

На правах рукописи

ПОПОВА Ольга Николаевна

**МЕТОД КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
РЕМОНТА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ИХ
СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА**

Специальность: **05.23.08** – Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» на кафедре организации строительства

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
СИМАНКИНА Татьяна Леонидовна

Официальные оппоненты: **КОЗИН Пётр Александрович**
доктор технических наук, профессор, ООО
«РМС-ОЦЕНКА», г. Санкт-Петербург,
генеральный директор;

ШИШКИН Анатолий Иванович
доктор технических наук, профессор,
ФГБУН Институт экономики Карельского
научного центра РАН, г. Петрозаводск,
главный научный сотрудник

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Иркутский
государственный технический
университет»**

Защита диссертации состоится «24» июня 2014 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д **212.223.01** при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 219).

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

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

Автореферат разослан «___» апреля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор

Казаков Юрий Николаевич

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одной из основных задач государственной политики России является обеспечение граждан качественным и комфортным жильем. В настоящий момент на территории Российской Федерации в аварийном состоянии находятся порядка 13,5 млн. кв.м. жилья, что составляет 0,5% многоквартирных домов. Согласно распоряжению Правительства РФ № 1743-р от 26 сентября 2013 г. процесс ликвидации аварийности жилищного фонда должен завершиться к 2017 г.

Проблема аварийного и ветхого жилья связана с решением сложной и комплексной задачи, включающей в себя многие виды строительства, такие как новое строительство, реконструкция, модернизация, капитальный и текущий ремонты. При этом дополнительно, синхронно и на современном уровне также должны решаться вопросы эксплуатации жилых зданий, поскольку положительная динамика в этой сфере позволит сохранить существующий жилищный фонд в состоянии, пригодном для проживания на максимально длительный период времени, и переломить отрицательные тенденции нарастания темпов выбытия жилья. Отсюда следует, что календарное планирование ремонтов жилых зданий должно определять не только техническое восстановление зданий, но и необходимую номенклатуру, объем и сроки проведения всех воспроизводственных мероприятий.

Также следует отметить тот факт, что при создании комплексной системы календарного планирования ремонтов жилых зданий необходимо учитывать высокую степень их неоднородности, связанную с различными конструктивными, эксплуатационными, экономическими и другими характеристиками. Учитывая эти обстоятельства, данное исследование ориентировано на создание современных методов, системно объединяющих моделирование, прогноз и классификацию неоднородной совокупности объектов, получившей название нейросетевого моделирования. Данный вид моделирования относится к новым математическим моделям искусственного интеллекта, и поэтому в рамках используемой модели необходимо разработать и адаптировать специфические для капитального ремонта процедуры, связанные с мониторингом и технической эксплуатацией жилищного фонда. При этом практический результат представленного исследования направлен на разработку региональных программ капитального ремонта жилищного фонда субъектов РФ.

Степень разработанности темы исследования. Теоретическими основами исследования стали труды ученых в области календарного планирования, организации эксплуатации и обследования технического состояния объектов недвижимости: Асаул А.Н., Бадьин Г.М., Бойко А.Ю., Болотин С.А., Бирюков А.Н., Грабовый П.Г., Козин П.А., Мищенко В. Я., Панибратов Ю.П., Ройтман А. Г., Смирнов Е.Б., Шеина С.Г., Шишкин А.И., Шрейбер К.А. и др.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования заключается в разработке метода календарного планирования ремонта жилых зданий с использованием структурного анализа жилищного фонда путем кластеризации неоднородных объектов на основе нейросетевого моделирования и динамического программирования для оптимизации финансовых ресурсов при реализации программ капитального и текущего ремонта.

Задачи исследования:

1. Провести анализ передовых способов технической эксплуатации и методов экономико-математического моделирования, используемых в планировании ремонта и повышении эксплуатационного качества жилых зданий;
2. Разработать алгоритмы системно-структурного подхода к организационно-технологическому проектированию и планированию комплексного процесса воспроизводства жилищного фонда;
3. Провести экспериментальный анализ мониторинга технического состояния и разработать методику кластеризации жилищного фонда на основе метода нейросетевого моделирования;
4. Спрогнозировать динамику развития износа конструктивных элементов и систем инженерного оборудования зданий в зависимости от сроков их службы, а также сметной стоимости ремонтно-строительных работ при их планировании;
5. На основе анализа временных рядов логистического типа разработать модели физического износа конструктивных элементов и систем инженерного оборудования жилых зданий;
6. На основе динамического программирования разработать метод календарного планирования, учитывающий периодичность проведения ремонтов жилых зданий с учетом дифференцированной эксплуатации отдельных элементов здания.

Объектом исследования являются организационно-технологические проекты и программы капитального и текущего ремонта жилищного фонда субъектов РФ.

Предметом исследования являются элементы комплексных методов календарного планирования ремонтов зданий, включающих оценку уровня технического состояния и кластеризацию объектов капитального строительства, прогнозирование долговечности и динамики физического износа зданий, а также календарное планирование ремонта жилых зданий, ориентированное на оптимизацию финансовых ресурсов.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Разработан алгоритм системно-структурного подхода к организационно-технологическому проектированию и планированию комплексного процесса воспроизводства жилищного фонда;
2. Разработана методика кластеризации жилищного фонда на основе нейросетевого моделирования с использованием самоорганизующихся

карт (Self Organizing Maps – SOM), составленных для жилищного фонда г. Архангельска;

3. На основе анализа временных рядов логистического типа, функционально связанных со сроком службы конструкций, разработаны модели физического износа конструктивных элементов и систем инженерного оборудования жилых зданий, включающие относительные изменения восстановительной стоимости конструкций и инженерного оборудования, а также стоимости их ремонтов;
4. На основе динамического программирования разработан метод календарного планирования ремонта жилых зданий, обеспечивающий оптимизацию финансовых ресурсов.

Методологической основой диссертационного исследования послужили теория оценки физического износа, нейросетевое моделирование, динамическое программирование и календарное планирование.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.23.08 «Технология и организация строительства», а именно п. 9 «Разработка принципов организации строительства крупных народнохозяйственных объектов и комплексов; развитие поточных методов, сетевых и других моделей строительства; *совершенствование методов календарного планирования*», п.10 «Разработка и оптимизация форм управления строительным производством; обоснование и выбор рациональных организационных структур и методов управления в строительстве; *развитие информационных технологий организации и управления строительством*».

Практическая ценность и реализация результатов исследований заключается в разработке программно-методических документов, определяющих комплекс следующих мероприятий: проведение мониторинга, структурный анализа жилищного фонда, прогнозирование и контроль его технического состояния, и оптимизационное календарное планирование ремонта жилых зданий.

Апробация. Основные теоретические положения и выводы диссертации докладывались автором на областном форуме «Стройиндустрия Архангельской области» (2008г.); на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава АГТУ-САФУ (2008-2013 г.); на международной научно-технической конференции молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов СПбГАСУ 2013 г.; на XVIII и XXII Российско-словацко-польских семинарах 2009, 2013 гг.

Основные алгоритмы и методики апробированы администрацией Октябрьского территориального округа мэрии города Архангельска при календарном планировании ремонтно-строительных работ жилищного фонда МО «Город Архангельск», а также управляющими организациями г. Архангельска ООО «Торн-1» и ООО «Уютный дом-1», что подтверждено актами внедрения разработок.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, общим объемом 5,32 п.л., лично автором – 3,61 п.л., в том числе 5 работ

опубликованы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденный ВАК РФ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 164 наименования и 8 приложений. Работа содержит 171 страницу машинописного текста (шрифт Times New Roman, 14 пт), включая 65 рисунков, 30 таблиц и 42 формулы.

Во введении дано обоснование актуальности темы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, описаны объект и предмет исследования, охарактеризована научная новизна исследования, представлена практическая значимость полученных результатов, а также приведены сведения об апробации и публикациях.

В первой главе проведен анализ технического состояния жилищного фонда, в частности, г. Архангельска и нормативно-правовой базы, регламентирующей проведение технической эксплуатации жилищного фонда, принципов технической эксплуатации и предложена технология поэлементной эксплуатации, а также представлен анализ методов экономико-математического моделирования и календарного планирования ремонта жилых зданий.

Во второй главе разработаны алгоритмы и системно-структурный подход к планированию отдельных этапов процесса комплексного воспроизводства жилищного фонда на основе методики кластеризации жилищного фонда с применением методов нейросетевого моделирования.

В третьей главе рассмотрены вопросы, связанные с прогнозированием и моделированием срока службы и технического состояния конструктивных элементов жилых зданий с применением средств искусственного интеллекта. Разработан метод календарного планирования периодичности проведения ремонта для конструктивных элементов объектов, входящих в один кластер с привлечением методов динамического программирования на основе поэлементной эксплуатации здания.

В четвертой главе выполнено пообъектное календарное планирование ремонта на примере группы многоквартирных домов (МКД); разработана типовая программа ремонтов и приведен расчет величин взносов на капитальный и текущий ремонты для объектов, входящих в один кластер.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Разработан алгоритм системно-структурного подхода к организационно-технологическому проектированию и планированию комплексного процесса воспроизводства жилищного фонда.

Алгоритм системно-структурного подхода (рис. 1) включает следующие этапы. Первым этапом должно стать формирование обобщенной информационной базы объектов недвижимости на основе оценки технических

параметров состояния зданий, с привлечением методик и инструментов технической диагностики.

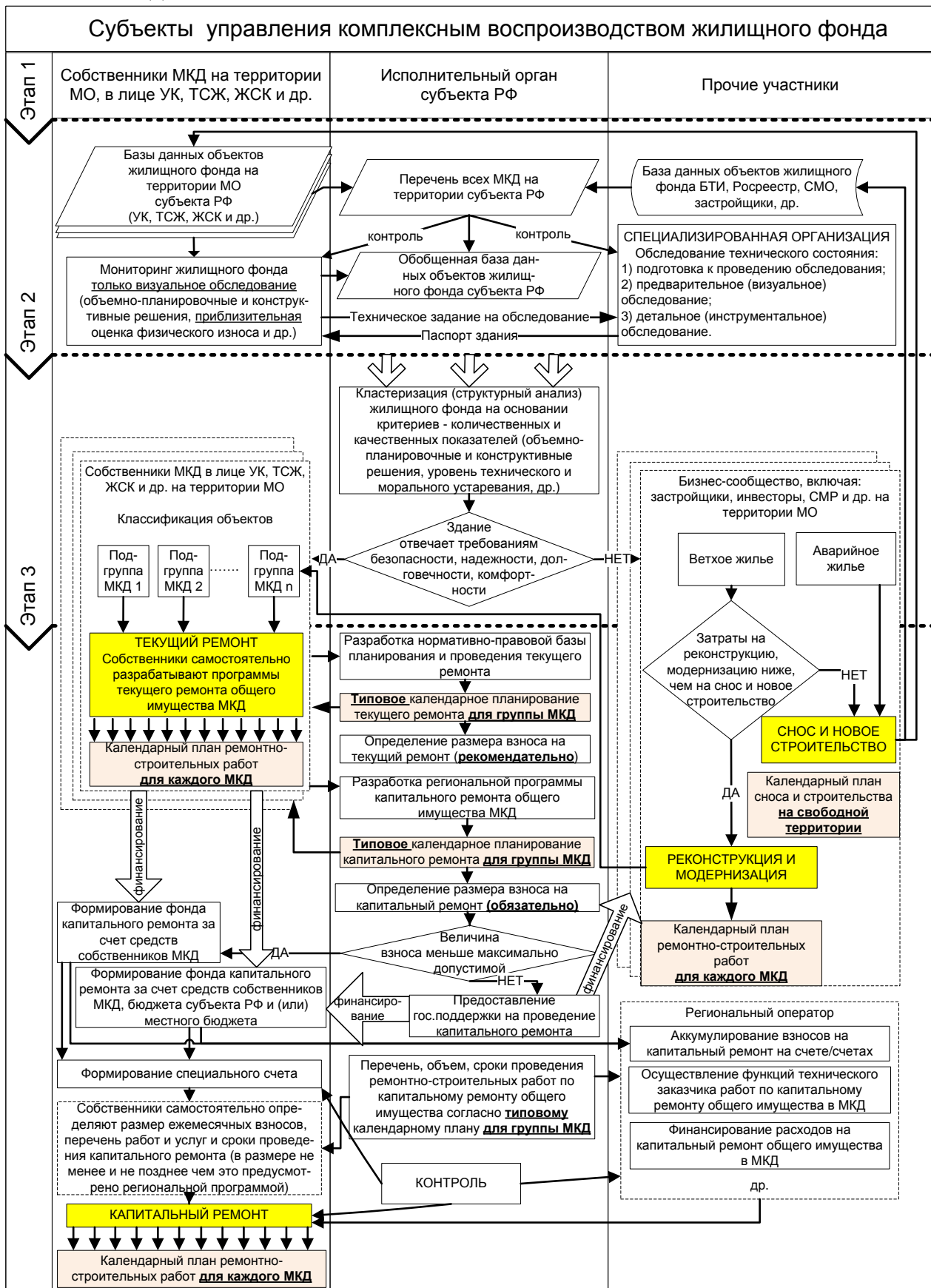


Рис. 1. Алгоритм организационно-технологического управления комплексным воспроизводством жилищного фонда

На втором этапе необходимо провести её кластеризацию (структурный анализ), результатом которой должна стать классификация объектов жилищного фонда, позволяющая принять решение о проведении того или иного вида ремонта для группы однородных объектов, на основе компьютерного моделирования, методов кластеризации на основе принципа близости технических характеристик зданий.

На третьем этапе результаты проведенного структурного анализа позволяют осуществить календарное планирование ремонта: спланировать необходимый объем, номенклатуру, ресурсы, сроки проведения и стоимость мероприятий, которые зависят от показателей группы объектов жилой недвижимости.

Таким образом, системно-структурный подход к отдельным этапам комплексного воспроизводства жилищного фонда позволяет достичь максимального эффекта этих мероприятий при оптимальном соотношении материальных, трудовых и финансовых ресурсов, основываясь на традиционном календарном планировании ремонта, позволяющим вырабатывать единообразные подходы поточной организации работ. Это дает возможность обосновать размеры капитальных вложений для групп однородных объектов, а применение современных методов кластерного анализа исключает субъективизм расчетов.

2. Разработана методика кластеризации жилищного фонда на основе нейросетевого моделирования с использованием самоорганизующихся карт (Self Organizing Maps – SOM), составленных для жилищного фонда г. Архангельска.

Особенностью кластеризации в задаче мониторинга жилищного фонда является многомерность исследуемых данных, которые включают в себя множество характеристик: объем, общую площадь, конструктивные особенности, физический износ и срок службы здания и его отдельных конструктивных элементов и др. Для проведения комплексного анализа осуществлен сбор данных о 316-ти объектах, что составляет 20% от жилищного фонда города г. Архангельска.

Одним из современных эффективных программных инструментов нейросетевого моделирования для решения задач кластеризации являются самоорганизующиеся карты (SOM), позволяющие визуализировать и обобщать наборы многомерных данных.

Полученную в результате решения карту можно представить в виде многослойной раскраски, каждый слой которой сформирован одной из характеристик исходных данных (рис. 2а). Кластеры – это группы векторов, расстояние между которыми меньше, чем расстояние до соседних групп векторов (рис. 2б). Все объекты, попавшие в один кластер, имеют сходные характеристики.

На рисунке 3 изображены графики нормализованных характеристик объектов, входящих в один из кластеров, где можно наблюдать высокую

внутреннюю однородность и определенность компонент, что свидетельствует об успешности проведенной кластеризации. На основе приведенных графиков рассчитано среднее значение нормализованных характеристик по кластеру (на рис. 3 – жирная линия).

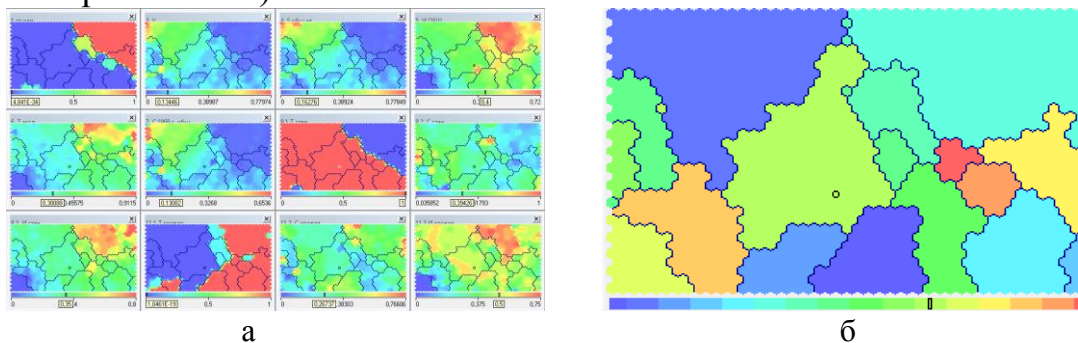


Рис. 2. а) SOM и проекции характеристик (карты отдельных характеристик); б) кластеры

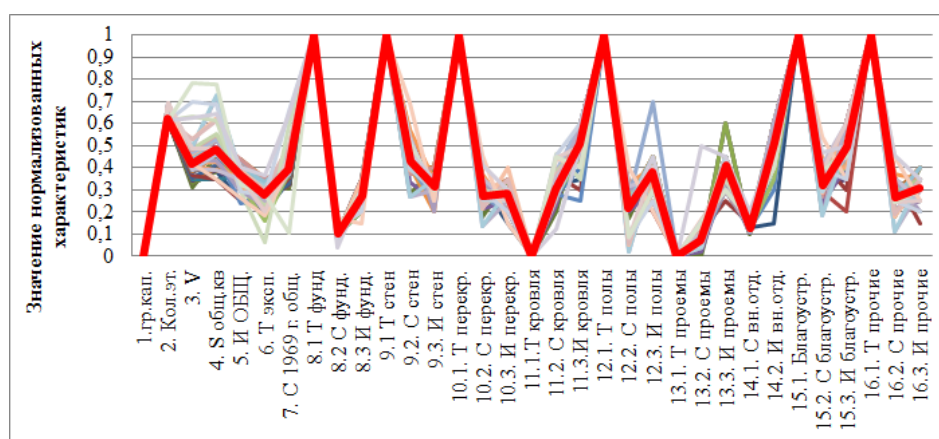


Рис. 3. Карта кодирующих индексов признаков объектов по одному из кластеров

Кластеризация позволила провести структурный анализ жилищного фонда и определила 16 групп объектов, которые представлены в матрице 4×4 (рис. 4). Вероятность того, что нормализованная характеристика объекта, попавшего в кластер, окажется в границах доверительного интервала в диапазоне 5% от его среднего значения по кластеру составляет 90%. Дисперсия средних значений нормализованных характеристик разных кластеров принимает максимальное значение. Таким образом, среднее значение нормализованных характеристик кластера достаточно точно описывают каждый объект, попавший в данный кластер. Это позволяет осуществить типовое календарное планирование с подобными номенклатурой и сроками проведения работ для объектов кластера.

В каждой клетке матрицы представлены название группы (К I-J), группа капитальности, средний срок эксплуатации и износ зданий. Положение группы в матрице показывает наличие схожих характеристик с объектами соседних ячеек матрицы, которые постепенно изменяются от одной вершины к другой.

На основании полученных результатов можно выделить следующую иерархию МКД: «Новый жилищный фонд», «Жилищный фонд в хорошем состоянии», «Стареющий жилищный фонд», «Ветхий и аварийный жилищный фонд» (рис. 4) и охарактеризовать основные особенности жилищного фонда города (табл. 1).

Характеристика групп жилищного фонда города

	Кластер	Кол-во объектов, %	Характеристика	Рекомендации	Объемы и источники финансирования
Новый жилищный фонд	К 1-1	10	МКД средней этажностью 7-8 этажей, 1 группа капитальности, незначительный срок службы и износ. Режим эксплуатации хороший.	Разработка <i>долгосрочных</i> программ капитального и текущего ремонтов с расчетом оптимальных величин взносов в фонд капитального ремонта.	Незначительный размер взносов на ремонт, достаточного для формирования фонда к моменту проведения ремонтно-строительных работ. Финансирование за счет средств собственников.
	К 2-1				
Жилищный фонд в хорошем состоянии	К 1-2	47	МКД средней этажностью 5-9 этажей, 1 группа капитальности, средний срок службы и износ. Режим эксплуатации удовлетворительный.	Проведение капитальных и текущих ремонтов в ближайшие 3-5 лет с целью устранения сверх нормативного износа. Разработка <i>долгосрочных</i> программ капитального и текущего ремонтов с расчетом оптимальных величин взносов.	Повышенный размер взносов на ремонт в ближайшие 3-5 лет с целью проведения ремонтно-строительных работ по устранению сверхнормативного износа. Затем снижение взносов до уровня достаточного для формирования фонда к моменту проведения следующего капитального и текущего ремонтов. Финансирование за счет средств собственников с возможностью привлечения субсидирования.
	К 2-2				
	К 1-3				
	К 3-1				
	К 4-1				
Стареющий жилищный фонд	К 1-4	23	МКД средней этажности 2-5 этажей, 1-4 группа капитальности, значительный срок службы и износ. Режим эксплуатации зданий неудовлетворительный. Признаки морального устаревания.	Проведение капитальных и текущих ремонтов в ближайшие 1-3 года с целью устранения сверхнормативного износа. Модернизация и реконструкция. Разработка <i>долгосрочных</i> программ капитального и текущего ремонтов с расчетом оптимальных величин взносов.	Значительный размер взносов на ремонт. Проведение модернизации и реконструкции. Финансирование за счет средств собственников с привлечением значительных объемов субсидирования.
	К 3-2				
	К 2-3				
	К 3-3				
	К 2-4				
Ветхий и аварийный жилищный фонд	К 3-4	20	Малозэтажные МКД (2-4 этажа), в основном 4 группой капитальности, предельный срок службы. Режим эксплуатации неудовлетворительный. Высокий уровень физ. износа и морального устаревания (неблагоустроенные и частично-благоустроенные).	Принятие решения о виде воспроизводственных мероприятий: капитальный и текущий ремонт, реконструкция и модернизация, снос и новое строительство. Проведение ремонтно-строительных работ или расселения в ближайшие 1-3 года. При сохранении МКД разработка <i>среднесрочных</i> программ капитального и текущего ремонтов для выработки остаточного ресурса здания.	Значительный размер взносов в фонды капитального и текущего ремонтов. Финансирование модернизации и реконструкции, сноса и расселения зданий. Финансирование в основном за счет привлечения значительных объемов субсидирования.
	К 4-3				
	К 4-4				

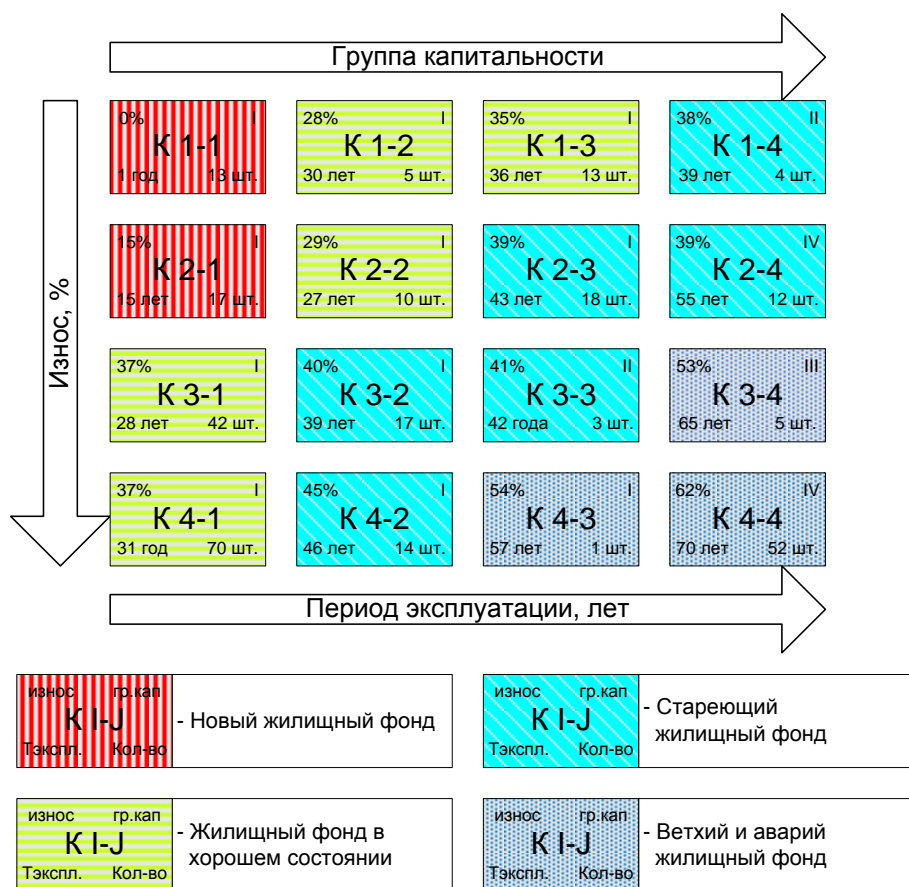


Рис. 4. Матрица 4×4 распределения кластеров

Динамика изменения структуры жилищного фонда может быть учтена посредством исследования данных текущей матрицы с ранее созданными матрицами.

3. На основе анализа временных рядов логистического типа, функционально связанных со сроком службы конструкций, разработаны модели физического износа конструктивных элементов и систем инженерного оборудования жилых зданий, включающие относительные изменения восстановительной стоимости конструкций и инженерного оборудования, а также стоимости их ремонтов.

Задачей календарного планирования ремонтов жилых зданий является определение периода их проведения, необходимого объема материальных и трудовых ресурсов, а также объемов финансирования, поэтому целесообразно определить зависимость величины износа от времени и удельные показатели затрат на ремонтно-строительные работы.

Алгоритм подготовки исходных данных для прогнозирования срока службы и технического состояния включает в себя 5 этапов:

1 этап – Сбор и обработка данных о техническом состоянии жилищного фонда.

2 этап – Классификация конструктивных элементов и систем инженерного оборудования здания по группам, имеющим сходные показатели надежности и эксплуатационные характеристики.

3 этап – Проведение оценки соответствия реальных показателей динамики износа конструкций с нормативными значениями согласно нормам ВСН 53-86(р).

Оценка проводится путем расчета средней относительной ошибки данных обследования от расчетных значений согласно нормам ВСН 53-86(р), представленных на примере рулонной кровли в таблице 2.

4 этап – Уточнение сроков службы и прогнозирование динамики физического износа отдельных конструкций и систем инженерного оборудования на основании рядов оценок износа конструктивных элементов с применением механизма нейронной сети для анализа данных.

На вход нейросети подаются значения физического износа с интервалом 5%, по величине которых сеть сама находит соответствующее значение срока службы объекта. Варьируя параметры функции (гладкость и непрерывность) была достигнута высокая точность результатов, обеспечивающая адекватность модели. Сам процесс решения (обучения – как принято в системах искусственного интеллекта) реализован методом обратного распространения ошибки, который позволяет минимизировать среднеквадратичное отклонение текущих значений выходов. Зависимости выходных полей – срока службы конструктивного элемента – используются для прогнозирования.

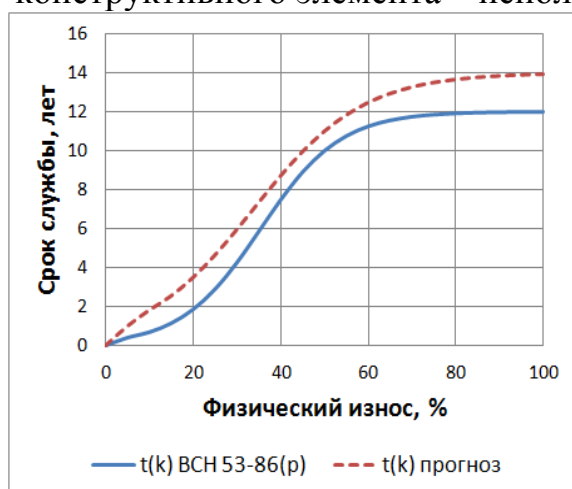


Рис. 5. График развития физического износа рулонной кровли

5 этап – Математическое моделирование сроков службы элементов и конструкций жилых зданий на основе временных рядов логистического типа.

Исследование темпов износа на примере рулонной кровли

Конструктивный элемент	График износа конструкции и данные обследования	Средняя квадратичная ошибка, %
Кровля	<p>— расчетное значение износ по данным ВСН 53-86(р) — фактический износ по данным обследования</p>	35,18

Применение рассмотренного алгоритма к оценке технического состояния исследуемых объектов позволило получить графики физического износа конструктивных элементов, пример одного из которых представлен на рисунке 5. Построение данных графиков позволяет минимизировать величину средней относительной ошибки, т.е. кривые на графиках отражают математическое ожидание развития физического износа элементов здания, поэтому их можно использовать в качестве усреднённых значений.

Обобщенный вид логистической кривой изображен на рисунке 6а. В большинстве случаев, износ развивается медленно от нулевого уровня, но с возрастающей скоростью. В середине цикла рост происходит по линейному тренду, т.е. ускорение становится равно нулю. В завершающей части цикла при приближении к предельному значению показателя рост замедляется по кривой близкой к гиперболе.

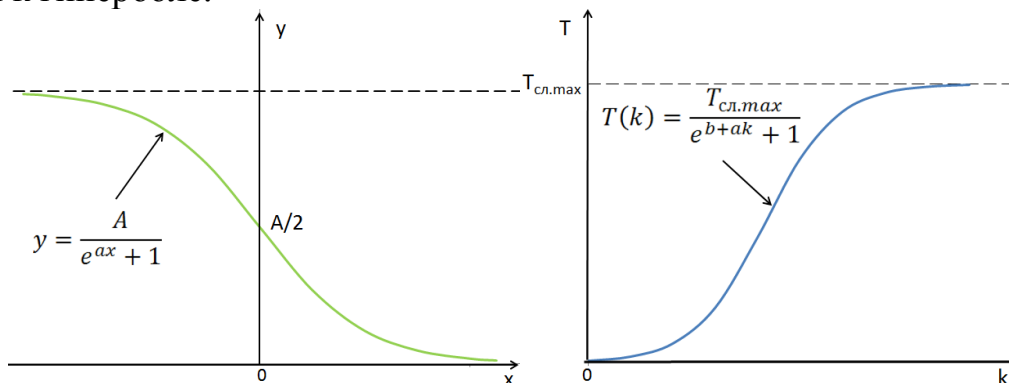


Рис. 6. а) обобщенный вид логистической кривой; б) типовая кривая графика физического износа по ВСН 53-86(р) в виде логистической кривой

Представим кривую графика физического износа по ВСН 53-86(р) в виде логистической кривой (рис. 6б):

$$t(k) = \frac{T_{сл.маx} - T_{сл.мин}}{e^{b+ak} + 1} + T_{сл.мин} \quad (1)$$

где $T_{сл.маx}$ – нормативный (максимальный) срок службы, лет;

$T_{сл.мин}$ – минимальный срок службы, лет;

a – параметр, определяющий наклон кривой в точке перегиба (для функции износа $a < 0$);

e – основание натурального логарифма;

b – параметр, определяющий положение точки перегиба;

k – физический износ, %.

Минимальный срок службы конструктивного элемента определяется начальным моментом его эксплуатации, т.е. $T_{сл.мин} = 0$, максимальный – нормативным сроком эксплуатации, следовательно, (1) преобразована к виду:

$$t(k) = \frac{T_{сл.маx}}{e^{b+ak} + 1} \quad (2)$$

Уравнение логистического тренда для логарифмирования преобразовано в форму:

$$\frac{T_{сл.маx}}{t(k)} - 1 = e^{b+ak} \quad (3)$$

$$\frac{T_{сл.маx}}{t(k)} - 1 = \hat{\xi}, \text{ т.е. } \hat{\xi} = e^{b+ak} \quad (4)$$

$$\ln \hat{\xi} = b + ak \quad (5)$$

Условие метода наименьших квадратов:

$$\sum (\ln \xi - \ln \hat{\xi})^2 \rightarrow \min \quad \text{или} \quad \sum (\ln \xi - b - ak)^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

После вычисления частных производных по a и b , получены нормальные уравнения метода наименьших квадратов для логистической кривой:

$$nb + a \sum k = \sum \ln \xi \quad (7)$$

где n – количество наблюдений.

$$b \sum k + a \sum k^2 = \sum k \ln \xi \quad (8)$$

При переносе начала отсчета показателей износа в середину ряда система упрощается до двух уравнений с одним неизвестным в каждом из них:

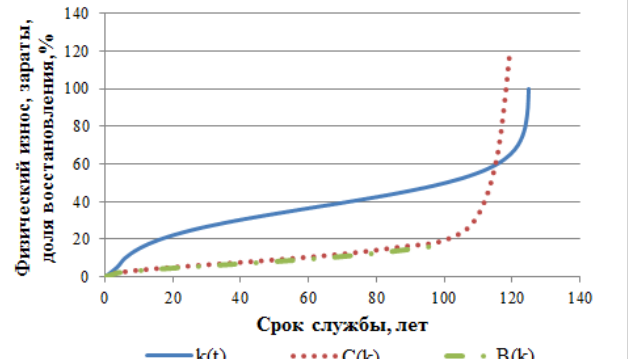
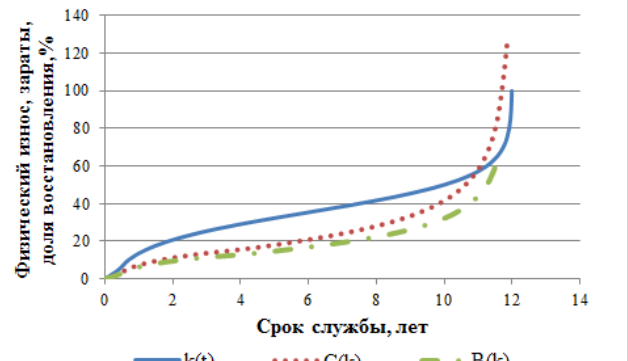
$$nb = \sum \ln \xi, \text{ откуда } b = \overline{\ln \xi} \quad (9)$$

$$a \sum k^2 = \sum k \ln \xi, \text{ откуда } a = \frac{\sum k \ln \xi}{\sum k^2} \quad (10)$$

Уравнения функций зависимостей, затрат на их восстановление и графики износа, построенные на основе временных рядов логистического типа на примере наружных стен и кровли представлены в таблице 3.

Таблица 3

Моделирование физического износа конструктивных элементов и затрат на их восстановление

Графики изменения физического износа, затрат на восстановление и доли восстановления	Уравнение функции
 <p>Наружные стены</p>	$k(t) = 35.2 - \frac{\ln\left(\frac{130}{t} - 1\right)}{0,10}$ $C(k) = \begin{cases} 1,7e^{0,05k}, & 0 \leq k < 50 \\ 0,41k^2 - 40,7k + 1029,6, & k \geq 50 \end{cases}$ $B(k) = C(k) \cdot \left[0,95 - 0,0015k\right]$
 <p>Рулонная кровля</p>	$k(t) = 35 - \frac{\ln\left(\frac{14}{t} - 1\right)}{0,08}$ $C(k) = \begin{cases} 0,54k, & 0 \leq k < 35 \\ 3,95e^{0,047k}, & k \geq 35 \end{cases}$ $B(k) = C(k) \cdot \left[0,9 - 0,0025k\right]$

Примечание: $k(t)$ – функция зависимости физического износа от срока службы конструкции; $C(k)$ – функция зависимости доли сметной стоимости ремонтно-строительных работ от величины физического износа конструкции; $B(k)$ – функция зависимости доли восстановления конструкции от доли сметной ремонтно-строительных работ и величины физического износа конструкции.

4. На основе динамического программирования разработан метод календарного планирования ремонтов жилых зданий, обеспечивающий оптимизацию финансовых ресурсов.

Практика показывает, что длительные «простои» между проведением ремонтов приводят к высоким затратам на восстановление эксплуатационных свойств зданий. С другой стороны необоснованно высокая частота проведения ремонтно-строительных работ также является сверхзатратной и неэффективной.

Предлагаемый подход к календарному планированию ремонта жилых зданий на основе динамического программирования при условии оптимизации финансовых ресурсов направлен на определение оптимальной периодичности выполнения ремонтно-строительных работ, при которой итоговые затраты за все время эксплуатации отдельного элемента будут минимальны.

1. Определение общего износа конструкции в каждый момент времени.

Конструктивный элемент здания рассмотрим как совокупность составных частей с определенным уровнем износа, а совокупный износ элемента в каждый момент времени определяется по формуле:

$$k = \sum_{i=1}^l (k_i \cdot UB_i) \cdot 100\% \quad (11)$$

где k_i – величина физического износа i -ой части элемента;

UB_i – удельный вес i -ой части элемента;

l – количество частей.

Стоимость воспроизводства конструкции примем как 100% стоимости частей этой конструкции, имеющих на начальный момент эксплуатации 0% износа. При этом нарастание износа у всех частей конструкции на начальном этапе эксплуатации происходит одинаковыми темпами.

На графиках видно (табл. 3), что только определенная часть конструкции может быть восстановлена путем проведения текущего ремонта и составит:

$$UB_{восст} = B(k) \text{ при } k = 60 \quad (12)$$

где $B(k)$ – функция восстановления (табл. 3).

Тогда доля невосстанавливаемой части конструкции

$$UB_{невосст} = 1 - UB_{восст} \quad (13)$$

Нарастание износа невосстанавливаемой части конструкции происходит темпами, соответствующими графику изменения физического износа от срока службы $k(t)$ (табл. 3). Износ восстанавливаемой части изменяется в зависимости от доли восстановления конструкции.

Тогда общий износ конструкции к каждому моменту времени определяется, как:

$$k = k_{невосст} \cdot UB_{невосст} + k_{восст} \cdot UB_{восст} \quad (14)$$

2. Построение модели изменения состояния конструкции.

В момент времени t_{ij} величина износа восстанавливаемой части конструкции k_{ij} . В результате проведения текущего ремонта физический износ восстанавливаемой части конструкции снижается до уровня k'_{ij} (рис. 7):

$$k'_{ij} = k_{ij} \cdot (1 - B_{\text{восст}}(k_{ij})) + k_0 \cdot B_{\text{восст}}(k_{ij}) \quad (15)$$

где i – номер периода между капитальными ремонтами;

j – номер текущего ремонта в i -ом периоде между капитальными ремонтами

Величина износа восстановленной части элемента конструкции станет равной нулю $k = 0$, а износ не восстановленной части останется на прежнем уровне. Тогда выражение (15) принимает следующий вид:

$$k'_{ij} = k_{ij} \cdot (1 - B_{\text{восст}}(k_{ij})) \quad (16)$$

После проведения текущего ремонта и снижения уровня физического износа восстанавливаемого элемента конструкции, динамика его износа будет соответствовать динамике нарастания износа от момента времени t'_{ij} , соответствующего динамике износа нормативного графика износа согласно функции $k(t)$ по таблице 3 (рис. 7) и, к началу следующего текущего ремонта с номером $i(j+1)$ составит:

$$k_{i(j+1)} = k(t'_{ij} + \Delta_i) \quad (17)$$

где Δ_i – продолжительность периода между текущими ремонтами в i -ом периоде между капитальными ремонтами.

Последовательность действий повторяется до момента достижения конструкцией износа 61–80%, после чего следует провести капитальный ремонт конструкции в момент времени $t_{(i+1)0}$.

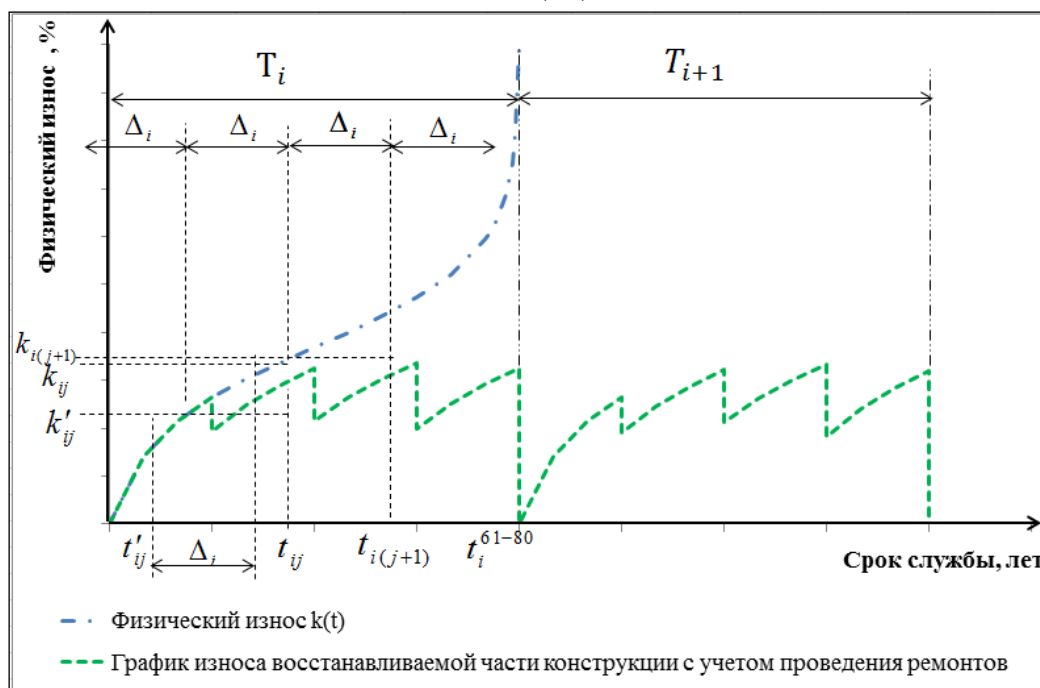


Рис. 7. Расчет износа восстанавливаемой части конструкции

3. *Определение затрат, необходимых для осуществления ремонтно-строительных работ в каждый момент времени эксплуатации объекта.*

График износа с учетом проведения ремонта представлен на рисунке 8.

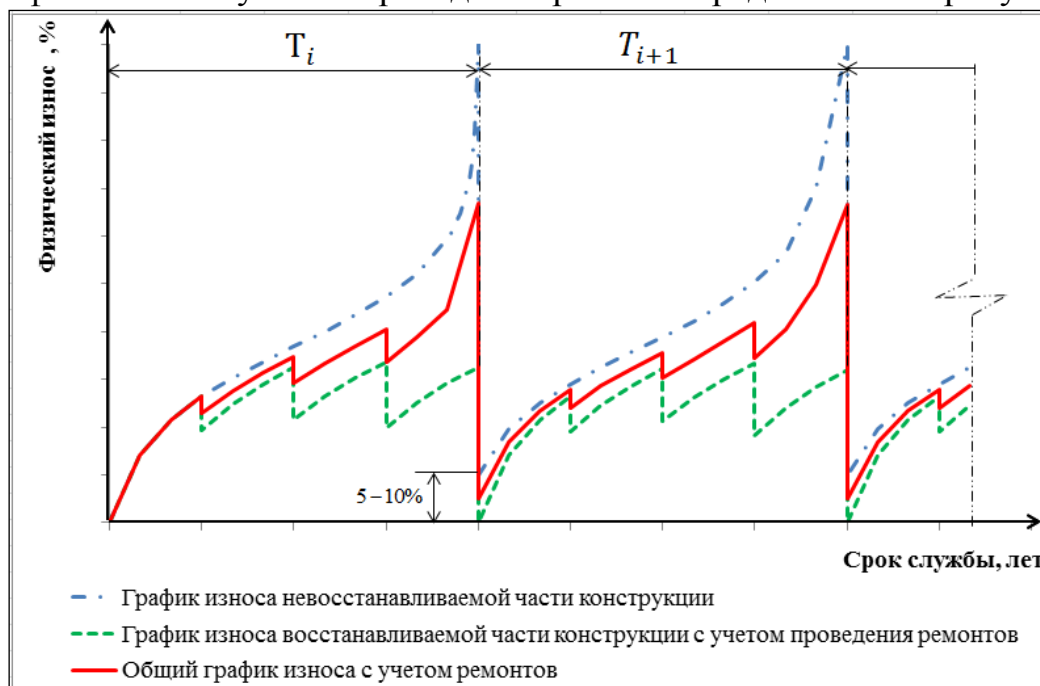


Рис. 8. График планирования проведения ремонта

После моделирования изменения физического износа конструктивных элементов при проведении ремонтов на протяжении срока служба здания определяются затраты, необходимые для осуществления ремонтно-строительных работ в каждый момент времени эксплуатации объекта по функции $C(k)$ согласно уровню износа конструкции в этот момент времени t_{ij} (табл. 3).

Решением задачи в формализованном виде получено выражение (18), которое предусматривает минимизацию суммарных затрат при выбранной периодичности работ на протяжении всего срока эксплуатации за счет оптимальной стоимости проведения текущих ремонтов и увеличения (отдаления) сроков капитальных ремонтов:

$$C_{\text{сумм}} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m C(k_{ij}) + C(k_i^{61-80}) \right) \rightarrow \min \quad (18)$$

где $C(k_{ij})$ – удельный показатель сметной стоимости затрат текущего ремонта от стоимости воспроизводства конструктивного элемента, %;

$C(k_i^{61-80})$ – удельный показатель сметной стоимости капитального ремонта от стоимости воспроизводства конструктивного элемента, %;

k_{ij} – износ конструктивного элемента в момент времени t_{ij} проведения j -го текущего ремонта в период i -го цикла между капитальными ремонтами, %;

k_i^{61-80} – износ конструктивного элемента в момент времени t_i^{61-80} проведения капитального ремонта, %;

n – количество капитальных ремонтов конструктивного элемента за срок службы объекта;

m – количество текущих ремонтов конструктивного элемента за один период между капитальными ремонтами.

4. Выбор оптимального варианта планирования ремонтно-строительных работ.

Для определения оптимального варианта планирования работ введен показатель приведенных затрат, который представляет собой произведение удельного показателя сметной стоимости ремонтно-строительных работ и износа конструктивного элемента за период эксплуатации перед следующим ремонтом:

$$П = C \cdot k^\gamma \quad (19)$$

где C – удельный показатель суммарной сметной стоимости затрат на ремонтно-строительные работы конструктивного элемента за срок службы здания, в долях единицы;

k^γ – величина износа (перед следующим ремонтом) конструктивного элемента в процессе эксплуатации здания, в долях от единицы;

γ – показатель, связывающий уровень технического состояния с уровнем затрат на проведение ремонтно-строительных работ; для капитальных ремонтов $0 < \gamma \leq 1$ (для текущих – $1 < \gamma \leq 2$); при $\gamma \rightarrow 0$ повышается уровень износа, при котором необходимо проведение ремонтно-строительных работ; при $\gamma > 1$ резко увеличивается стоимость капитальных ремонтов, в связи с увеличением их частоты проведения. На основе анализа существующих характеристик износа получено оптимальное значение $\gamma = 0,33$, соответствующее износу в 70%. Оптимизация данного показателя позволяет найти наилучшее соотношение между ценой (затратами на ремонт) и качеством (уровнем технического состояния).

Минимальная величина приведенных затрат является оптимальным соотношением между уровнем затрат на ремонтно-строительные работы и величиной физического износа конструкций до следующего ремонта. График оптимальных вариантов периодичности ремонтных работ и износа с учетом восстановления на примере кровли представлен на рисунке 9 (сплошная линия).

В работе календарное планирование ремонтно-строительных работ рассмотрено на основе кластера К 4-1 посредством разработки программы эксплуатации для каждого конструктивного элемента с учетом его технического состояния на 25 лет (2014–2038 гг.), а также расчетом затрат на ремонт в процентах от стоимости строительства конструктивного элемента.

Построены графики износа конструктивных элементов путем перемещения полученных оптимальных графиков износа вдоль оси прогнозного периода, т.е. на оптимальном графике износа находится точка, соответствующая износу конструкции в момент обследования и график передвигается от этого момента времени до момента времени, соответствующего сроку службы элемента (рис. 9).

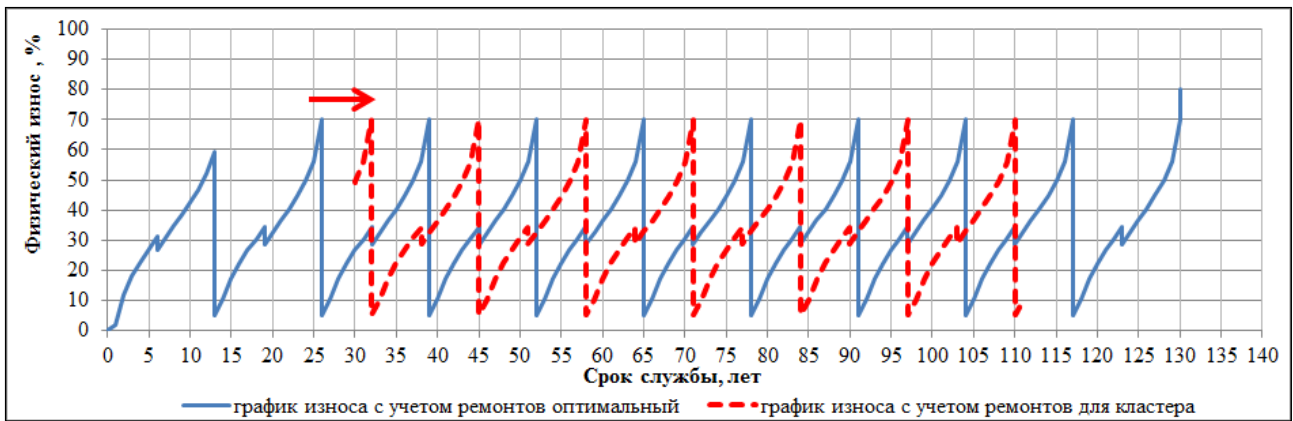


Рис. 9. График износа кровли с учетом ремонтов для кластера К 4-1

Величина затрат на ремонт для оставшегося срока службы объектов определена, как

$$C_{рем} = C_{стр.} \times \sum_{j=1}^m Q_{сумм_j} \quad (20)$$

где $C_{стр.}$ – сметная стоимость строительства 1 м² общей площади квартир в текущих ценах, руб.;

$Q_{сумм_j}$ – общие годовые удельные затраты на производство ремонтно-строительных работ от стоимости строительства, руб.;

j – номер года прогнозирования;

m – количество лет прогнозирования.

Общие выводы:

1. Предложен алгоритм системно-структурного подхода к проведению отдельных этапов комплексного воспроизводства жилищного фонда, в частности реконструкции и ремонтов, включающий в себя перечень воспроизводственных мероприятий и позволяющий достичь максимального эффекта этих мероприятий при оптимальном соотношении материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Оптимизация проводится на основе баланса стоимостных показателей и технических характеристик жилищного фонда.
2. Разработана методика кластеризации (структурного анализа) жилищного фонда на основе методов нейронного моделирования с применением самоорганизующихся карт (SOM). Систематический мониторинг технического состояния жилищного фонда с применением алгоритмов SOM позволяет проследить направление и динамику развития изменений физического износа и дает возможность оперативно реагировать на них. Программа капитальных и текущих ремонтов является типовой для всех объектов, попавших в один кластер, поэтому для объектов кластера можно рассчитать средние тарифы взносов на капитальный и текущий ремонт и сформировать исходные данные для календарного планирования ремонта как для кластера, так и пообъектно.

3. Проведена оценка темпов развития физического износа конструктивных элементов и систем инженерного оборудования жилых зданий, на основе которой, осуществлено уточнение действующих нормативных сроков службы отдельных элементов по конкретной группе объектов методами нейросетевого моделирования. Выполнено моделирование изменения физического износа конструктивных элементов и систем инженерного оборудования на основе временных рядов логистического типа.
4. Разработан метод календарного планирования периодичности проведения ремонта конструктивных элементов объектов, входящих в один кластер, методами динамического программирования на основе поэлементной эксплуатации здания.
5. На основе календарного планирования разработана типовая программа производства ремонта жилых зданий и выполнен расчет среднего тарифа взносов на капитальный и текущий ремонт для объектов, входящих в один кластер. Осуществлено пообъектное календарное планирование ремонта на примере группы МКД.

III. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

публикации в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Попова, О.Н.** Оптимизация воспроизводственных процессов обновления жилого фонда города посредством применения методов математического моделирования / В.И.Раковский, О.Н. Попова // Промышленное и гражданское строительство. –2012. – № 10. С. 19-21 (0,29 / 0,14 п.л.)
2. **Попова, О.Н.** Применение самоорганизующихся карт (SOM) для анализа жилищного фонда при его комплексном воспроизводстве / О.Н. Попова // Вестник ИрГТУ. – 2013. – №10 – С. 171-177. (0,67 п. л.)
3. **Попова, О.Н.** Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / О.Н. Попова, Т.Л. Симанкина // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №7(12) – С. 40-50. (1,05 /0,73 п.л.)
4. **Попова, О.Н.** Планирование капитальных и текущих ремонтно-строительных работ с использованием методов динамического программирования / О.Н. Попова, А.Ю. Лукин // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 12 – С. 32-34 (0,29 / 0,2 п.л.)
5. **Попова, О.Н.** Календарное планирование ремонтно-строительных работ на основе технологии поэлементной эксплуатации методами динамического программирования физического износа/ О.Н. Попова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/115-12225> (дата обращения: 28.02.2014) (0,57 п.л.).

публикации в других изданиях:

6. **Попова, О.Н.** Квалиметрическая экспертиза при оценке состояния застройки урбанизированной территории / Т.Л. Симанкина, О.Н. Попова // Интернет-журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений». – 2013. – № 7(12) – С. 71-78 (0,76 / 0,4 п.л.)
7. **Попова, О.Н.** Планирование комплексного воспроизводства жилищного фонда / В.И. Раковский, О.Н. Попова // сб. науч. трудов XXII Российско-словацко-польского семинара «Теоретические основы строительства» – М.: Московский государственный строительный университет. – 2013. – С. 581-586 (0,28 / 0,14 п.л.)
8. **Попова, О.Н.** Формирование производственного потенциала инвестиционно-строительного комплекса города в целях реализации программ жилищного строительства / О.Н. Попова // Материалы Международной научно-практической конференции «Наука, технологии, инновации в инвестиционно-строительной сфере, недвижимости и жилищно-коммунальном комплексе» (Иркутск, 20-21 сентября 2009 г.) – Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – 2009. – С. 187-191 (0,24 п.л.)
9. **Попова, О.Н.** Методы кластерного анализа в задачах мониторинга жилищного фонда города / О.Н. Попова // Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторов «Актуальные проблемы строительства» – СПб: Изд-во СПбГАСУ. – 2013. – С. 79-81 (0,1 п.л.)
10. **Попова, О.Н.** Теоретические подходы к формированию системы управления жилой сферой региона / В.И. Раковский, И.Л. Слепухина, О.Н. Попова // Сборник трудов XVIII Российско-словацко-польского семинара «Теоретические основы строительства» (Москва – Архангельск 01.07 -05.07.2009) – Варшава. – 2009. – С. 623-628 (0,33 / 0,1 п.л.)
11. **Попова, О.Н.** Применение концепции жизненного цикла к управлению жилой застройкой / В.И. Раковский, И.Л. Слепухина, О.Н. Попова // сб. науч. трудов «Теоретические основы строительства XIX Польско-словацко-российского семинара» – Словакия, г. Жилина, 12-16 сентября 2010 г., – М.: Изд-во АСВ. – 2010. – С. 439-444 (0,34 / 0,11 п.л.)
12. **Попова, О.Н.** Энергетический паспорт муниципального образования как механизм управления энергосбережением / Ю.М. Глебова, О.Н. Попова // Международная научно-практическая конференция «Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов» – Белгород: Изд-во БГТУ. – 2012. – С. 29-33 (0,18 / 0,1 п.л.)
13. **Попова, О.Н.** Рациональный подход при выборе и внедрении мероприятий по повышению энергоэффективности / О.Н. Попова, Ю.А. Орлова // Международная научно-практическая конференция «Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов» – Белгород: Изд-во БГТУ. – 2012. – С. 121-125 (0,22 / 0,11 п.л.)