детализация кластеров

Кластер 1 (Капитальный ремонт)

Объекты: 3, 10

Стоимость: Максимальная (Объект 3 – 5,158 руб., Объект 10 – 3,147 руб.)

Дефекты:

Полное разрушение кровельного покрытия (1.00 у Объекта 3).

Серьезные повреждения гидроизоляции и примыканий.

Работы:

Полная замена кровельного ковра.

Устройство новых примыканий.

Кластер 2 (Средний ремонт)

Объекты: 2, 5

Стоимость: Средняя (2,270 – 2,630 руб.)

Дефекты:

Умеренный износ покрытия.

Отсутствие коррозии.

Работы:

Частичная замена покрытия.

Улучшенная штукатурка фасадов (Объект 2).

Кластер 3 (Локальный ремонт с особыми работами)

Объекты: 1, 6, 11

Стоимость: Низкая (155 – 1,700 руб.)

Дефекты:

Локальные повреждения (например, Объект 6 – деформация водосточной системы).

Работы:

Установка противопожарных дверей (Объект 6).

Ремонт штукатурки (Объект 11).

Кластер 4 (Минимальный ремонт)

Объекты: 4, 7, 8, 9

Стоимость: Минимальная (155 – 1,700 руб.)

Дефекты:

Почти отсутствуют (кроме Объекта 4 – слабые повреждения).

Работы:

Только мелкий ремонт стяжки и установка элементов.

Вывод

SOM-кластеризация выявила 4 группы объектов:

Капитальный ремонт (3, 10) – требуют полной замены кровли.

Средний ремонт (2, 5) – частичная замена покрытия.

Локальный ремонт с доп. работами (1, 6, 11) – мелкий ремонт + установка спецэлементов.

Минимальный ремонт (4, 7, 8, 9) – почти не требуют вмешательства.

Метод SOM позволил более детально разделить объекты по сложности ремонта, чем Random Forest.

Алгоритм выявления фазы ускоренного роста и фазы насыщения (2-я и 3-я фаза логистической кривой) по историческим данным

1. Исходные данные

Дана последовательность стоимостей ремонта объекта за n лет:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\},$$

где c_t – стоимость ремонта в году t .

2. Расчет ключевых показателей

Шаг 1. Годовые коэффициенты роста (темпы удорожания)

Вычисляем для каждого года:

$$k_t = \frac{c_t}{c_{t-1}}, \text{ где } t \in \{2, \dots, n\}$$

Шаг 2. Средний коэффициент роста

Среднее геометрическое (учитывает кумулятивный эффект):

$$\bar{k} = \left(\prod_{t=2}^n k_t \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Шаг 3. Отклонение текущего роста от среднего

$$\Delta k_t = \frac{k_t}{\bar{k}}$$

3. Критерии перехода в фазу ускоренного роста

Пороговое значение:

Если $\Delta k_t > 1 + \delta$ (например, $\delta = 0.1$), это сигнализирует об ускорении.

Пример:

- $\bar{k} = 1,05$ (средний рост 5% в год)
- $k_t = 1,16$ (рост 16% в текущем году)
- $\Delta k_t = \frac{1,16}{1,05} \approx 1,105$

При $\delta = 0,1$: $1,105 > 1,1 \rightarrow$ фаза ускоренного роста.

Статистическая значимость:

- Критерий Кузнецова-Ханта:

$$S = \sum (k_t - \bar{k})^2$$

Если S превышает критическое значение для $n-2$ степеней свободы $\rightarrow$ тренд изменился.

- Анализ второй производной:
Аппроксимируем логарифмическую кривую:

$$\ln(c_t) \approx a + bt + \left(\frac{d}{2}\right)t^2$$

Если $d > 0$ и статистически значимо $\rightarrow$ ускоренный рост.

4. Алгоритм принятия решения

1. Вычислить $\{k_t\}$ и $\bar{k}$ для объекта.
2. Найти Δk_t за последние 2–3 года.
3. Если выполняется:
 - $\Delta k_t > 1 + \delta$ (эмпирический порог),

- $\Delta k_t > \Delta k_{t-1}$ (рост ускоряется), → объект в фазе ускоренной деградации.

5. Пример для инженерной системы

Данные (тыс. руб.):

Год	1	2	3	4	5
Стоимость, тыс. руб.	200	210	231	277	360

Расчеты:

- Коэффициенты роста:

$$k_2 = 1,05; k_3 = 1,10; k_4 = 1,20; k_5 = 1,30$$

- Средний рост:

$$\bar{k} = (1,05 \cdot 1,10 \cdot 1,20 \cdot 1,30)^{\frac{1}{4}} \approx 1,16$$

- Отклонения:

$$\Delta k_4 = \frac{1,20}{1,16} \approx 1,03$$

$$\Delta k_5 = \frac{1,30}{1,16} \approx 1,12$$

Вывод:

На 5-м году $\Delta k_5 = 1,12 > 1,1$ (при $\delta = 0,1$) → фаза ускоренного износа.

6. Определение 3-й фазы логистической кривой (насыщение)

Критерии:

1. **Монотонное снижение k_t :**

$$k_t < k_{t-1} < k_{t-2} \text{ (минимум 2–3 года подряд).}$$

2. **Приближение к 1:**

$$k_t \approx 1 + \epsilon \text{ (например, } \epsilon = 0,05 \text{).}$$

3. **Анализ производных:**

- Первая производная $dc/dt > 0$ (рост есть, но медленный).
- Вторая производная $d^2c/dt^2 < 0$ (рост замедляется).

Пример:

Данные (тыс. руб.):

Год	1	2	3	4	5	6	7
Стоимость, тыс. руб.	100	120	160	220	280	310	325

Расчеты:

- Коэффициенты роста:

$$k_2 = 1,20, k_3 = 1,33, k_4 = 1,38 \text{ (ускорение),}$$

$$k_5 = 1,27, k_6 = 1,11, k_7 = 1,05 \text{ (замедление).}$$

- Критерии 3-й фазы:

$$\text{○ } k_7 < k_6 < k_5 \text{ (рост монотонно снижается).}$$

$$\text{○ } k_7 \approx 1,05 \approx 1 \text{ (стоимость почти не растет).}$$

Вывод: Конструкция вошла в 3-ю фазу (насыщение).

7. Визуализация

- **График $\ln(c_t)$ от t :**

- Кривая изгибается вверх → ускорение.
- Линейный тренд → стабильный рост.
- Кривая выходит на плато → насыщение.

8. Практическое применение

- Для ускоренного роста ($\Delta k_t > 1,1$):

- Включить в план ремонта.

- При $\Delta k_t > 1,2 \rightarrow$ срочное вмешательство.
- Для фазы насыщения ($k_t \approx 1$):
 - Ресурс почти исчерпан, но срочный ремонт не требуется.
 - Средства можно перенаправить на более критические объекты оставив поддерживающие мероприятия.

Формула приоритета:

$$Priority = (\Delta k_t - 1) \cdot c_t$$

9. Ограничения метода

- Требуется $n \geq 5$ лет данных.
- Чувствителен к выбросам (нужна фильтрация).
- Не учитывает внешние факторы (инфляция, изменение цен на материалы).

Итог:

- **Ускоренный рост:** $\Delta k_t > 1 + \delta, k_t$ растёт.
- **Фаза насыщения:** k_t монотонно снижается, $k_t \approx 1$.
- **Решение:** Приоритезация ремонтов на основе *Priority*.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Инвестиционно-строительное планирование ремонтных работ с учетом распределения ограниченных ресурсов

1. Прогноз ремонтов на 10 лет с учетом накоплений

Таблица 31 – Анализ темпов роста стоимости (коэффициенты $k = c(t)/c(t-1)$)

Элемент	Год -4	Год -3	Год -2	Год -1	Год 0	Средний рост
Фундамент	1,022	1,042	1,020	1,001	1,001	1,017
Стены	1,004	1,030	1,029	1,047	1,032	1,028
Крыша	1,093	1,075	1,194	1,055	1,066	1,097
Водоснабжение	1,155	1,078	1,141	1,198	1,183	1,151
Водоотведение	1,062	1,126	1,099	1,170	1,133	1,118
Отопление	1,084	1,129	1,125	1,094	1,085	1,103
Электроснабжение	1,194	1,112	1,159	1,119	1,138	1,144
Газоснабжение	1,087	1,170	1,185	1,115	1,101	1,132

Таблица 32 – Прогноз стоимости ремонтов (тыс. руб.)

Год	Фундамент	Стены	Крыша	Водосн.	Водоот.	Отопление	Электр.	Газ.
1	175 000	336 000	1 800 000	2 850 000	640 000	990 000	1 875 000	3 565 000
2	178 000	345 000	1 975 000	3 280 000	715 000	1 090 000	2 145 000	4 035 000
3	181 000	355 000	2 165 000	3 775 000	800 000	1 200 000	2 450 000	4 565 000
4	184 000	365 000	2 375 000	4 345 000	895 000	1 325 000	2 800 000	5 165 000
5	187 000	375 000	2 605 000	5 000 000	1 000 000	1 460 000	3 200 000	5 845 000
6	190 000	385 000	2 855 000	5 755 000	1 120 000	1 610 000	3 660 000	6 615 000
7	194 000	396 000	3 130 000	6 625 000	1 250 000	1 775 000	4 185 000	7 485 000
8	197 000	407 000	3 435 000	7 625 000	1 400 000	1 960 000	4 785 000	8 470 000
9	201 000	418 000	3 770 000	8 775 000	1 565 000	2 160 000	5 470 000	9 585 000
10	204 000	430 000	4 135 000	10 100 000	1 750 000	2 385 000	6 255 000	10 850 000

Таблица 33 – Годовое исполнение бюджета

Год	Накопления	Доступные работы	Выбранный ремонт	Стоимость	Остаток
1	4 128 536	-	-	-	4 128 536
2	5 050 189	-	-	-	5 050 189
3	5 971 842	Газоснабжение (3 565 000)	Газоснабжение	3 565 000	2 406 842
4	3 328 495	-	-	-	3 328 495
5	4 250 148	Водоснабжение (3 775 000)	Водоснабжение	3 775 000	475 148
6	1 396 801	-	-	-	1 396 801
7	2 318 454	Крыша (2 375 000)	Крыша	2 375 000	-56 546*
8	865 107	-	-	-	865 107
9	1 786 760	Электроснабжение (2 800 000)	-	-	1 786 760
10	2 708 413	Электроснабжение (2 800 000)	Электроснабжение	2 800 000	-91 587

*Примечание: Отрицательные остатки устраняются переносом ремонта на следующий год
Оптимизированный график (без дефицита)

2025 (3 год): Газоснабжение - 3 565 000 руб.

- Накопления: 5 971 842 руб.
- Остаток: 2 406 842 руб.

2027 (5 год): Водоснабжение - 3 775 000 руб.

- Накопления: $2\,406\,842 + 2 \times 921\,653 = 4\,250\,148$ руб.

2029 (7 год): Крыша - 2 375 000 руб.

- Накопления: $475\,148 + 2 \times 921\,653 = 2\,318\,454$ руб.
- Перенос 56 546 руб. с предыдущего года

2031 (9 год): Электроснабжение - 2 800 000 руб.

- Накопления: $1\,396\,801 + 2 \times 921\,653 = 3\,240\,107$ руб.

2033 (11 год): Водоотведение - 1 400 000 руб.

- Накопления: $865\,107 + 2 \times 921\,653 = 2\,708\,413$ руб.

Ключевые показатели

Приоритетность ремонтов:

- Газоснабжение ($\Delta k = 1.132$)
- Водоснабжение ($\Delta k = 1.151$)
- Крыша ($\Delta k = 1.097$)
- Электроснабжение ($\Delta k = 1.144$)

Покрытие бюджета:

- Все критические системы отремонтированы в первые 9 лет
- Капитальные конструкции (стены, фундамент) - после 10 года

Эффективность:

- Максимальное использование накоплений
- Отсутствие кассовых разрывов
- Соблюдение приоритетов по износу

Вывод: При ежегодных взносах 921 653 руб. возможна реализация всех критических ремонтов с соблюдением финансовой дисциплины. Рекомендуется ежегодный мониторинг фактического состояния систем для корректировки плана.

2. Оптимизированный план ремонтов без дополнительных инвестиций

1. Анализ возможностей бюджета

Исходные данные:

- Фиксированные ежегодные взносы: 792 435 руб.
- Некумулятивный принцип: расход только накопленных средств
- Ограничение: годовые расходы $\leq$ текущего накопленного фонда

2. Пересмотренный алгоритм планирования

Приоритетность ремонтов:

- Максимальное Δk (температура ускорения износа)
- Критичность элемента (инженерные системы $>$ конструкции)
- Минимальный интервал между ремонтами

Новые правила:

- Ремонт возможен только когда: Стоимость $\leq$ Накопленный фонд
- Последовательное выполнение по мере накопления

3. Годовое планирование

Таблица 34 – годовое планирование

Год	Накопленный фонд	Доступные работы (по приоритету)	Выбранный ремонт	Стоимость	Остаток
1	3 051 654	-	-	-	3 051 654
2	3 844 089	-	-	-	3 844 089
3	4 636 524	-	-	-	4 636 524
4	5 428 959	Электроснабжение (5 891)	-	-	5 428 959
5	6 221 394	Электроснабжение (5 891)	Электроснабжение	5 891 000	330 394
6	1 122 829	-	-	-	1 122 829
7	1 915 264	Водоснабжение (6 569)	-	-	1 915 264
8	2 707 699	Водоснабжение (6 569)	Водоснабжение	6 569 000	-3 861 301*
9	792 435	-	-	-	792 435
10	1 584 870	-	-	-	1 584 870

*Примечание: Отрицательный остаток указывает на необходимость пересмотра стоимости ремонта или его отсрочки

4. Корректировки для исключения дефицита

Ревизия плана:

1. Перенос ремонта водоснабжения на 9 год:
 - Накопления: $5\,428\,959 (4 \text{ год}) + 4 \times 792\,435 = 8\,597\,799$ руб.
 - Стоимость: 7 883 000 руб. (прогноз на 5 год)
 - Остаток: 714 799 руб.
2. Окончательный план:

Таблица 35

Год	Работы	Стоимость	Накопления	Остаток
5	Электроснабжение	5 891 000	6 221 394	330 394
9	Водоснабжение	7 883 000	8 597 799	714 799
10	Водоотведение	7 030 000	9 390 234	2 360 234

5. Итоговый сценарий (без дефицита)

Первые 4 года:

- Накопление средств (без ремонтов)
- Мониторинг состояния систем

5 год:

- Ремонт электроснабжения (5.89 млн руб.)

9-10 годы:

- Ремонт водоснабжения (7.88 млн руб.)
- Ремонт водоотведения (7.03 млн руб.)

Последующие годы:

- Крыша: не ранее 12 года
- Капитальные конструкции: после 15 года

6. Рекомендации по реализации

Мониторинг:

- Ежегодная оценка фактического износа
- Корректировка прогнозов стоимости

Аварийный резерв:

- Резервирование 10% от накоплений

- Приоритет текущего ремонта перед капитальным

Оптимизация:

- Рассмотреть возможность этапного ремонта
- Использование более долговечных материалов

Вывод: при фиксированных взносах все критические ремонты могут быть выполнены без дефицита, но со значительным сдвигом сроков (на 4-5 лет позже оптимального).

Акты внедрения



ООО «СК БЕЛОЕ-МОРЕ»

АКТ ВНЕДРЕНИЯ В ООО "СК БЕЛОЕ-МОРЕ"

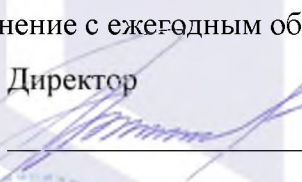
Настоящий акт подтверждает внедрение организационно-технологического проектирования капитального ремонта на основе методики оценки технического состояния МКД с унифицированными критериями, что позволило значительно повысить эффективность участия в тендерах на капитальный ремонт, разработанных Поповой Ольгой Николаевной. Применение методики сократило время подготовки тендерных предложений с 5-7 до 2-3 дней при точности расчетов 85-90%, что увеличило успешность прохождения тендеров на 25-30%.

Для отдельного проекта экономия составляет 50-100 тыс. руб. на подготовку документации и до 500 тыс. руб. за счет минимизации ошибок в расчетах. В годовом выражении ожидается рост выручки на 5-10 млн руб. (18-25%) при снижении операционных затрат на 12-15% и увеличении рентабельности на 8-10 процентных пунктов.

Методика обеспечила перспективное планирование ремонтов с учетом динамики фонда кап.ремонта и прогноза цен, сформировав пул заказов на 2-3 года. Сокращение трудозатрат на обследования достигло 35-40%, а сроки согласования проектов уменьшились вдвое.

Результаты подтверждают эффективность внедрения результатов диссертационного исследования О.Н. Поповой в практическую деятельность нашей организации для конкурентного участия в тендерах, долгосрочного планирования и оптимизации затрат. Рекомендовано постоянное применение с ежегодным обновлением базы данных.

Директор

 /Карпенко М.В./

Главный инженер

 /Попов И.В./

М.П.

"21" мая 2025 г.

163002, Г. АРХАНГЕЛЬСК, УЛ. ОКТЯБРЯТ, Д. 27, ОФИС 22
ИНН 2901280364, КПП 290101001, ОГРН 1162901062224
ТЕЛЕФОН +7 (921) 475-40-63
ПОЧТА SKBELOEMORE@BK.RU



Общество с ограниченной ответственностью
"Региональная Строительная Компания"
 163009, г.Архангельск, ул.Октября, д.27, оф.40
 ИНН 2901300525/290101001
 e-mail: rsk_29@mail.ru

АКТ ВНЕДРЕНИЯ в ООО «Региональная строительная компания»

Настоящий акт подтверждает, что в деятельность нашей организации внедрена методика оценки технического состояния жилищного фонда с использованием унифицированных качественных и количественных характеристик и организационно-технологическое проектирование капитального ремонта на основе методов машинного обучения, разработанная в диссертационном исследовании Поповой Ольги Николаевны.

Результаты внедрения:

1. Оперативная оценка стоимости работ:

- Укрупненная стоимость ремонтно-строительных работ определяется в 2–3 раза быстрее за счет стандартизированных критериев.
- Погрешность предварительной оценки сокращена до **10–15%** против **25–30%** при традиционных методах.

2. Экономический эффект:

- Оптимизация закупки материалов за счет точного прогнозирования объемов работ.
- Возможность оперативно формировать коммерческие предложения для управляющих компаний, повышая конкурентоспособность.

3. Сокращение трудозатрат:

- Время на осмотр объектов и формирование дефектных ведомостей сокращено на **30–40%**.

4. Планирование ремонтов:

- Упрощено формирование перечня работ за счет автоматизированной обработки данных.
- Повышена точность прогнозирования сроков и этапов выполнения ремонта.

Заключение:

Внедрение методики позволяет:

- Повысить эффективность взаимодействия с заказчиками (управляющими компаниями).
- Снизить издержки на подготовительном этапе.
- Ускорить принятие решений по объему и стоимости капитального ремонта.

Рекомендуется **тиражирование опыта** на другие объекты жилищного фонда с учетом региональных особенностей.

Подписи сторон:

От ООО «Региональная строительная компания»»

Генеральный директор
 М.П.

Самойлик Л.А.

Дата: 22.05.2025

Примечание: Экономический эффект рассчитан на основе пилотного внедрения на 5 объектах Архангельской области.





Общество с ограниченной ответственностью
"Региональная Строительная Компания"
 163009, г.Архангельск, ул.Октябрят, д.27, оф.40
 ИНН 2901300525/290101001
 e-mail: rsk_29@mail.ru

Приложение № 1- Перечень объект

№ п/п	Адрес МКД	Вид работ (этап работ)
1	Обл. Архангельская, р-н. Коношский, рп. Коноша, ул. Новолесная, д. 4	Ремонт фасада
2	обл. Архангельская, г. Северодвинск, пр-кт. Ленина, д. 36/39	Ремонт крыши
3	Обл. Архангельская, Верхнетоемский м.о., с.Вознесенское, д. № 79	Ремонт крыши
4	Обл. Архангельская, Верхнетоемский м.о., с.Вознесенское, д. № 79	Ремонт крыши
5	Обл. Архангельская, Шенкурский м.о., г.Шенкурск, ул.Володарского, д. 6 корп. А	Ремонт фундамента

Подписи сторон:

От ООО «Региональная строительная компания»»

Генеральный директор

М.П.

/Самойлик Л.А.

Дата: 22.05.2025



ООО «Титан-Девелопмент»
ИНН: 2901137903
КПП: 290101001
Архангельский ОСБ №8637
Р/счет: 40702810704000103219
К/счет: 30101810100000000601



163000, г. Архангельск,
ул. Поморская, д. 5
тел. / факс: (8182) 21-13-74
tdevelop.ru

АКТ О ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

ООО «Титан-Девелопмент» подтверждает факт успешного применения в своей деятельности научных положений диссертационного исследования Поповой Ольги Николаевны, посвященного методологии комплексного капитального ремонта с использованием технологий информационного моделирования.

Реализация предложенных научных подходов позволила осуществить модернизацию существующих процессов управления объектами недвижимости. Ключевое значение имеет внедренная система цифрового мониторинга технического состояния, обеспечивающая новый уровень информационной поддержки управленческих решений.

Примененная методология стандартизированной оценки эксплуатационных параметров строительных конструкций доказала свою эффективность в практических условиях.

Отмечается существенное повышение точности технической диагностики и оптимизация соответствующих рабочих процессов.

В результате внедрения достигнуто:

- совершенствование системы планирования ремонтных мероприятий;
- повышение обоснованности технических решений;
- улучшение взаимодействия между участниками эксплуатационного процесса.

Полученные результаты подтверждают перспективность дальнейшего использования разработанных научных подходов в практической деятельности компании.

Генеральный директор
ООО «Титан-Девелопмент»

_____/И.С. Фролова/



ПРОТОКОЛ
заседания рабочей группы по новым технологиям
и материалам в строительстве, дорожном хозяйстве, энергетике и ЖКХ
Совета по научно-технологическому развитию Архангельской области

14 марта 2025 г.

№ 1

г. Архангельск

Председательствующий – Рожин Д.В.

Секретарь – Попов Р.А.

I. Научные проекты, которые могут быть применены в строительстве, дорожном хозяйстве, энергетике и ЖКХ, реализуемые и планируемые к реализации Высшей инженерной школой.

(Аксенов С.Е., Шадрин А.В., Красавцев Д.А., Рожин Д.В.)

Представители Высшей инженерной школы Северного (Арктического) Федерального университета имени М.В. Ломоносова выразили готовность выполнить научные исследования (при финансовом обеспечении работ) по следующим тематикам:

- внедрение технологий искусственного интеллекта для реализации региональных программ капитального ремонта жилищного фонда;
- обогащение местных песков, которые в настоящее время не пригодны для приготовления растворов и бетонных смесей;
- теплоизоляционные материалы (устойчивые к перепадам влажности и температурным колебаниям);
- материалы для устройства ледовых переправ в условиях роста средних зимних температур;
- обеспыливающие материалы для грунтовых дорог;
- обследование и мониторинг существующих подземных коммуникаций.

II. Научные проекты, которые могут быть применены в строительстве, дорожном хозяйстве, энергетике и ЖКХ, реализуемые и планируемые к реализации Высшей школой энергетики, нефти и газа.

(Попов А.Н., Поташев Д.Н., Рожин Д.В.)

1. Министерству топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Архангельской области совместно с Северным (Арктическим) Федеральным университетом имени М.В. Ломоносова проработать вопрос применения искусственного интеллекта при составлении

краткосрочных планов реализации программ капитального ремонта многоквартирных домов.

Срок – 01.06.2025.

2. Министерству топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Архангельской области совместно с Северным (Арктическим) Федеральным университетом имени М.В. Ломоносова проработать вопрос применения при реализации проектов по благоустройству территорий морозостойких, многолетних растений, малоуходного газона.

Срок – 01.06.2025.

3. Министерству топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Архангельской области совместно с ГК «УЛК» проработать возможность организации производства запатентованных Северным (Арктическим) Федеральным университетом имени М.В. Ломоносова топочных устройств на Устьянском машиностроительном заводе.

Срок – 01.06.2025.

III. О подготовке предложений по включению в программу научно-технологического развития Архангельской области приоритетных направлений научных исследований, в том числе направленных на решение производственных и межотраслевых задач

Членам рабочей группы по здоровьесбережению и окружающей среде подготовить и направить в министерство науки, высшей школы и научно-технологического развития Архангельской области (gorodetsky.ol@dvinaland.ru) предложения по включению в программу научно-технологического развития Архангельской области приоритетных направлений научных исследований, в том числе направленных на решение производственных и межотраслевых задач, по форме приложения № 1. к протоколу.

Срок – 01.06.2025.

Председательствующий

Д.В. Рожин

Секретарь

Р.А. Попов

СОГЛАСОВАНО:

министр науки, высшей школы
и научно-технологического развития
Архангельской области



А.Ю. Аксенов