

*На правах рукописи*

САФОНОВ НИКИТА ИГОРЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТА  
ЖИЛОГО ФОНДА НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМОВ СОГЛАСОВАНИЯ  
ИНТЕРЕСОВ СУБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ**

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пермь – 2021

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Научный  
руководитель: **ХАРИТОНОВ Валерий Алексеевич**  
доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы РФ

Официальные  
оппоненты: **ПЕНСКИЙ Олег Геннадьевич**  
доктор технических наук, профессор,  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Пермский государственный национальный  
исследовательский университет», профессор кафедры  
информационных технологий

**БЕЛОУСОВ Вадим Евгеньевич**  
кандидат технических наук, доцент,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический  
университет», заведующий базовой кафедрой  
кибернетики в системах организационного управления

Ведущая  
организация: Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Астраханский государственный технический  
университет»

Защита состоится «17» февраля 2022 г. в 14:00 на заседании Диссертационного совета Д ПНИПУ.05.01 на базе ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по адресу: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, дом 29, аудитория 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (<http://www.pstu.ru>).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат экономических наук, доцент

**Алексеев Александр Олегович**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Сфера жилищно-коммунального хозяйства (далее ЖКХ) имеет высокую степень социальной и экономической значимости для всей России. С течением времени происходит старение жилого фонда и переход в аварийное техническое состояние, при котором он не соответствует предъявляемым требованиям по обеспечению комфортных и безопасных условий для жизни граждан. Общий объем аварийного жилого фонда в России ежегодно увеличивается, что подтверждает низкий уровень эффективности используемых методов формирования и реализации планов содержания, основной составляющей которого являются ремонтно-восстановительные работы (далее РВР).

В процессе планирования РВР участвует большое количество субъектов управления с пересекающимися интересами. Система управления планированием РВР может считаться эффективной, если она обеспечивает принятие согласованных решений при участии заинтересованных сторон с несовпадающими интересами и приводит их отношения к согласию. В настоящее время планирование осуществляется субъективно и с недостаточной степенью согласованности, что не обеспечивает всесторонний учет предпочтений заинтересованных лиц и высокую эффективность реализации планов РВР в условиях значительной неопределенности многоквартирных домов (далее МКД) как социально-экономических систем (далее СЭС), являющихся частью жилого фонда. Поэтому становится востребованным обоснование и выбор эффективных с точки зрения оперативности и надежности алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия согласованных решений, обеспечивающих повышение уровня социально-экономического развития организационных систем (далее ОС).

Перспективы развития сферы ЖКХ связываются с цифровизацией и автоматизацией отрасли. Так к 2024 году планируется осуществить комплексную цифровизацию экономической и социальной сфер с учетом возможного влияния на процессы управления негативных проявлений человеческого фактора. Использование активно развивающегося информационного моделирования зданий (Building Information Modeling) и механизмов согласования (далее МС) принятия решений в задачах планирования РВР, обслуживающих внутренние, смежные и транзитивные проблемы поиска согласованных решений, способно качественно повысить уровень социальной и экономической эффективности всей сферы ЖКХ.

**Актуальность** данной работы подтверждается востребованностью разработки системы механизмов согласования принятия решений для обеспечения эффективности и надежности автоматизированных систем управления МКД на этапе планирования РВР.

**Степень разработанности темы.** Сервейинг как системный подход к управлению недвижимостью с целью повышения эффективности ее использования рассмотрен в трудах Грабового П.Г., Кулакова Ю.Н., Лукманова И.Г., Schmidt W.H., Mcknight C.C., Nelson D.H., Lovrich N.P. и др. При этом авторами недостаточно внимания уделено влиянию человеческого фактора на процесс управления проектами (изменениями) объектов недвижимости, что не позволяет обеспечить высокий уровень эффективности процесса управления недвижимостью. Так же

недостаточно внимания уделено вопросам повышения точности оценки текущих и прогнозирования будущих состояний управляемых объектов.

Управлению проектами как синтетической дисциплине посвящены труды отечественных ученых Мазура И.И., Шапиро В.Д., Шеремета В.В., а так же зарубежных ученых Avraham S., Jonathan F.B., Shlomo G. и др. Однако, в них не в полной мере отражены вопросы необходимости создания механизмов управления, что ограничивает возможности влияния на процесс разработки и реализации проектов.

Широкий класс эффективных механизмов управления проектами предложен в рамках теории активных и организационных систем, опубликованных в трудах Буркова В.Н., Новикова Д.А., Чхартишвили А.Г., Hart O.D., Holmstrom V. и др., где авторы особое внимание уделяют учету человеческого фактора. Однако в упомянутых механизмах подробнее могут быть рассмотрены вопросы использования высокого потенциала человека как основного инициатора процессов устранения неопределенности, связанных с принятием согласованных решений в процессах целенаправленного выбора.

В теорию принятия решений большой вклад внесли отечественные ученые Бурков В.Н., Новиков Д.А., Орлов А.И., Балабин К.В., Воробьев С.Н., Уткин В.Б., Столбов В.Ю., Гитман М.Б., Баркалов С.А. и зарубежные ученые Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., Nitzan S. и др. Однако актуальным остается рассмотрение вопросов принятия согласованных решений, в частности при управлении недвижимостью, которые являются необходимым условием конструктивного взаимодействия субъектов управления и других заинтересованных лиц в ходе планирования РВР.

Механизмы согласованного управления и примыкающего к ним информационного управления рассмотрены в работах Новикова Д.А., Кононова Д.А., Чхартишвили А.Г., Коргина Н.А., Кульба В.В., Харитонов В.А., Алексеева А.О., Кривогиной Д.Н. Однако предложенные ими механизмы согласованного управления не предусматривают участие множества групп субъектов и наличие многоальтернативных процессов согласования. Поэтому их дальнейшее развитие и использование становится актуальным для повышения эффективности социальных и экономических систем в целом, в том числе в сфере ЖКХ. Наиболее распространенной трактовкой сущности этих механизмов является подход, проявляющийся в различных формах искусственного интеллекта и связанного с ним субъективизма. Последнее обстоятельство создает высокий уровень неопределенности и требует регулярного подключения к процессу управления непосредственно лиц, принимающих решение. Это сильно ограничивает возможности автоматизации управления в социально-экономических системах за счет механизации процессов управления.

Обзор современных научных трудов по тематике диссертационной работы позволяет сделать вывод о том, что решение задачи управления планированием ремонта, от которого зависит эффективность МКД как СЭС, нельзя считать полностью решенной, что подтверждает актуальность темы данной работы. Для этого требуется разработка концепции согласования принятия решений как

методологической основы исследования, системы МС и процедуры формирования результативных выводов как эффективных композиций механизмов согласования в соответствии с задачами планирования ремонта жилого фонда.

**Объектом исследования** является многоквартирный дом как социально-экономическая организационная система.

**Предметом исследования** являются механизмы согласования в задачах планирования ремонтно-восстановительных работ с учетом интересов субъектов социально-экономической организационной системы.

**Целью диссертации** является повышение эффективности планирования ремонта жилого фонда на основе разработки системы механизмов согласования несовпадающих интересов участников принятия решений.

Для достижения указанной цели сформулированы следующие **задачи**:

1. Разработать концепцию согласования принятия решений при планировании ремонта жилого фонда.
2. Разработать систему механизмов согласования принятия решений.
3. Разработать формальную процедуру формирования результативных выводов как композиций эффективных механизмов согласования в соответствии с задачами планирования ремонта жилого фонда.
4. Апробировать предложенную систему планирования ремонтно-восстановительных работ в многоквартирном доме.

**Теоретической и методологической основой** исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых в области управления жилой недвижимостью, управления проектами, теории активных и организационных систем, теорий принятия решений и субъектно-ориентированного управления в социально-экономических системах.

**Положения, выносимые на защиту, обладающие научной новизной:**

1. Разработана концепция согласования принятия решений при планировании ремонта жилого фонда, *отличающаяся* от известных представлением множества механизмов согласования как сложной системы отношений между участниками принятия решений на основе концептуальных моделей и сформулированных положений концепции, что составляет существо и методологический базис диссертационной работы при разработке прикладных механизмов согласованного управления планированием ремонта. (Соответствует п. 2 *Разработка методов формализации и постановка задач управления в социальных и экономических системах* паспорта специальности 05.13.10 ВАК РФ).

2. Разработана система механизмов согласования принятия решений, *отличающаяся* от известных востребованным разнообразием типов межкоалиционных отношений и противоречий в области влияния субъектов управления планированием на основе модифицированной нечеткой активной экспертизы. Предложенные механизмы согласования способствуют разработке планов ремонтно-восстановительных работ, наиболее полно соответствующих текущим и прогнозируемым состояниям множества технических подсистем многоквартирных домов. (Соответствует п.6 *Разработка и совершенствование методов*

получения и обработки информации для задач управления социальными и экономическими системами паспорта специальности 05.13.10 ВАК РФ).

3. Разработан алгоритм формирования результативных выводов как композиций механизмов согласования планов ремонтно-восстановительных работ, отличающийся использованием порождающей формальной контекстно-свободной грамматики и возможностями оптимизации формирования планов ремонта, за счет выбора очередности обработки поступающих обращений и/или согласования оптимального времени выполнения композиций планов ремонтно-восстановительных работ. (Соответствует п. 10 Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах паспорта специальности 05.13.10 ВАК РФ). Варианты решения поставленных задач оптимизации ремонтно-восстановительных работ апробированы для определенных условий и имеют прикладное значение для социально-экономических систем.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в разработке концепции согласования принятия решений при планировании ремонта жилого фонда в условиях большой неопределенности, связанной с необходимостью учета человеческого фактора в процессе создания системы известных и модифицированных механизмов согласования принятия решений, достоверность которых подтверждена прикладными исследованиями эффективности полученных научных результатов и положений.

**Практическая значимость** диссертации заключается в том, что модифицированные прикладные механизмы оценивания и прогнозирования характеристик технических подсистем объектов недвижимости в системе механизмов согласования в совокупности с формальной системой вывода, определяют перспективы создания автоматизированных цифровых систем в сфере ЖКХ на современных этапах развития управления в условиях высокого уровня неопределенности подсистем многоквартирных домов.

Результаты диссертационной работы использованы департаментом внутренней политики администрации губернатора Пермского края и товариществом собственников жилья «Цветы Прикамья, 37» при оценивании и прогнозировании параметров технических подсистем объектов недвижимости, формировании очередности обработки обращений по вопросам предоставления коммунальных услуг, а так же при согласовании оптимального времени выполнения и формирования композиций планов ремонтно-восстановительных работ, что подтверждается актами о внедрении результатов диссертационной работы. Полученные результаты применяются в учебном процессе кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение» ПНИПУ в рамках дисциплин «Комплексная экспертиза недвижимости» и «Анализ и экспертиза объектов недвижимости», что так же подтверждается актом о внедрении результатов диссертационной работы.

**Степень достоверности и апробация работы.** Достоверность результатов, полученных в процессе исследования, подтверждается корректным использованием математического аппарата, теории множеств, теории управления организационными системами, методов моделирования, что обеспечивает достаточную

степень обоснованности положений и выводов, сформированных в диссертационной работе. Достоверность результатов оценивания и прогнозирования параметров технических подсистем объектов недвижимости, формирования очередности обработки обращений по вопросам предоставления коммунальных услуг, а так же при согласовании оптимального времени выполнения и формирования композиций планов ремонтно-восстановительных работ подтверждается актами внедрения в организациях жилищно-коммунального хозяйства и строительной отрасли.

Основные результаты диссертационной работы обсуждались на заседаниях кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение» СФ ПНИПУ, на семинарах лаборатории конструктивных методов исследования динамических моделей ПГНИУ, на международных и всероссийских научно-практических конференциях: VI Международная конференция «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур» (г. Екатеринбург, 2018г.); XXII Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (г. Иркутск, 2017 г.); XI Всероссийская молодежная конференция аспирантов, молодых ученых и студентов «Современные технологии в строительстве. Теория и практика» (г. Пермь, 2019 г.); XIV Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Управление большими системами» (г. Пермь, 2017 г.); Всероссийская научно-практическая конференция молодых учёных с международным участием «Математика и междисциплинарные исследования» (г. Пермь, 2020 г.).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 8 печатных работ, из них 5 работ в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертационных исследований, 2 статьи индексируются в международных реферативных базах цитирования Scopus и Web of Science, а так же получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа содержит введение, четыре главы и заключение, изложенные на 238 страницах машинописного текста. В работу включены 51 рисунок, 15 таблиц, 4 приложения и список литературы, содержащий 117 источников.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены объект, предмет, цели и задачи исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проанализировано современное состояние и выявлены основные проблемы сферы ЖКХ. Современный подход к управлению планированием ремонта, как основного способа изменения состояния жилого фонда, не обеспечивает достаточный уровень эффективности, поскольку в условиях неопределенности, многофакторности и многоальтернативности не удается успешно

решать задачи выбора без механизации ментальной деятельности человека. Повышение эффективности процесса планирования РВР возможно за счет учета человеческого фактора и использования системы механизмов согласования интересов участников принятия решений, что способствует качественному повышению эффективности сферы ЖКХ в целом.

Для организации научной деятельности в настоящем исследовании разработан ряд концептуальных моделей и положений, составляющих методологическую основу согласования принимаемых решений в задачах планирования РВР в МКД.

*Концептуальное положение 1.* МКД как СЭС относится к классу сложных систем и поэтому для ее исследования целесообразно использовать два основных принципа: принцип системности и принцип многомодельности.

*Концептуальное положение 2.* Проблемы согласования принятия решений в задачах управления планированием ремонта жилого фонда, могут быть представлены в виде концептуальной модели (Рисунок 1).

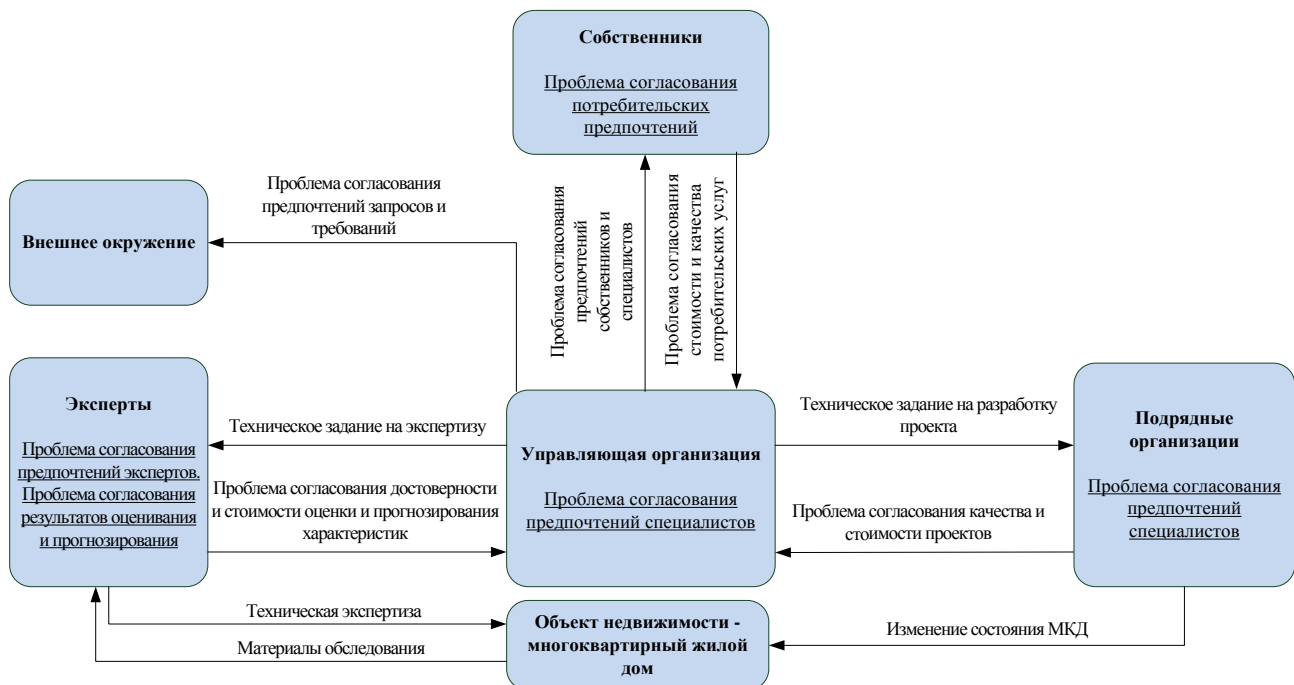


Рисунок 1 – Концептуальная модель согласования принятия решений при планировании ремонта жилого фонда

*Концептуальное положение 3.* Для получения согласованных решений каждая процедура согласования должна быть полностью идентифицирована относительно состава участников, существа возможных противоречий и требований к некоторому списку известных механизмов согласования, подлежащих целенаправленной модификации с учетом существенных системных связей с другими процедурами.

Для систематизации востребованных МС концептуальная модель может быть представлена в виде матрицы отношений согласования (Таблица 1). Внутренние согласования обозначены желтым цветом, смежные согласования обозначены зеленым цветом, транзитивные согласования обозначены синим цветом. Термин «Транзитивные отношения согласования» в данном случае используется для



отражения физического смысла многоэтапного процесса согласования, в котором происходит опосредованное взаимодействие групп участников ОС.

Таблица 1 – Отношения согласования между активными элементами организационной системы

	Собственники	Управляющая организация	Эксперты	Подрядчики	Внешнее окружение
Собственники	Согласование предпочтений потребителей	Согласование стоимости и качества потребительских услуг; Согласование предпочтений собственников и специалистов	Транзитивные согласования	Транзитивные согласования	Согласование предпочтений запросов и требований
Управляющая организация	Согласование предпочтений собственников и специалистов; Согласование стоимости и качества потребительских услуг	Согласование предпочтений специалистов	Согласование достоверности и стоимости технической экспертизы	Согласование объема и стоимости проектов	Транзитивные согласования
Эксперты	Транзитивные согласования	Согласование достоверности и стоимости технической экспертизы	Согласование предпочтений экспертов; Согласование результатов оценивания и прогнозирования	Транзитивные согласования	Транзитивные согласования
Подрядчики	Транзитивные согласования	Согласование качества и стоимости проектов	Транзитивные согласования	Согласование предпочтений специалистов	Транзитивные согласования
Внешнее окружение	Согласование предпочтений запросов и требований	Транзитивные согласования	Транзитивные согласования	Транзитивные согласования	Согласование предпочтений внешнего окружения

*Концептуальное положение 4.* В зависимости от контекстной сложности ОС транзитивные отношения согласования между субъектами управления могут быть многовариантны. В связи с этим возникает задача целевого выбора на множестве альтернатив согласования, каждая из которых отличается степенью влияния на ОС и трудоемкостью реализации (время, стоимость и т.д.). Варианты транзитивных МС принятия решений могут быть сформулированы за счет использования формальных порождающих грамматик с представлением металингвистических связей в виде набора условий и эвристик, с учетом которых реализуются выводы цепочек.

*Концептуальное положение 5.* Для решения прикладных задач в области диагностирования возможных причин предоставления услуг низкого качества или

последствий технологических и эксплуатационных процессов при эксплуатации МКД целесообразно использовать представленную на Рисунке 2 теоретико-множественную модель (далее ТММ), устанавливающую взаимное неоднозначное соответствие между потребительскими услугами и неисправностями технических

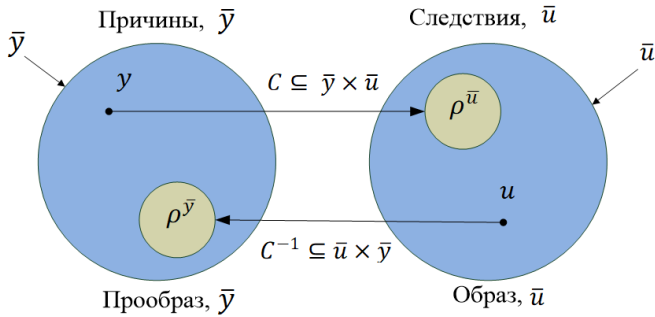


Рисунок 2 – Теоретико-множественная модель гипотезы в форме соответствий  $C$  и  $C^{-1}$

подсистем (далее ТП). Она может быть представлена в виде рабочих таблиц диагностического назначения.

Соответствие  $C$  может быть представлено в виде решающего правила (1), отвечающего на вопрос оценки последствий неисправности  $\rho^{\bar{y}}$  ТП в виде множества неисполненных в отношении собственников услуг  $\rho^{\bar{u}}$

$$\rho^{\bar{u}} \bigcup_{\rho^{\bar{y}}} np_2 C, C \subseteq \bar{y} \times \bar{u}. \quad (1)$$

Соответствие  $C^{-1}$  так же может быть представлено в виде решающего правила (2), отвечающего на вопрос оценки всех возможных причин неисполнения услуг  $\rho^{\bar{u}}$  в виде множества приводящих к этому возможных неисправностей ТП  $\rho^{\bar{y}}$

$$\rho^{\bar{y}} \bigcup_{\rho^{\bar{u}}} np_1 C^{-1}, C^{-1} \subseteq \bar{u} \times \bar{y}. \quad (2)$$

Использование ТММ способно повысить скорость поиска неисправностей ТП, а так же обеспечить полноту объема возможных нарушений при предоставлении пользовательских услуг, связанных с неисправностью определенной ТП. Это является предметом последующих процедур согласования.

*Концептуальное положение 6.* МС в задачах оценивания и прогнозирования характеристик ТП МКД строятся на принципах многомодельности на основе процедур модифицированной четкой и модифицированной нечеткой активной экспертизы, а так же известных методов оценивания и прогнозирования.

*Концептуальное положение 7.* Эффективность использования предложенной системы механизмов согласования должна быть доказана постановкой и решением задач повышения социальной и экономической эффективности процессов планирования ремонта за счет выбора очередности обработки поступающих обращений и/или согласования оптимального времени выполнения композиций планов РВР.

*Концептуальное положение 8.* Разработанная концепция является обоснованием возможностей интеллектуализации процессов планирования РВР, что составляет существо и методологический базис диссертационной работы.

По результатам разработки концепции согласования принятия решений при планировании ремонта жилого фонда сформулирована цель и частные задачи исследования.

Во **второй** главе описаны механизмы внутреннего, смежного и транзитивного согласования принятия решений на этапе составления планов РВР в МКД.

Для снижения влияния негативных аспектов человеческого фактора, повышения точности экспертных оценок и обеспечения возможности учета особенностей ТП МКД при экспертной оценке и прогнозировании их состояния разработан механизм, в основе которого лежит известная процедура активной экспертизы, модифицированная в настоящей работе с целью более точного установления согласованных результатов. Суть модификации заключается в представлении оценок (высказываний) экспертов в нечетком виде. Каждой оценке  $x_{ij}$  присваивается коэффициент  $\mu_{ij}$ , где  $i$  – номер эксперта,  $j$  – номер оценки, выставленной данным экспертом. Коэффициенты  $\mu_{ij}$  соответствуют значениям функций принадлежности для конкретных оценок экспертов. Для приведения выставленных экспертами оценок к одному четкому представлению оцениваемой величины в отношении каждой комбинации  $\mu_{ij}; x_{ij}$  в составе процедуры дефазификации методом нахождения центра тяжести реализуется процедура активной экспертизы. С этой целью из множества суждений реальных экспертов образуется непрерывная функция  $x(I)$  с помощью графических методов (вручную или с использованием сплайн-функций), а из числа виртуальных экспертов функция  $W(I)$  (Рисунок 3). Суждения виртуальных (фантомных) экспертов это значения специальной дискретной функции, значения которой соответствуют состояниям равновесия по Нэшу. Точка пересечения полученных непрерывных

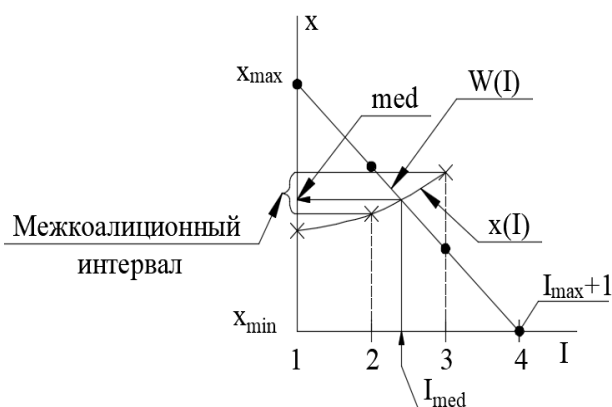


Рисунок 3 – Процедура однозначного нахождения обобщенной медианы

функций  $x(I)$  и  $W(I)$ , где  $I \in [1, I_{max}]$  служит вычислению согласованного решения в соответствии с выражениями:

$$W(I) = x_{max} - \frac{x_{max} - x_{min}}{I_{max}} (I - 1), \quad (3)$$

$$I_{med} = \arg(W(I) = x(I)), I \in [1, I_{max}], \quad (4)$$

$$med = W(I_{med}) = x(I_{med}). \quad (5)$$

Для подтверждения целесообразности внедрения нечетких оценок в практику оценивания и прогнозирования характеристик

ТП МКД был выполнен эксперимент, результаты которого показали возможность снижения величины средней ошибки результатов измерения с 48 % до 6 %.

В работе сформулирована процедура многомодельного прогнозирования технического состояния как отдельных ТП, так и МКД в целом, отличающаяся более точным учетом факторов влияющих на прогноз за счет использования высокого потенциала человека (эксперта), логистических кривых физического износа, известных методов экстраполяции и модифицированной процедуры нечеткой активной экспертизы. Выделено три типа постановки задач прогнози-

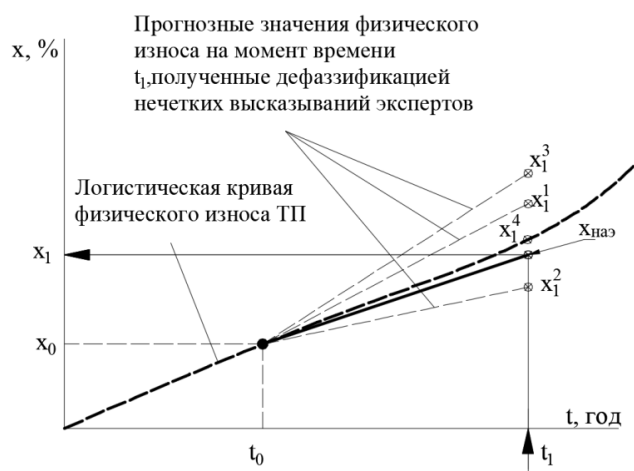


Рисунок 4 – Процедура прогнозирования физического износа на момент времени  $t_1$  при наличии исходных данных на момент времени  $t_0$

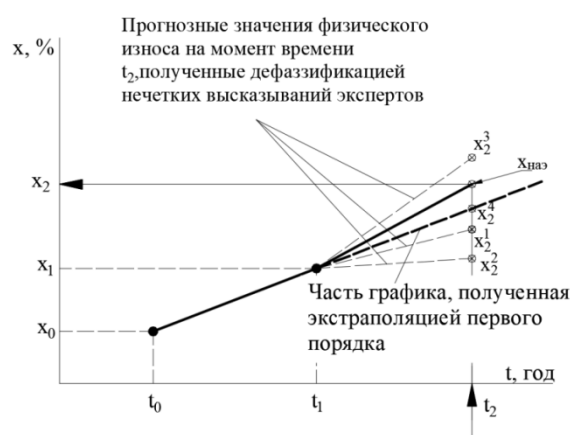


Рисунок 5 – Процедура прогнозирования физического износа на момент времени  $t_2$  при наличии исходных данных на момент времени  $t_0$  и  $t_1$

рования: 1. Прогноз для ситуаций, когда оценка текущего технического состояния выполнена впервые для данной ТП и иная информация для построения прогноза отсутствует (Рисунок 4).

2. Прогноз для ситуаций, когда известно время выполнения и результат оценки технического состояния ТП в прошлом (Рисунок 5).

3. Прогноз для ситуаций, когда известно время выполнения и результаты множества оценок технического состояния ТП в прошлом (Рисунок 6).

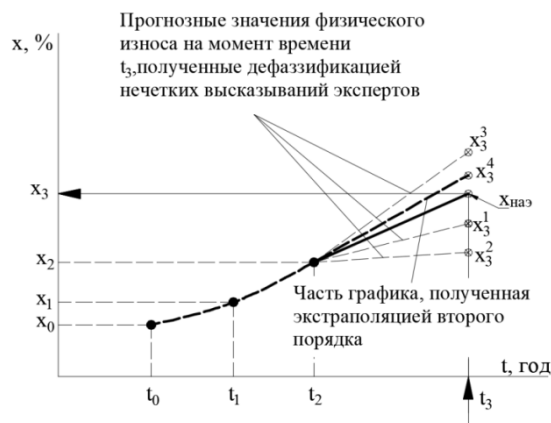


Рисунок 6 – Процедура прогнозирования физического износа на момент времени  $t_3$  при наличии исходных данных на момент времени  $t_0, t_1, t_2$

В третьей главе разработан алгоритм формирования результативных выводов как композиций механизмов согласования планов РВР. В основе данного алгоритма лежит формальная система формирования результативных выводов транзитивных отношений согласования как композиций механизмов внутреннего и смежного согласования в соответствии с задачами планирования РВР в МКД. Она обеспечивает функциональную полноту транзитивных отношений согласования. При построении формальной системы использована формальная порождающая грамматика типа 2. Особенностью использования формальной грамматики в данной работе является представление металингвистических связок ::=, отделяющих левые части правил вывода от правых, как эвристик  $\varepsilon$ , в некоторых случаях поддающихся формализации и представлению в виде условий. Это позволяет сократить количество цепочек вывода и представить вывод альтернатив в виде автоматизированной процедуры. Ниже представлены некоторые правила

вывода (6)..(8). Правило вывода  $P_3$  (6) определяет поиск причин возникновения неисправностей ТП в момент времени  $t_0$

$$P_3 : I \rightarrow \varepsilon_3 \rho^{\bar{y}}(t_0) I ::= \rho_1^{\bar{y}}(t_0) | \rho_2^{\bar{y}}(t_0) | \rho_3^{\bar{y}}(t_0) | \dots I, \quad (6)$$

где  $\rho^{\bar{y}}$  – подмножество неисправностей ТП,  $\varepsilon_3$  – эвристика, используемая для обоснования выбора метода измерения, соответствующего требованиям задач прогнозирования в соответствии с допустимыми параметрами погрешностей, исходя из баланса трудоемкости (затратности) и реальных исходных данных, связанных с правилом вывода  $P_4$  (7) и рассчитанными на длительность прогноза  $T$ .

$$P_4 : I \rightarrow \varepsilon_4 \rho^{\bar{y}}(t_0 + T) I ::= \rho_1^{\bar{y}}(t_0 + T) | \rho_2^{\bar{y}}(t_0 + T) | \rho_3^{\bar{y}}(t_0 + T) | \dots I, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_4$  – эвристика, используемая для обоснования выбора метода прогнозирования изменения характеристик ТП с учетом выявленных неисправностей  $\rho^{\bar{y}}$ . Правило вывода  $P_9$  (8) определяет поиск оптимального времени  $t_p$  реализации плана РВР

$$P_9 : I \rightarrow \varepsilon_9 \overline{\rho^{\hat{y}}}, t_p I ::= \overline{\rho_1^{\hat{y}}}, t_{p_1} | \overline{\rho_2^{\hat{y}}}, t_{p_2} | \overline{\rho_3^{\hat{y}}}, t_{p_3} | \dots I, \quad (8)$$

где  $\varepsilon_9$  – эвристика, используемая для обоснования выбора времени реализации плана ремонта  $t_p$  в зависимости от комплексной оценки  $\overline{\rho^{\hat{y}}}$ , отражающей баланс основанный на минимизации потерь упущенной выгоды и затрат на реализацию проектов РВР.

Разработанный алгоритм может быть применен для формирования планов как выборочных, так и более эффективных с экономической и технической точки зрения комплексных ремонтных работ. В работе показано, что экономия ресурсов за счет группирования работ при планировании РВР может достигать 22,7 %.

Для обеспечения возможности планирования комплексных ремонтных работ поставлены задачи оптимизации процедур выбора очередности устранения причин поступающих обращений (жалобы, заявления и т.д.), выделения групп совместного ремонтного обслуживания в составе требующих ремонта ТП и поиска времени выполнения ремонта  $t_p^{opt}$  для каждой группы ТП. Варианты решения поставленных задач оптимизации РВР апробированы для определенных условий и представлены в четвертой главе.

Применение разработанных механизмов управления очередностью обработки обращений по вопросам предоставления коммунальных услуг и оптимизации согласования времени выполнения композиций планов РВР позволяет повысить эффективность процесса планирования ремонта МКД как СЭС, которая может быть представлена как свертка двух критериев: уровень социального развития и уровень экономического развития (Рисунок 7).



Рисунок 7 – Уровни формирования социально-экономического развития МКД

В четвертой главе представлено описание процесса апробации разработанной системы планирования РВР в МКД.

На примере жилого многоквартирного дома по ул. Кронштадтская, 51 г. Перми выполнена апробация механизма управления очередью обработки обращений по вопросам предоставления коммунальных услуг.

На примере административного здания по ул. Петропавловская, 51 г. Перми выполнена апробация механизма оптимизации согласования времени выполнения композиций планов РВР. Решена задача поиска  $t_p^{opt}$  для группы ТП, в которую входят 1 – фундамент, 2 – перекрытия, 3 – стены (Рисунок 8, 9)

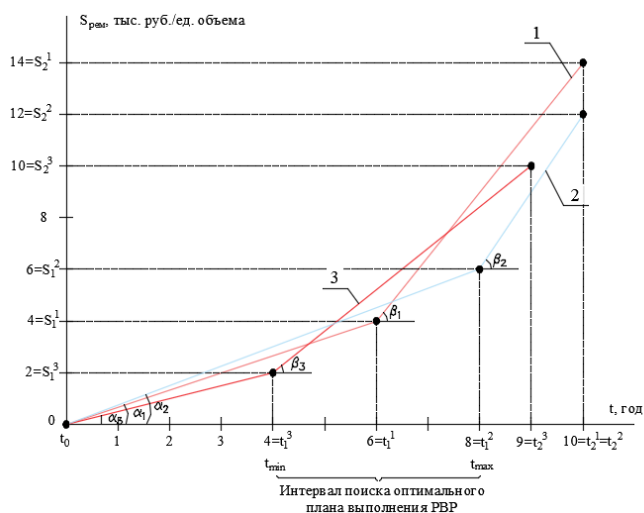


Рисунок 8 – График зависимости стоимости восстановления каждой ТП в составе группы от срока службы

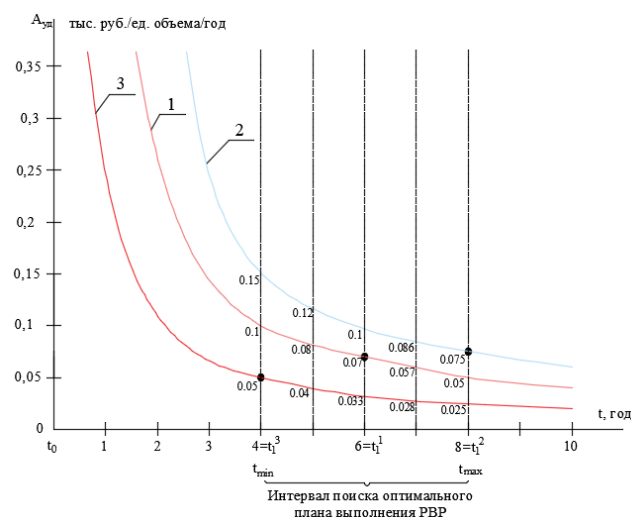


Рисунок 9 – График зависимости удельной стоимости эксплуатации от времени для ТП в составе группы

Как видно из Рисунков 8 и 9 при увеличении периода эксплуатации ТП без проведения ремонта происходит увеличение стоимости ее восстановления  $S_{рем}$  (Рисунок 8). Одновременно с эти происходит уменьшение удельной стоимости ее безаварийной работы  $A_{ю}$  (Рисунок 9). Была решена задача согласованного поиска оптимального соотношения  $S_{рем}$  и  $A_{ю}$ , которую можно представить в следующем виде:

$$y_i : \left. \begin{matrix} A_{y0}(S_{пемi}, t_p, t_0) \\ S_{пем}(t_{0i}, t_p, t_{1i}, t_{2i}, n_{1i}, n_{2i}) \end{matrix} \right\} \rightarrow opt, i \in \overline{1, I}, \quad (10)$$

где  $I$  – количество ТП в составе группы,  $S_{пемi}$  – стоимость восстановления  $i$ -ой ТП в момент выполнения ремонтных работ,  $t_p, t_{0i}$  – момент окончания предыдущего этапа выполнения РВР  $i$ -ой ТП (для рассмотренного случая все ТП имеют одно значение  $t_0$ ),  $t_{1i}, t_{2i}$  – аргументы функции стоимости восстановления ТП, отделяющие интервалы ее постепенного с коэффициентом  $n_{1i} = tg(\alpha_i)$  и ускоренного с коэффициентом  $n_{2i} = tg(\beta_i)$  роста (Рисунок 8).

С учетом предпочтений собственников относительно эффективности использования уже затраченного в предыдущий период ресурса и объема ресурса, который необходимо затратить на РВР, выполнен поиск оптимального времени реализации проекта РВР для группы ТП  $t_p^{opt}$  как аргумента, максимизирующего комплексную оценку  $\hat{X}(t_p)$ :

$$t_p^{opt} = \arg \max (\hat{X}(t_p)) = \arg \max (\hat{X}_a(A_{y0}(t_p))k_1 + \hat{X}_s(S_{пем}(t_p))k_2), \quad (11)$$

$$k_1 + k_2 = 1, \quad k_1, k_2 < 1.$$

Весовые коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$ , в выражении (11) отражают согласованные предпочтения собственников в отношении затрат ресурсов и упускаемой выгоды при выполнении РВР. Поиск  $t_p^{opt}$  выполняется с учетом системы ограничений в виде интервала  $[t_{min}, t_{max}]$ ,

$$t_{min} = \min(t_1^1, t_1^i), \quad i \in \overline{1, n}, \quad (12)$$

$$t_{max} = \min(t_2^1, t_2^i), \quad i \in \overline{1, n}. \quad (13)$$

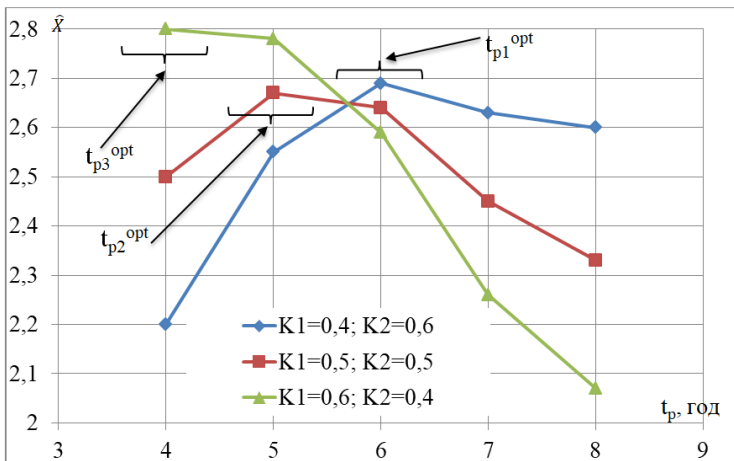


Рисунок 10 – Результаты модельного примера оптимизации времени совместного выполнения РВР

На Рисунке 10 представлены три кривые, каждая из которых характеризуется различным сочетанием коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$ , отражающих предпочтения собственников в отношении затрат ресурсов и упускаемой выгоды. Каждая кривая построена путем вычисления комплексной оценки плана РВР в определенные моменты времени. В зависимости от предпочтений собственников в отношении затрат ресурсов и упускаемой выгоды, происходит сдвиг оптимального значения времени выполнения ремонта от  $t_{p1}^{opt}$  до  $t_{p3}^{opt}$ .

Полученная информация является основанием для окончательного формирования перечня необходимых с позиции собственников планов РВР с целью дальнейшей реализации.

На примере жилого многоквартирного дома по ул. Кронштадтская, 51 г. Перми выполнена апробация разработанных алгоритмов многомодельного оценивания и прогнозирования характеристик ТП, однако оценить количественные значения эффективности их использования пока не представляется возможным.

В работе представлен способ использования программного продукта «Декон-СМ» для повышения эффективности планирования РВР при учете фактических условий эксплуатации и функционального назначения ТП за счет изменения состава материала для их ремонта или замены. В качестве примера принят тяжелый бетон при планируемом использовании в качестве железобетонной отмостки. Программный продукт «Декон-СМ» содержит методы регрессионного анализа и многокритериального комплексного оценивания рассматриваемых альтернатив строительных материалов. Из представленных вариантов смеси бетона с максимальными комплексными оценками на последующих этапах может быть выбран наиболее рациональный с позиции стоимости, технологичности и т.д. вариант.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

1 Выполнен анализ современного состояния системы управления техническим состоянием жилой недвижимости. Выявлены ее слабые стороны, к которым относится отсутствие учета человеческого фактора, бессистемность и несогласованность в процессе подготовки и реализации РВР. Выявленные проблемы показали необходимость внесения изменений процесс управления. С этой целью разработана концепция согласования принятия решений при планировании ремонта жилого фонда, представляющая множество механизмов согласования в виде сложной системы отношений между участниками принятия решений. Разработанная концепция составила существо и методологический базис диссертационного исследования при разработке прикладных механизмов согласованного управления планированием ремонтно-восстановительными работами.

2 Разработана система механизмов согласования принятия решений, учитывающая противоречия в области влияния субъектов управления планированием. Она способствует разработке планов РВР, наиболее полно соответствующих текущим и прогнозируемым состояниям множества ТП МКД, за счет наличия в составе механизмов оценивания и прогнозирования их характеристик. Для решения этих задач разработана процедура модифицированной нечеткой активной экспертизы, отличающаяся более точным установлением согласованных результатов оценивания характеристик технических подсистем в процессе проведения технической экспертизы. Ее использование в рассмотренном примере показало снижение величины средней ошибки результатов измерения с 48 % до 6 %.

3 Разработан алгоритм формирования результативных выводов как композиций механизмов согласования планов РВР, в основе которого лежит формальная система формирования результативных выводов как композиций механизмов согласования в соответствии с задачами планирования ремонта жилого фонда. Ее эффективность доказана постановкой и решением задач повышения социальной и экономической эффективности процессов планирования работ за счет выбора очередности обработки поступающих обращений и/или согласования оптималь-



ного времени выполнения композиций планов ремонтно-восстановительных работ. Разработан механизм управления очередностью обработки поступающих обращений по вопросам предоставления коммунальных услуг, а так же механизм оптимизации согласования времени выполнения композиций планов РВР. На примере показана экономия ресурсов за счет группирования ремонтных работ при планировании ремонта (для рассмотренного примера экономия составила 22,7 %).

4 Выполнена апробация отдельных частей разработанной системы планирования РВР, в частности оптимизации согласования времени выполнения композиций планов РВР, многомодельного оценивания и прогнозирования характеристик ТП МКД, управления очередью обработки обращений по вопросам предоставления коммунальных услуг, что по экспертной оценке позволило сократить на 10 % время формирования краткосрочного плана работ по содержанию, а использование ТММ позволило на 20 % сократить время поиска неисправности ТП. Показана возможность учета фактических условий эксплуатации технических подсистем многоквартирного дома при подборе состава ремонтного материала в составе процесса планирования ремонтно-восстановительных работ за счет использования автоматизированной системы анализа свойств строительных материалов «Декон-СМ», что способствует повышению эффективности планирования РВР.

Перспективами дальнейших исследований является внедрение предложенной системы в информационную систему ЖКХ (ГИС ЖКХ) и практику информационного моделирования зданий на стадии эксплуатации. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы в других предметных областях.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

*Публикации в изданиях, включенных в перечень, рекомендованный ВАК РФ*

1. Сафонов, Н.И. Механизмы согласования внутривидовых противоречий при составлении планов проведения ремонтно-восстановительных работ и их композиций / Н.И. Сафонов, В.А. Харитонов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – № 34. – С. 145–167. DOI: 10.15593/2224-9397/2020.2.09

2. Сафонов, Н.И. Концепция согласования принятия решений в задачах управления проектами ремонта жилого фонда на основе механизмов многомодельного оценивания и прогнозирования их параметров / Н.И. Сафонов // Прикладная математика и вопросы управления // Applied Mathematics and Control Sciences. – 2020. – № 2. – С. 144–161. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.2.08

*Публикации в изданиях, индексируемых в реферативной базе Scopus*

3. Intuition and Quantification of Mental Variables of Cognition Subjects in the Processes of Comprehension of the Surrounding World / V. Kharitonov, A. Alekseev, D. Krivogina, V. Spirina, R. Shaydullin, **N. Safonov** // Advances in Intelligent Systems and Computing [Digital Science. DSIC18 2018, In: Antipova T., Rocha A. (eds)], 2019. – Vol. 850. – P. 191–199. – DOI: 10.1007/978-3-030-02351-5\_23

4. Krivogina, D. The Assortment Approach to the Selection of Building Materials for the Construction of Real Estate / D. Krivogina, **N. Safonov**, V. Kharitonov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 481, Iss. 1. – Art. 012055. – DOI: 10.1088/1757-899X/481/1/012055

*Публикации в прочих изданиях*

5. Инструментальные средства соединения креативности и технологичности в задачах субъектно-ориентированного управления [Электронный ресурс] / В.А. Харитонов, А.В. Вычегжанин, Д.Н. Кривоги́на, А.М. Гревцев, **Н.И. Сафо́нов** // Управление экономическими системами. – 2017. – № 7 (101). – 11 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/download/elibrary2982041215595834.PDF> (дата обращения: 30.08.2020).

6. Управление экологически значимыми параметрами производства строительных материалов / Д.Н. Кривоги́на, **Н.И. Сафо́нов**, В.А. Харитонов, А.В. Вычегжанин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – Пермь. – 2017. – № 2. – С. 40–52. – DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.04.

7. Дмитриюков, М.С. Совершенствование механизма активной экспертизы на основе обобщенных медианных схем для задач многоаспектного управления в социально-экономических системах / М.С. Дмитриюков, В.А. Харитонов, **Н.И. Сафо́нов** // Прикладная математика и вопросы управления. – 2016. – № 2. – С.41–45.

8. Харитонов, В.А. Укroщение субъективности в задачах автоматизации и управления технологическими процессами / В.А. Харитонов, Д.Н. Кривоги́на, **Н.И. Сафо́нов** // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2017. – № 4 (8). – С. 79–88.

9. Сафо́нов, Н.И. Механизмы согласования принятия решений участниками организационной системы на этапе составления планов проведения ремонтно-восстановительных работ в многоквартирных домах / Н.И. Сафо́нов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Математика и междисциплинарные исследования – 2020». – Пермь, 2020. – С. 253–260.

*Прочие работы, приравненные к опубликованным*

10. Автоматизированная система анализа свойств строительных материалов на основе регрессионных моделей и комплексного оценивания («Декон-СМ»): Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614933 от 29 апреля 2015 года (РФ) / Голубев В.А., Харитонов В.А., Шаманов В.А., Шайдулин Р.Ф., Курзанов А.Д., Сарайкина К.А., Мелехин М.И., **Сафо́нов Н.И.**, Алексеев А.О., Леонтьев С.В.