

На правах рукописи



Тараканов Денис Вячеславович

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ
УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ
НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ДИНАМИКИ ПОЖАРА В ЗДАНИИ**

Специальность: 05.13.10

Управление в социальных и экономических системах
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре информационных технологий учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Научный консультант: **Топольский Николай Григорьевич**, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Официальные оппоненты: **Порошин Александр Алексеевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России

Танклевский Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пожарной безопасности ФГАОУ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Щепкин Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук

Ведущая организация: ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий)

Защита диссертации состоится «27» февраля 2019 года в 12:00 ч. на заседании диссертационного совета Д 205.002.01 при Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии Государственной противопожарной службы МЧС России и на сайте:

<https://academygps.ru/upload/iblock/1fd/1fd7f232761a4c07c563a8923bb87eef.pdf>

Автореферат разослан «23» ноября 2018 г.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью в двух экземплярах просим направить в Академию Государственной противопожарной службы МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Обстановка с пожарами в России определяет необходимость постоянного повышения уровня готовности к борьбе с ними. Подавляющее количество пожаров происходит в зданиях. Каждый год прямой ущерб от пожаров в зданиях измеряется десятками миллиардов рублей, а человеческие жертвы превышают десять тысяч человек в год.

Одним из направлений повышения эффективности борьбы с пожарами в зданиях является совершенствование управления пожарными подразделениями. Качество управления напрямую зависит от своевременного получения необходимой для принятия решений информации. Современные системы дистанционного мониторинга пожара способны обеспечить должностных лиц пожарных подразделений объективной информацией о динамике пожара в здании, однако существующие формализованные процедуры принятия решений не позволяют в полной мере использовать данную информацию в процессе управления.

Таким образом, актуальность диссертации заключается в противоречии между характером информации, получаемой от систем дистанционного мониторинга динамики пожара, и существующими процедурами поддержки принятия управленческих решений по спасанию людей и ликвидации пожаров в зданиях.

Степень разработанности темы исследования. В области управления пожарными подразделениями созданы теоретические положения, позволяющие использовать результаты математического моделирования действий пожарных подразделений по тушению пожаров для поддержки принятия решений. Существенный вклад в их разработку внесли отечественные ученые: Н.Г. Топольский, Н.Н. Брушлинский, Ю.В. Прус, С.В. Соколов, А.А. Таранцев, Е.А. Мешалкин, С.А. Качанов, С.В. Агеев, С.Н. Нехорошев, В.В. Тербнев, В.М. Климовцов, А.П. Абрамов, Ф.В. Демехин, А.Н. Членов, А.В. Федоров, Л.Т. Танклевский, Б.Ф. Мельников, И.Г. Малыгин, А.В. Матюшин, Т.А. Буцынская, А.П. Чуприян, А.А. Порошин и зарубежные ученые: P. Dollar, V. Robaud, G. Cottrell, S. Belongie, G. Doretto, R. Fablet, Ye Kim Sung, и др.

Однако, теоретические и практические вопросы использования результатов мониторинга динамики пожара при управлении пожарными подразделениями в зданиях остались открытыми. Поэтому научная проблема, решаемая в диссертации, заключается в разработке теоретических положений поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях, оборудованных системами дистанционного мониторинга динамики пожара. Многопараметрическая структура результатов дистанционного мониторинга динамики пожара и специфика принятия решений при управлении пожарными подразделениями, заключающаяся в одновременном решении нескольких задач пожаротушения, определяют необходимость разработки теоретических положений поддержки управления на основе методов теории многокритериальной оптимизации.

Объектом исследования в диссертации являются пожары в зданиях, оборудованных системами дистанционного мониторинга, а **предметом исследования** – процессы управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в этих зданиях.

Цель исследования – повышение эффективности управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях путем создания и использования многокритериальных моделей и методов поддержки управления на основе дистанционного мониторинга динамики пожара.

Для достижения поставленной цели необходимо решить комплекс задач.

1. Анализ специфики управления пожарными подразделениями с учетом информации о динамике пожара и результатов моделирования действий пожарных подразделений по тушению пожаров в зданиях.

2. Разработка многокритериальной модели динамики параметров пожара в здании на основе информации, получаемой от систем дистанционного мониторинга.

3. Разработка многокритериального метода поддержки принятия решений по управлению пожарными подразделениями с использованием результатов мониторинга динамики пожара в здании.

4. Моделирование задач управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях с применением разработанных многокритериальных моделей и методов поддержки управления.

5. Разработка системы информационной поддержки управления пожарными подразделениями на основе многокритериальных моделей и методов.

6. Оценка эффективности системы информационной поддержки управления пожарными подразделениями с использованием количественных показателей качества информационного обеспечения действий по тушению пожаров в зданиях и тактических возможностей пожарных подразделений.

Научная новизна работы заключается в обосновании и создании следующих новых многокритериальных моделей и методов поддержки управления пожарными подразделениями с применением результатов мониторинга динамики пожара в здании:

1. Модель дистанционного мониторинга динамики пожара в виде клеточного автомата, в которой изменение состояний пожара осуществляется на основе аналитических решений совокупности дифференциальных уравнений динамики параметров пожара в зависимости от времени его развития.

2. Метод поддержки принятия управленческих решений, представляющий собой парето-оптимальную процедуру многокритериального анализа вариантов действий пожарных подразделений, оцениваемых с использованием информации от систем дистанционного мониторинга пожара в здании.

3. Модель многокритериального анализа маршрутов движения участников тушения пожара в здании, учитывающая относительную важность трех критериев: протяженность маршрута; условия видимости; степень воздействия опасных факторов пожара на пожарных.

4. Система поддержки управления пожарными подразделениями, позволяющая в едином комплексе реализовать совокупность разработанных многокритериальных моделей и методов поддержки управления на основе результатов дистанционного мониторинга динамики пожара в здании и многоагентного моделирования действий пожарных подразделений.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в разработке многокритериальных моделей и методов поддержки принятия решений для повышения эффективности управления силами и средствами пожарных подразделений при тушении пожаров в зданиях, оборудованных системой дистанционного мониторинга динамики пожара.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработана система информационной поддержки управления пожарными подразделениями с применением результатов дистанционного мониторинга динамики пожара в здании в совокупности с результатами математического моделирования действий по тушению пожаров.

2. Модернизирована система дистанционного мониторинга динамики пожара в здании за счет разработки и внедрения новых устройств многопараметрического контроля факторов пожара для информационного обеспечения управления пожарными подразделениями.

3. Разработана процедура адаптивного проектирования системы дистанционного мониторинга динамики пожара в здании с учетом моделирования развития опасных факторов пожара на основе теории клеточных автоматов.

4. Разработан комплекс компьютерных обучающих программ для тренажеров по отработке действий при тушении пожаров в зданиях и сооружениях, а также для развития навыков управления пожарными подразделениями должностными лицами пожарно-спасательных гарнизонов.

5. Разработаны методические рекомендации по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров в зданиях с использованием информации от систем поддержки управления.

Методология и методы исследования. При решении научной проблемы использованы методы теории управления и принятия решений, системного анализа и синтеза иерархических структур управления, исследования операций, клеточных автоматов, дифференциального исчисления, многокритериальной оптимизации, теории метрических шкал измерений, а также элементов теории вероятностей и математической статистики, многоагентного моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Многокритериальная модель динамики параметров пожара в здании на основе результатов дистанционного мониторинга, позволяющая представить результаты мониторинга динамики пожара в количественном виде для их использования в процессе поддержки управления пожарными подразделениями.

2. Многокритериальный метод поддержки принятия решений по управлению силами и средствами пожарных подразделений при тушении пожаров в зданиях, учитывающий количественный характер информации о динамике пожара, получаемой от системы дистанционного мониторинга.

3. Результаты многокритериального моделирования задач управления пожарными подразделениями при анализе маршрутов движения участников тушения пожара в здании с учетом относительной важности критериев протяженности, условий видимости и степени воздействия опасных факторов пожара.

4. Система информационной поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях, созданная с применением разработанных многокритериальных моделей и методов.

5. Методические рекомендации по применению системы поддержки управления при тушении пожаров в зданиях и проведению пожарно-тактических учений с использованием сил и средств пожарных подразделений.

6. Результаты исследования эффективности системы информационной поддержки управления при тушении пожаров в зданиях на основе комплекса количественных показателей качества информационного обеспечения действий по тушению пожаров и тактических возможностей пожарных подразделений.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается применением апробированных методов и средств исследования, внутренней непротиворечивостью и согласованностью с результатами других исследователей, сравнением теоретических данных с результатами экспериментальных исследований.

Теоретические и практические результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях: «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (Москва, ИПУ РАН, 2014 г.), «Математические методы в технике и технологиях» (Саратов, 2011 г.); «Системы безопасности» (Москва, АГПС МЧС России, 2008, 2010, 2013, 2014, 2016, 2017 гг.), «Пожарная и аварийная безопасность» (Иваново, ИПСА МЧС России 2008, 2012 – 2017 гг.), «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (Балашиха, ВНИИПО МЧС России, 2009 г.), «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации», (Москва, АГПС МЧС России, 2015, 2016 гг.) и Всероссийских научно-практических конференциях с международным участием: «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (Воронеж, ВИ ГПС МЧС России, 2014 г.), «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности» (Иваново, ИПСА МЧС России 2015, 2018 гг.), «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (Воронеж, ВИ ГПС МЧС России, 2016 г.), и др.

Практическая реализация результатов исследования. Разработанные многокритериальные модели и методы поддержки управления пожарными подразделениями на основе дистанционного мониторинга динамики пожара в здании использованы:

– в Департаменте готовности сил и специальной пожарной охраны и Научно-техническом управлении МЧС России при разработке рекомендаций по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров в зданиях с использованием систем поддержки управления;

– в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности ООО «НПО “Этернис”» при модернизации кумулятивной системы пожарной сигнализации и пожаротушения «Гарант-Р», конструировании и изготовлении новых устройств контроля факторов пожара с автоматизированной системой адаптивного проектирования и мониторинга пожара для управления пожаротушением;

– в научной и учебной деятельности ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» при разработке критериев оперативной и технической готовности сил и средств пожарно-спасательных подразделений МЧС России, разработке учебно-методических материалов для изучения дисциплин на кафедре информационных технологий УНК АСИТ;

– в производственной деятельности АО «Дыхательные системы – 2000» при создании обучающих компьютерных программ по тренажерным комплексам для подготовки специалистов пожарных подразделений к действиям по тушению пожаров в зданиях и сооружениях;

– в научной деятельности ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России» при разработке функционального тренажера для пожарных и спасателей, привлекаемых к действиям по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций радиационного характера при эксплуатации атомных электростанций и разработке автоматизированной информационной системы организации связи и оповещения при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 86 работ, в том числе 37 работ – в периодических изданиях, рекомендованных ВАК России, научная монография, патенты на изобретение и полезную модель, 11 свидетельств Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ и 34 работы – в других научных изданиях.

Личный вклад автора. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично, из совместных работ с соавторами в диссертацию включены только те результаты, которые принадлежат автору.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 340 страницах текста, включает в себя 25 таблиц, 81 рисунок, список литературы из 325 наименований, 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, показана степень разработанности области исследования, сформулированы цель и задачи диссертации, проанализированы объект и предмет исследования, показана научная новизна работы и ее практическая значимость, перечислены положения, выносимые на защиту, приведено краткое содержание работы.

В главе 1 «Анализ специфики управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях» в целях постановки и исследования научной проблемы рассмотрена специфика управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях.

Анализ результатов строительной отрасли в России показал, что наблюдается тенденция увеличения общей площади зданий, вводимых в эксплуатацию ежегодно на 7–10 %. Крупные пожары в зданиях наносят колоссальный ущерб государству, измеряемый миллиардами рублей. Пожары в зданиях представляют особую опасность для пожарных, так как их травмирование и гибель в основном наблюдается при тушении пожаров в зданиях. Современные здания оборудуются системами дистанционного мониторинга динамики пожара, которые являются информационно-техническими подсистемами систем активной противопожарной защиты зданий. Проведен анализ технической готовности систем противопожарной защиты зданий в части реализации функций обнаружения пожара. Показано, что относительный показатель технической готовности увеличился более чем в два раза: с 0,42–0,44 (1993 г.) до 0,86–0,88 (2017 г.) при доверительной вероятности 0,95, что позволяет использовать современные системы мониторинга в качестве источника информации для принятия решений при управлении пожарными подразделениями.

Определено, что одним из основных направлений совершенствования управленческой деятельности является разработка и применение методов поддержки управления, повышающих оперативность и обоснованность принимаемых на пожаре управленческих решений. В результате анализа выявлены два основных подхода к разработке методов поддержки управления: первый подход направлен на повышение эффективности деятельности руководителя тушения пожара; второй направлен на повышение эффективности взаимодействия должностных лиц оперативного штаба на пожаре. Выполнен анализ структуры систем поддержки управления. Показано, что все существующие системы состоят из совокупности подсистем, взаимодействующих по иерархическому принципу. Задачами каждой из подсистем являются сбор информации для принятия решений и ее аналитическая обработка с использованием процедур многокритериальной оптимизации. Определены требования к разработке систем поддержки управления, применяемых для повышения качества принятия управленческих решений при тушении пожара.

Проведен анализ моделей действий пожарных подразделений, которые в настоящее время являются единственным источником информации для систем поддержки управления. Рассмотрены модели многокритериального выбора управленческих решений, выступающих в качестве теоретической основы для разработки методов поддержки принятия решений. Показано, что все многокритериальные модели базируются на понятии парето-оптимальности управленческих решений, а подходы к решению управленческих задач сводятся к свертке векторного критерия или его модификации путем использования информации об относительной важности критериев. Предложено использовать результаты дистанционного мониторинга динамики пожара в здании как альтернативный источник информации для систем поддержки управления.

Сформулирована научная проблема, состоящая в разработке теоретических положений поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях, оборудованных системами дистанционного мониторинга динамики пожара. Определен перечень задач, обеспечивающих решение поставленной научной проблемы: разработка многокритериальной модели мониторинга пожара в здании для возможности использования результатов мониторинга в процессе управления пожарными подразделениями; разработка многокритериального метода поддержки принятия решений на основе результатов мониторинга пожара; апробация теоретических положений при решении частных задач управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях с учетом результатов дистанционного мониторинга динамики пожара; реализация теоретических положений в виде информационной системы поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в здании; оценка эффективности применения системы поддержки управления на основе комплекса количественных показателей качества информационного обеспечения действий по тушению пожаров и тактических возможностей пожарных подразделений.

В главе 2 «Многокритериальные модели и методы мониторинга динамики пожара в здании» проанализирована специфика мониторинга пожара в здании с использованием средств пожарной автоматики, а также разработана общая многокритериальная модель цифровой обработки результатов дистанционного мониторинга для их применения в процедурах поддержки принятия управленческих решений.

Предложена концепция мониторинга пожара в здании, определяющая декомпозицию общей площади здания на зоны контроля, в которых осуществляется дистанционный мониторинг одновременно нескольких параметров пожара. Определено, что результаты дистанционного мониторинга представляют собой совокупность состояний наблюдаемых параметров пожара в зоне контроля системы. Показано, что каждый конкретный вариант действий по тушению пожара в здании, основанный на результатах дистанционного мониторинга, характеризуется m параметрами, для которых получена количественная оценка в n зонах контроля.

Принятие решений на основе результатов дистанционного мониторинга пожара предусматривает оценку динамики каждого из параметров пожара. Для получения такой информационной оценки разработана математическая модель изменения во времени параметров мониторинга пожара. В рамках концепции дистанционного мониторинга произведен анализ системы одновременного наблюдения за несколькими параметрами пожара. На основе результатов анализа в качестве теоретической основы для разработки модели динамики параметров мониторинга пожара выбрана теория клеточных автоматов. Разработан клеточный автомат, в котором совокупность взаимодействующих зон и параметров мониторинга задана системой дифференциальных уравнений, аналогичных уравнениям Колмогорова. Аналитическое решение системы уравнений относительно параметра мониторинга пожара p в зонах контроля определены по формулам:

начальная зона контроля:

$$\Delta p_0(\tau) = p_0(\tau) - p^0 = p^* [1 - \exp(-Z_0(\tau))]; \quad (1)$$

смежная зона контроля:

$$\Delta p_j(\tau) = p_j(\tau) - p^0 = \frac{\sum_{i=1, \dots, s} n_{i,j} p_i(\tau)}{\sum_{i=1, \dots, s} n_{i,j}} \left[1 - \exp\left(-Z_j(\tau) \cdot \sum_{i=1, \dots, s} n_{i,j}\right) \right], \quad (2)$$

где $p(\tau)$ – параметр мониторинга пожара; p^0 – начальное значение параметра мониторинга пожара; p^* – пороговое значение параметра мониторинга пожара; $n_{i,j}$ – коэффициент обмена между зонами контроля с номерами i и j ; s – количество зон контроля в системе мониторинга; Z_j – интенсивность динамики пожара мониторинга в зоне с номером j .

Коэффициент n в соотношениях (1) и (2) рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{1}{\sum_{j=1, 2, \dots, k} n_j}, \quad (3)$$

где n_j – коэффициент n для клеток окрестности; k – количество клеток окрестности автомата.

Допустимые значения коэффициента n определяются исходя из размерности клеток автомата и структуры их взаимодействия.

При использовании аналитических соотношений (1) и (2) для моделирования динамики параметров пожара используются следующие функции p :

при моделировании динамики температуры (T) в зонах контроля:

$$p = -\beta, \quad p^0 = \beta^0 = -1, \quad p^* = \beta^*, \quad T = \frac{T^0}{\beta}, \quad (4)$$

при моделировании динамики видимости (Ω) в зонах контроля:

$$p = \xi, \quad p^0 = \xi^0 = 0, \quad p^* = \xi^*, \quad \Omega = \frac{\Omega^0}{\xi}, \quad (5)$$

где β – функция для расчета динамики температуры; ξ – функция для расчета динамики видимости; T^0 – начальное значение температуры дымовой среды, К; Ω^0 – начальное значение видимости дымовой среды, м.

Метод моделирования мониторинга динамики пожара состоит из двух этапов: анализ структуры модели клеточных автоматов; цифровая обработка данных о динамике параметров пожара.

На первом этапе метода определяется основная зона контроля и смежные с основной зоны, строится совокупность аналитических решений системы уравнений клеточных автоматов, и для каждого дискретного момента времени определяются следующие параметры: интенсивность динамики пожара Z и количественные значения параметра мониторинга $p(\tau)$.

На втором этапе метода с использованием зависимостей (4) и (5) на основе параметра мониторинга $p(\tau)$ определяются значения функций параметров (ξ, β) и значения параметров мониторинга (T, Ω) .

Результат расчета представляется в виде временных зависимостей параметров мониторинга пожара:

$$\beta_i(\tau), T_i(\tau), \xi_i(\tau), \Omega_i(\tau). \quad (6)$$

Общая структура метода моделирования динамики параметров мониторинга пожара на основе модели клеточных автоматов представлена на рисунке 1.

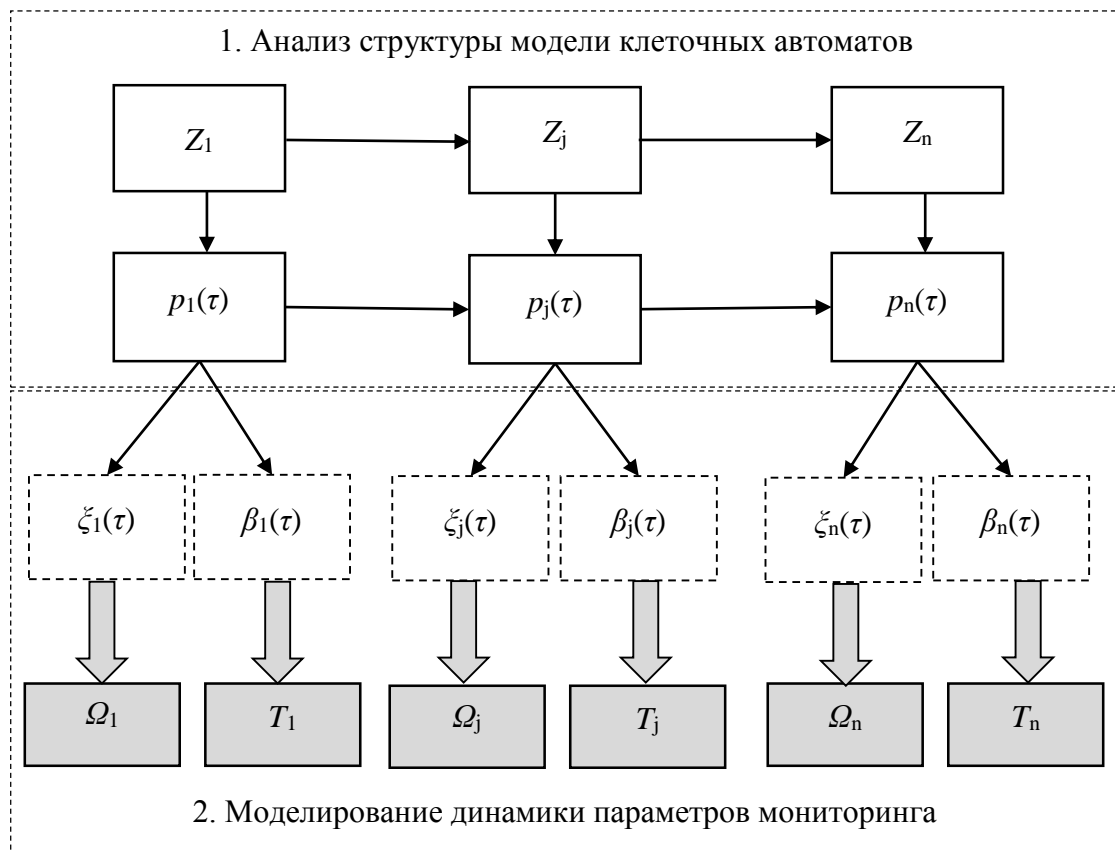


Рисунок 1 – Структура метода моделирования динамики параметров мониторинга пожара

Таким образом, разработанный метод обеспечивает цифровую обработку результатов мониторинга пожара для формирования нормированных критериев принятия решений.

Для принятия решений предложены нормированные критерии мониторинга f_i , значения которых измеряются в количественной шкале. На основе анализа метрологических характеристик информационных компонентов систем пожарной автоматики определено, что результаты измерений при мониторинге распределены нормально, поэтому при переходе от параметра p_i к критерию f_i разработана процедура цифровой обработки результатов мониторинга.

При разработке процедуры было принято, что каждая зона контроля со средством системы мониторинга имеет конечное число состояний:

$$\{B_0, B_1, \dots, B_k\}. \quad (7)$$

Система находится в состоянии B_i , если результат мониторинга p_k принадлежит интервалу $p_k \in [p_{i1}; p_{i2}]$, где i – номер состояния. Для каждого интервала определено среднее значение $p_{i;cp}$ и отклонение Δp_i . При решении задачи цифровой обработки результатов мониторинга применена функция плотности нормально распределенной случайной величины:

$$\mu_i = \frac{1}{\Delta p_i \sqrt{2\pi}} \exp(-P_i), \quad P_i = \frac{(p_k - p_{i;cp})^2}{2\Delta p_i^2}. \quad (8)$$

Предложена количественная шкала критериев мониторинга, позволяющая учесть возможную принадлежность результата мониторинга одновременно двум состояниям пожара, для чего доказаны следующие утверждения.

Утверждение 1. Пусть p_k параметр мониторинга пожара и задано множество значений состояния пожара B_i , $i = 1, 2, \dots, n$, каждому из которых соответствуют оценочные значения параметра мониторинга $p_{i;cp}$ и Δp_i . Если значение параметра мониторинга p_k одновременно принадлежит двум смежным состояниям B_i и B_{i+1} , то для интервала значений параметра мониторинга $p_k \in [p_{i;cp}; p_{i+1;cp}]$ сопоставляется промежуточное состояние пожара $B_{i;i+1}$, рассчитываемое по формуле:

$$B_{i;i+1} = \frac{B_i}{1 + \frac{\Delta p_i}{\Delta p_{i+1}} \exp(P_i - P_{i+1})} + \frac{B_{i+1}}{1 + \frac{\Delta p_{i+1}}{\Delta p_i} \exp(P_{i+1} - P_i)}, \quad P_i = \frac{(p_k - p_{i;cp})^2}{2\Delta p_i^2}. \quad (9)$$

Утверждение 2. Если для утверждения 1 справедливо, что $\Delta p_i = \Delta p_{i+1}$, то промежуточное состояние пожара $B_{i;i+1}$ рассчитывается по формуле:

$$B_{i;i+1} = \frac{B_i + (B_i + B_{i+1})A + B_{i+1}A^2}{1 + 2A + A^2}, \quad A = \exp(\Delta P_{i;i+1}), \quad \Delta P_{i;i+1} = P_i - P_{i+1}. \quad (10)$$

При доказательстве утверждений 1 и 2 применены свойства функции Гаусса - Лапласа для случая анализа двух непрерывных случайных величин.

Функция параметра μ_i и шкала оценки B_i позволяют представить результаты мониторинга динамики пожара в количественном виде.

Предложено в качестве обобщенного критерия мониторинга пожара использовать мультипликативную функцию:

$$\Phi(x) = \prod_{i=1}^m f_i^{\omega_i}(x), \quad (11)$$

где x – варианты управленческих решений; f_i – нормированный критерий мониторинга пожара; ω_i – коэффициенты важности i -го критерия $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$.

Таким образом, разработанные модели мониторинга динамики пожара и созданные на их основе процедуры цифровой обработки данных обеспечивают применение результатов дистанционного мониторинга пожара в качестве источника информации для поддержки принятия решений при управлении пожарными подразделениями в процессе тушения пожаров в зданиях.

В главе 3 «Многокритериальный метод поддержки принятия решений на основе мониторинга динамики пожара» разработан метод поддержки принятия решений на основе моделей мониторинга динамики пожара в здании. В качестве теоретической основы метода предложена задача многокритериального выбора, состоящая в том, то из n вариантов, оцениваемых по m критериям, в результате применения процедур поддержки принятия решений, оказалось, что d вариантов исключены из анализа, а k вариантов рекомендованы для выбора лицу, принимающему решения, при этом $n = d + k$.

Задача многокритериального выбора включает в себя:

множество вариантов:

$$x_i \in X, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad n \geq 2; \quad (12)$$

множество компонентов векторного критерия:

$$f_s \in F, \quad s = 1, 2, \dots, m, \quad m \geq 2; \quad (13)$$

множество векторных оценок вариантов:

$$F(X) = f_1(X) \times f_2(X) \times \dots \times f_m(X), \quad (14)$$

где $f_i(X)$ – множество значений компонентов векторного критерия с номером i на множестве вариантов $x_i \in X$.

Компоненты векторного критерия F представляют собой числовые функции, которые по своей природе являются количественными шкалами.

Для разработки метода поддержки принятия решений произведено исследование многокритериальной модели мониторинга динамики пожара и многокритериальной модели количественного анализа вариантов управленческих решений на основе принципа оптимальности по Парето.

Многокритериальная модель мониторинга динамики пожара (модель A) представлена кортежем:

$$A = \langle X_n, F_m, \Phi_m(X), \omega_m \rangle, \quad (15)$$

где X_n – множество, состоящее из n вариантов управленческих решений; F_m – векторный критерий, состоящий из m частных компонент – параметров мониторинга пожара; Φ_m – мультипликативная функция параметров F_m ; ω_m – показатели важности компонент векторного критерия F .

Многокритериальная модель анализа управленческих решений (модель B) представлена кортежем:

$$B = \langle X_n, F_m, N, G_m, \Theta \rangle, \quad (16)$$

где G_m – новый векторный критерий; Θ – показатели важности компонентов векторного критерия F_m ; N – преобразование векторного критерия F_m в G_m .

Произведено теоретическое обобщение моделей A и B , что позволило использовать результаты мониторинга динамики пожара в методе поддержки принятия решений. Для этого сформулированы и доказаны утверждения.

Утверждение 3. Пусть в модели B задано множество I номеров компонентов F , компоненты с номерами $i \in I_A$, с номерами $j \in I_B$ и компоненты с номерами $s \in I \setminus (I_A \cup I_B)$. Если набор параметров Θ_{ij} определен для всех $i \in I_A$ и $j \in I_B$, тогда показатели важности ω для модели A рассчитываются по формулам:

для всех $f_i \in F$ с номерами $i \in I_A$

$$\omega_i = \frac{1+b}{a(1+b)+\Theta+s}; \quad (17)$$

для всех $f_j \in F$ с номерами $j \in I_B$

$$\omega_j = \frac{\Theta_j}{a(1+b)+\Theta+s}; \quad (18)$$

для всех $f_s \in F$ с номерами $s \in I \setminus (I_A \cup I_B)$

$$\omega_s = \frac{1}{a(1+b)+\Theta+s}, \quad (19)$$

где $\Theta_j = \sum_{i=1}^a \Theta_{ij}$, $\forall i \in I_A$, $\Theta = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a \Theta_{ij}$, $\forall j \in I_B$, $\forall i \in I_A$; a – количество компонент F с номерами $i \in I_A$; b – количество компонент F с номерами $j \in I_B$ и s – количество компонент F с номерами $s \in I \setminus (I_A \cup I_B)$.

Утверждение 4. Пусть в модели B в группу I_A компонент F входит один компонент ($a = 1$), а все остальные компоненты входят в группу I_B ($b = m - 1$). Если для всех $j \in I_B$ определен набор показателей Θ_j , тогда показатели важности ω модели A рассчитываются по формулам:

для $f_i \in F$ с номером $i \in I_A$

$$\omega_i = \frac{m}{m + \Theta}; \quad (20)$$

для всех $f_j \in F$ с номерами $j \in I_B$

$$\omega_j = \frac{\Theta_j}{m + \Theta}, \quad (21)$$

где $\Theta = \sum_{j=1}^b \Theta_j, \forall j \in I_B$.

Утверждение 5. Пусть в модели B задано множество I номеров компонент F , компоненты с номерами $i \in I_A$ и номерами $j \in I_B$, компоненты с номерами $s \in I \setminus (I_A \cup I_B)$. Если набор параметров Θ_{ji} определен для всех $i \in I_A$ и $j \in I_B$, тогда показатели важности ω модели A будут рассчитываться по формулам:

для всех $f_i \in F$ с номерами $i \in I_A$

$$\omega_i = \frac{1 + \Theta_i}{a(1+b) + \Theta + s}; \quad (22)$$

для всех $f_j \in F$ с номерами $j \in I_B$

$$\omega_j = \frac{a}{a(1+b) + \Theta + s}; \quad (23)$$

для всех $f_s \in F$ с номерами $s \in I \setminus (I_A \cup I_B)$

$$\omega_s = \frac{1}{a(1+b) + \Theta + s}, \quad (24)$$

где $\Theta_i = \sum_{j=1}^b \Theta_{ji}, \forall j \in I_B$ и $\Theta = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \Theta_{ji}, \forall i \in I_A, \forall j \in I_B$.

Утверждение 6. Пусть в модели B в группу с номерами I_B компонентов F входит один компонент ($b=1$), в группу с номерами I_A входят остальные компоненты ($a = m - 1$). Если для всех $i \in I_A$, определен набор Θ_i , тогда показатели важности ω для модели A рассчитываются по формулам:

для всех $f_i \in F$ с номерами $i \in I_A$

$$\omega_i = \frac{1 + \Theta_i}{2a + \Theta}; \quad (25)$$

для $f_j \in F$ с номером $j \in I_B$

$$\omega_j = \frac{a}{2a + \Theta}, \quad (26)$$

где $\Theta = \sum_{i=1}^a \Theta_i, \forall i \in I_A$.

Утверждение 7. Пусть в модели A задано множество I номеров компонентов F , и в группе I_A находится один компонент с номером i в группе I_B – все остальные компоненты с номерами $j, j \in I \setminus i$. Если показатели важности ω_m определены, тогда для всех $j \in I_B$ показатели важности Θ_j модели B рассчитываются по формуле:

$$\Theta_j = m \frac{\omega_j}{\omega_i}, \forall i, j \in I \rightarrow \omega_i > \omega_j. \quad (27)$$

Утверждение 8. Пусть в модели A задано множество I номеров компонентов F в группе I_B находится один компонент с номером j , а в группе I_A – все остальные компоненты с номерами $i, i \in I \setminus j$. Если показатели важности ω_m определены, тогда для всех $i \in I_A$ показатели важности Θ_i модели B рассчитываются по формуле:

$$\Theta_i = (m - 1) \frac{\omega_i}{\omega_j} - 1, \forall i, j \in I \rightarrow \omega_i > \omega_j. \quad (28)$$

Доказательство утверждений 3–8 производится по схеме, предусматривающей формирование соответствующих систем линейных уравнений, в которых переменные – это компоненты векторного критерия; коэффициенты при переменных – показатели относительной важности критериев модели A ; а свободные члены – показатели важности модели B . Решение систем уравнений проводилось методом Крамера.

На основе сформулированных и доказанных утверждений разработан метод поддержки принятия управленческих решений с использованием информации от систем мониторинга динамики пожара в здании. Метод представляет собой многоуровневую процедуру многокритериального анализа векторных оценок вариантов решений на основе принципа оптимальности по Парето и включает следующие последовательно реализуемые этапы:

первый этап «Исходные данные»

– осуществляется ввод задачи многокритериального выбора: вариантов управленческих решений, векторных оценок вариантов по критериям и показателей важности критериев;

второй этап «Нормализация задачи выбора»

– производится нормализация критериев выбора, показателей важности. На данном этапе метода используются утверждения 1 и 2. В качестве результата реализации данного этапа метода формируется нормализованная задача выбора решений;

третий этап «Ранжирование векторных оценок»

– производится ранжирование вариантов управленческих решений с использованием аддитивной либо мультипликативной функции;

четвертый этап «Модификация векторного критерия»

– выполняется расчет относительных показателей важности критериев. Для этого используются результаты теоретического обобщения моделей многокритериального выбора – утверждения 7–8. На основе относительных показателей важности применяется мультипликативное либо аддитивное преобразование N , позволяющее получить новый векторный критерий и соответствующие новые векторные оценки вариантов управленческих решений;

пятый этап «Построение множества Парето»

– производится исключение из дальнейшего рассмотрения непарето-оптимальных вариантов на основе векторных оценок вариантов, полученных с использованием нового векторного критерия;

шестой этап «Построение множества выбранных вариантов»

– парето-оптимальные варианты упорядочиваются в соответствии с результатами ранжирования для проведения процедуры окончательного выбора наилучшего варианта.

Многокритериальный метод поддержки принятия решений по управлению силами и средствами пожарных подразделений при тушении пожаров в зданиях учитывает информацию о динамике пожара, получаемую от системы дистанционного мониторинга.

Разработанная структура метода поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в зданиях, оборудованных системами дистанционного мониторинга динамики пожара, представлена на рисунке 2.

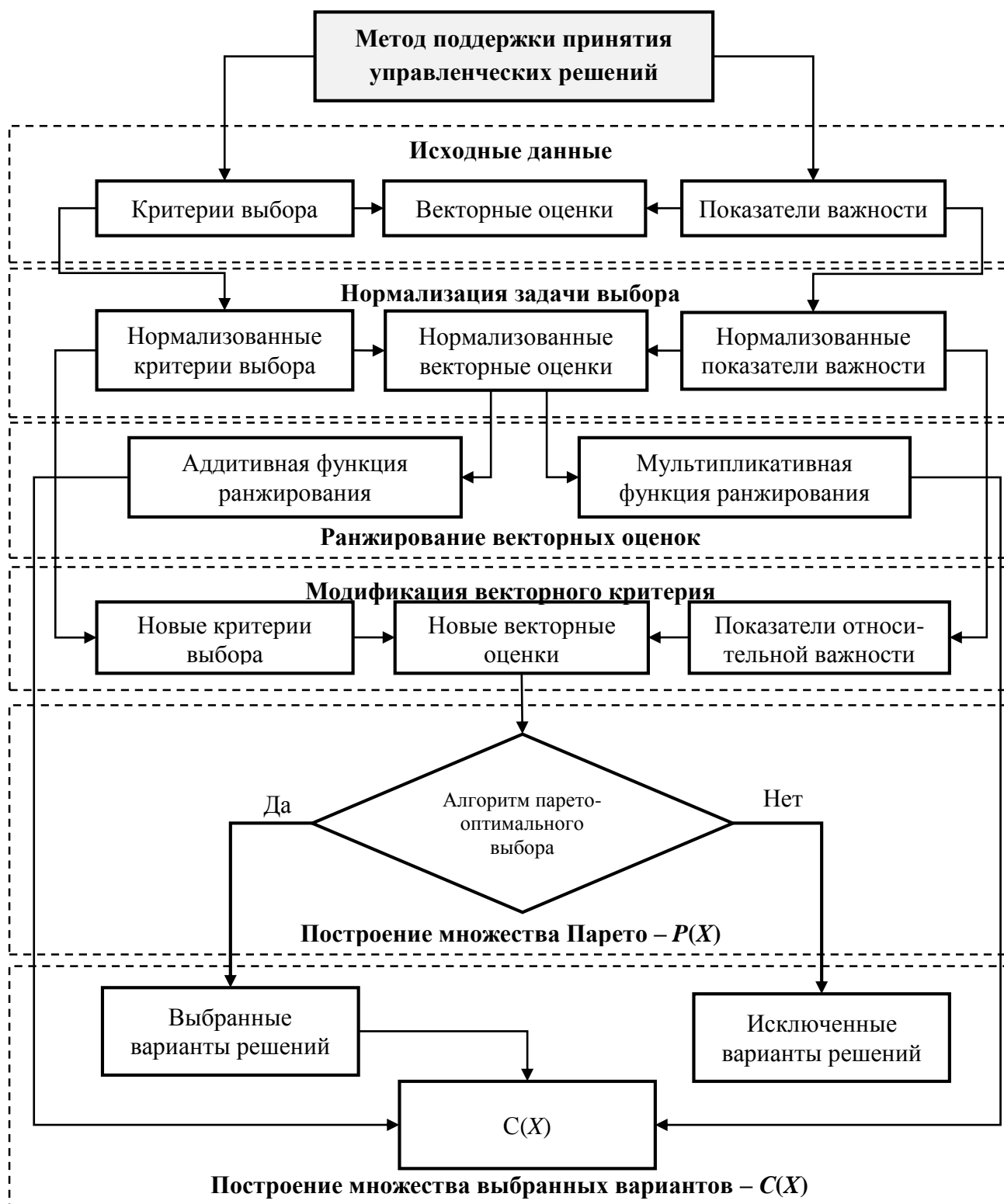


Рисунок 2 – Структура метода поддержки принятия управленческих решений

Таким образом, разработан метод поддержки принятия решений, использующий в качестве теоретической основы задачу многокритериального выбора и принцип оптимальности по Парето, что в совокупности позволяет применять в процессе принятия решений количественные параметры дистанционного мониторинга динамики пожара в здании.

В главе 4 «Моделирование поддержки управления пожарными подразделениями» на основе разработанных многокритериальных моделей и методов произведены постановка, формализация и решение частных задач управления пожарными подразделениями при тушении пожара в здании. Выполнен анализ взаимодействующих элементов системы управления действиями по тушению пожаров в зданиях «Пожарный – Дыхательный аппарат – Опасная среда пожара – Архитектура здания». Результаты анализа позволили сформировать три критерия принятия решений при выборе маршрутов движения пожарных внутри здания для успешного решения задач пожаротушения:

критерий 1 – протяженность маршрута движения – траекторное расстояние, которое необходимо преодолеть звену газодымозащитной службы (ГДЗС) при движении к месту проведения работ по тушению пожара в здании;

критерий 2 – скорость движения звена ГДЗС на маршруте с учетом потребления дыхательной смеси газодымозащитниками;

критерий 3 – степень воздействия опасных факторов пожара – видимость на участке маршрута в совокупности с температурой газовой среды, которая определяет допустимое время пребывания пожарных внутри здания.

Проведен регрессионный анализ и оценена степень влияния данных критериев на продолжительность реализации действий пожарных подразделений при тушении пожара. Разработана функция, аналогичная по структуре функции Кобба – Дугласа, для ранжирования маршрутов звеньев ГДЗС:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot K^{\gamma_1} \cdot V^{\gamma_2} \cdot \Omega^{\gamma_3}, \quad (29)$$

где Φ_0 – свободный множитель; V – скорость движения на участках маршрута движения; Ω – видимость на участках маршрутов движения; $K=L^{-1}$ – параметр, обратный протяженности маршрута; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – показатели важности.

Свободный множитель функции рассчитан по формуле:

$$\Phi_0 = A \cdot B \cdot V_0, \quad (30)$$

где $A = 0,5$ и $B = 0,15$ – константы регрессионных моделей; V_0 – скорость движения звена ГДЗС при реализации действий по тушению пожара в здании.

Показатели важности параметров функции определены по формулам:

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \beta + \alpha}; \quad \gamma_2 = \frac{\beta}{1 + \beta + \alpha}; \quad \gamma_3 = \frac{\alpha}{1 + \beta + \alpha}, \quad (31)$$

где $\alpha = 0,2$ и $\beta = 0,5$ – коэффициенты регрессионных моделей.

Разработан способ формирования вариантов маршрутов звеньев ГДЗС на основе анализа сетевой модели здания. Способ предусматривает применение ориентированного графа, в котором вершины – помещения здания, ребра – участки движения между помещениями.

На основе процедуры цифровой обработки результатов мониторинга динамики пожара в здании разработаны критерии и их количественные шкалы с множеством допустимых значений для параметров принятия решений (K, V, Q). Пример цифровой обработки результатов мониторинга по **утверждению 1** для нормализации критерия видимости на участке маршрута движения звена ГДЗС представлен на рисунке 3.

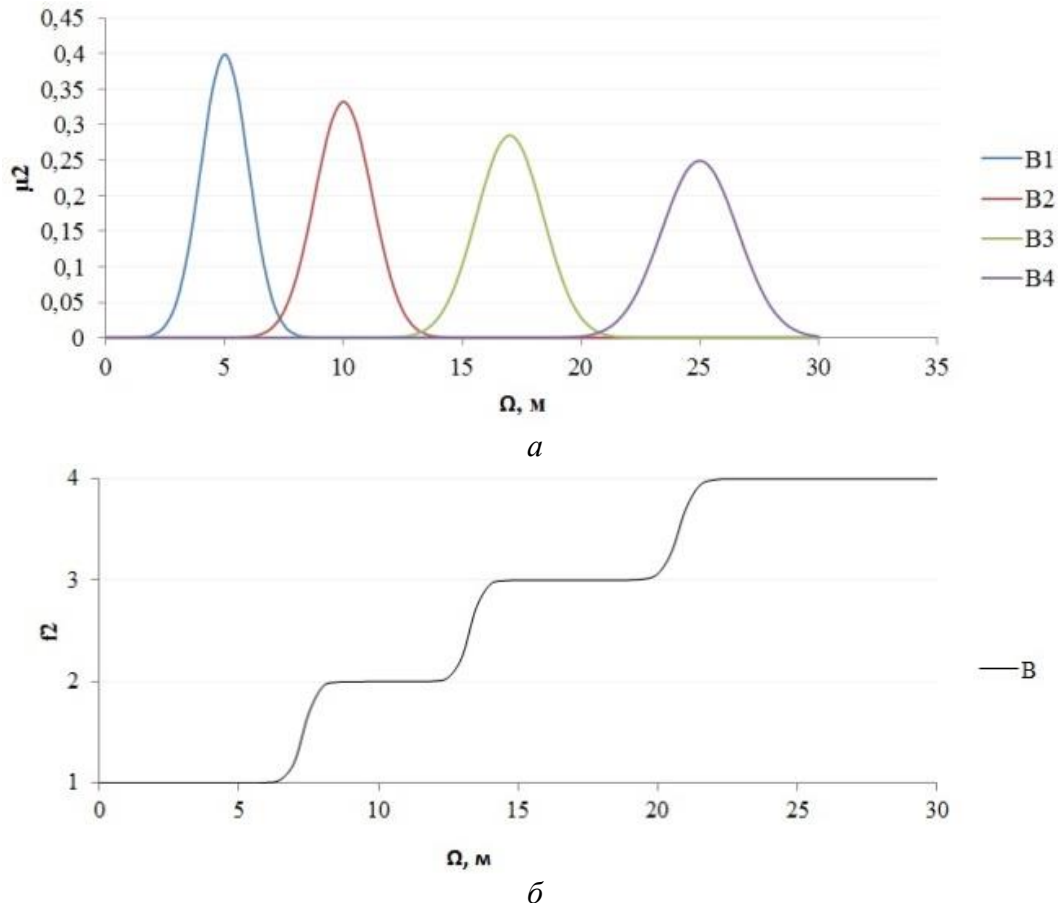


Рисунок 3 – Количественная шкала критерия принятия решений:
a – функция видимости на участках маршрута;
б – количественная шкала критерия.

Сформирована модель принятия решений в виде задачи многокритериального выбора, состоящая из следующих элементов:

множество маршрутов:

$$X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}, i=1, 2, \dots, n; \quad (32)$$

векторный критерий:

$$F = \{f_1, f_2, f_3\}, f_i(X) \in [1, 4]; \quad (33)$$

показатели важности:

$$Y = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3\}. \quad (34)$$

Определены значения показателей важности по формулам (31).

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \beta + \alpha} = \frac{1}{1 + 0,5 + 0,2} = 0,59; \quad (35)$$

$$\gamma_2 = \frac{\beta}{1 + \beta + \alpha} = \frac{0,5}{1 + 0,5 + 0,2} = 0,29; \quad (36)$$

$$\gamma_3 = \frac{\alpha}{1 + \beta + \alpha} = \frac{0,2}{1 + 0,5 + 0,2} = 0,12. \quad (37)$$

Расчет показателей относительной важности Θ произведен на основе **утверждения 7**. Для этого среди показателей $\{\gamma_1 = 0,59; \gamma_2 = 0,29; \gamma_3 = 0,12\}$ выбран показатель с максимальным значением γ_1 . В группу I_A определен компонент векторного критерия f_1 , а компоненты f_2 и f_3 отнесены к группе I_B .

Определены показатели относительной важности Θ_2 и Θ_3 по формулам

$$\Theta_2 = m \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = 3 \frac{0,29}{0,59} = 1,48; \quad (38)$$

$$\Theta_3 = m \frac{\gamma_3}{\gamma_1} = 3 \frac{0,12}{0,59} = 0,61. \quad (39)$$

Для модификации векторного критерия $F = \{f_1, f_2, f_3\}$ в векторный критерий $G = \{g_1, g_2, g_3\}$ использовано преобразование N . Компонент векторного критерия f_1 (группы I_A) остается без изменения, то есть

$$g_1 = f_1. \quad (40)$$

Компоненты f_2 и f_3 (группа I_B) заменяются новыми компонентами g_2 и g_3 :

$$g_2 = f_1 \cdot f_2^{\Theta_2} = f_1 \cdot f_2^{1,48}; \quad (41)$$

$$g_3 = f_1 \cdot f_3^{\Theta_3} = f_1 \cdot f_3^{0,61}. \quad (42)$$

Для построения структуры выбранных маршрутов использованы следующие последовательные включения

$$C(X) \subset P_G(X) \subset P_F(X) \subset X, \quad (43)$$

где X – множество маршрутов движения; $C(X)$ – множество маршрутов рекомендуемое для выбора; $P_G(X)$ – множество парето-оптимальных маршрутов, построенное с использованием векторного критерия $G = \{g_1, g_2, g_3\}$; $P_F(X)$ – множество парето-оптимальных маршрутов, построенное с использованием векторного критерия $F = \{f_1, f_2, f_3\}$.

На основе принципа оптимальности по Парето, наилучшими будут считаться маршруты, принадлежащие множеству $D_0 = P_G(X)$ (зеленый цвет, рисунок 4), эффективными (приемлемыми) – $D_1 = P_F(X)/P_G(X)$ (желтый цвет, рисунок 4) и неэффективными (неприемлемыми) оставшиеся маршруты из множества $D_2 = X/(P_F(X))$ (красный цвет, рисунок 4).



Рисунок 4 – Ранжирование маршрутов звеньев ГДЗС

В результате применения созданных многокритериальных моделей и методов поддержки управления разработана процедура анализа маршрутов звеньев ГДЗС при тушении пожаров в зданиях, включающая следующие этапы:

на первом этапе методами регрессионного анализа определяются критерии для выбора маршрутов звена ГДЗС внутри здания;

на втором этапе строится функция Кобба – Дугласа, определяются степень влияния критериев на функцию ранжирования маршрутов и рассчитываются показатели важности критериев выбора;

на третьем этапе с использованием сетевой модели здания формируются множество допустимых маршрутов и их векторные оценки по критериям;

на четвертом этапе с использованием разработанной модели цифровой обработки результатов мониторинга производится нормализация векторных оценок и критериев;

на пятом этапе применяется разработанный метод поддержки принятия решений для анализа маршрутов с целью выбора наилучшего из них.

При формализации, постановке и решении частной задачи управления на основе созданного методологического аппарата произведено снижение субъективного фактора на этапе формирования векторных оценок маршрутов за счет применения модели обработки результатов мониторинга динамики пожара в здании (температуры и видимости в дыму).

В результате комплексного применения многокритериальных моделей и методов поддержки управления пожарными подразделениями разработана процедура анализа маршрутов движения звеньев ГДЗС в здании, учитывающая относительную важность трех критериев: протяженность маршрута; условия видимости; степень воздействия опасных факторов пожара.

В главе 5 «Информационная система поддержки управления пожарными подразделениями» разработана система поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях в виде управляющего программно-аппаратного комплекса (ПАК). В качестве источника информации о мониторинге динамики пожара в ПАК выступает беспроводная система пожарной сигнализации и пожаротушения, в которую как средство мониторинга внедрено многокритериальное устройство контроля опасных факторов пожара, защищенное патентом на полезную модель. Каждая из функциональных подсистем системы поддержки управления реализованы в виде отдельного программного комплекса, информационные и аналитические компоненты которого прошли государственную регистрацию в Роспатенте. Система информационной поддержки управления в виде единой совокупности технических и программных решений защищена патентом на изобретение.

Структура системы информационной поддержки управления (СИПУ) построена по иерархическому принципу и включает высший, средний и низовой уровни иерархии, в рамках которых на основе разработанных многокритериальных моделей и методов поддержки управления реализованы функциональные подсистемы. Общий вид иерархической структуры системы представлен на рисунке 5.

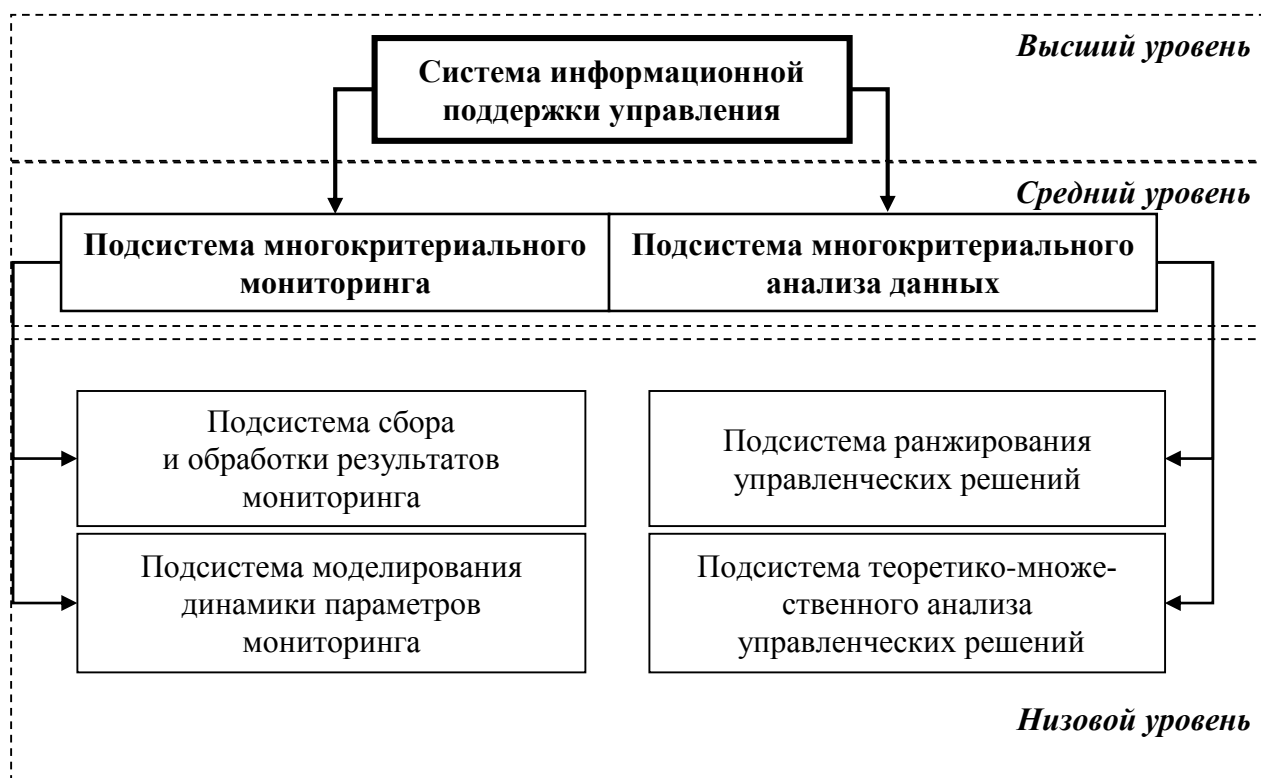


Рисунок 5 – Иерархическая структура системы поддержки управления

Подсистема многокритериального мониторинга динамики пожара в здании предназначена для сбора и обработки результатов мониторинга пожара, а также для восполнения недостающих значений параметров мониторинга с помощью модели клеточных автоматов.

На рисунке 6 указано рабочее поле подсистемы, где на схеме фрагмента этажа здания на основе технологии адаптивного проектирования размещены средства мониторинга динамики пожара и их зоны контроля.

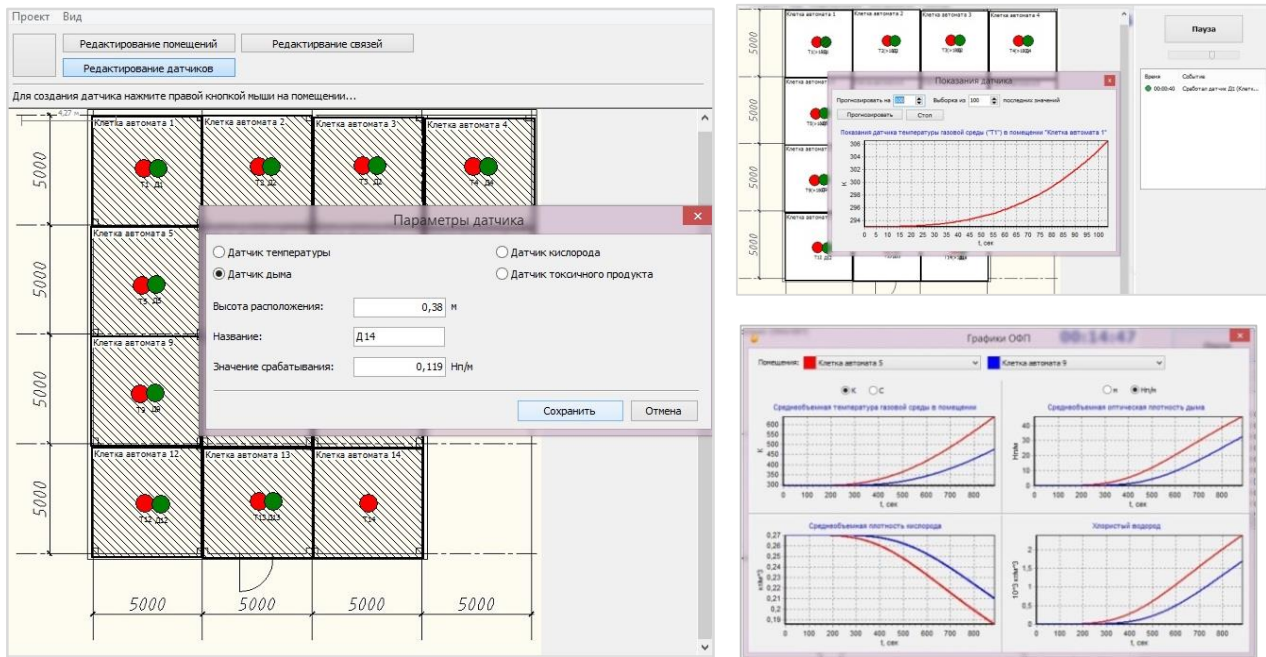


Рисунок 6 – Подсистема многокритериального мониторинга динамики пожара

Подсистема многокритериального анализа реализует метод поддержки принятия решений на основе дистанционного мониторинга динамики пожара в здании. Результатом в данной подсистеме является ранжирование управленческих решений в порядке предпочтительности для выбора.

Рабочее поле подсистемы многокритериального анализа управленческих решений представлено на рисунке 7.

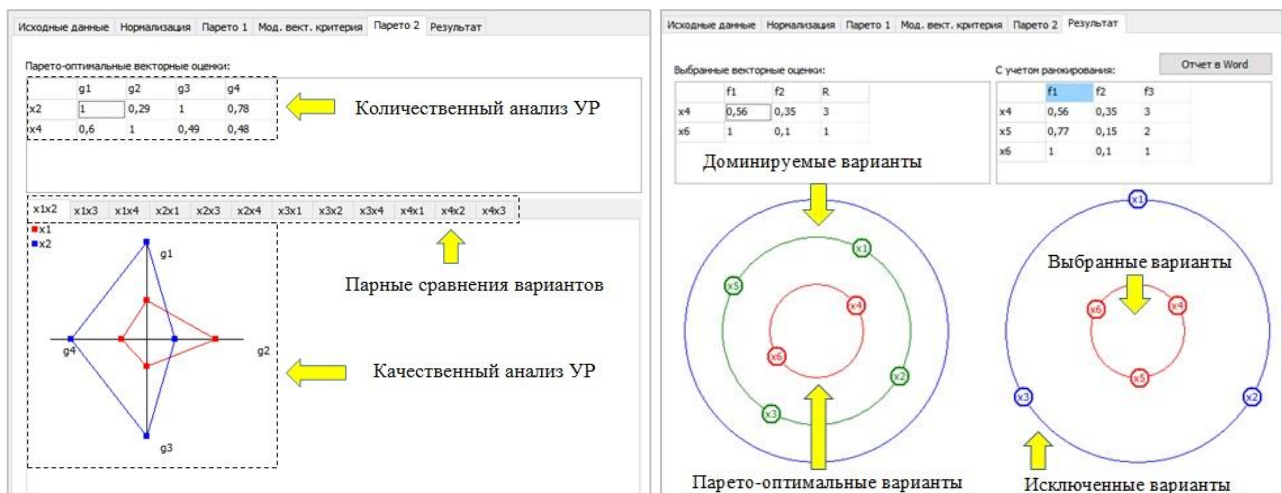


Рисунок 7 – Подсистема многокритериального анализа результатов мониторинга

При построении структуры вариантов управленческих решений используется процедура парных сравнений. Для визуализации данной процедуры разработан способ графического анализа векторных оценок вариантов управленческих решений, предусматривающий их представление в виде лепестковой диаграммы, в которой оси совпадают с критериями выбора, а сама векторная оценка представляется в виде выпуклого многогранника.

Проверка принципа оптимальности по Парето предусматривает визуализацию сравниваемых векторных оценок, и включает анализ двух условий:

- если грани многогранников имеют пересечения, то соответствующие им векторные оценки являются парето-оптимальными;
- если пересечений граней многогранников нет, то это значит, что векторная оценка, которой соответствует фигура с большей площадью, исключает из дальнейшего анализа векторную оценку с фигурой меньшей площади.

Примеры парных сравнений векторных оценок при проверке на парето-оптимальность представлены на рисунке 8.

Визуализация векторных оценок при трех критериях

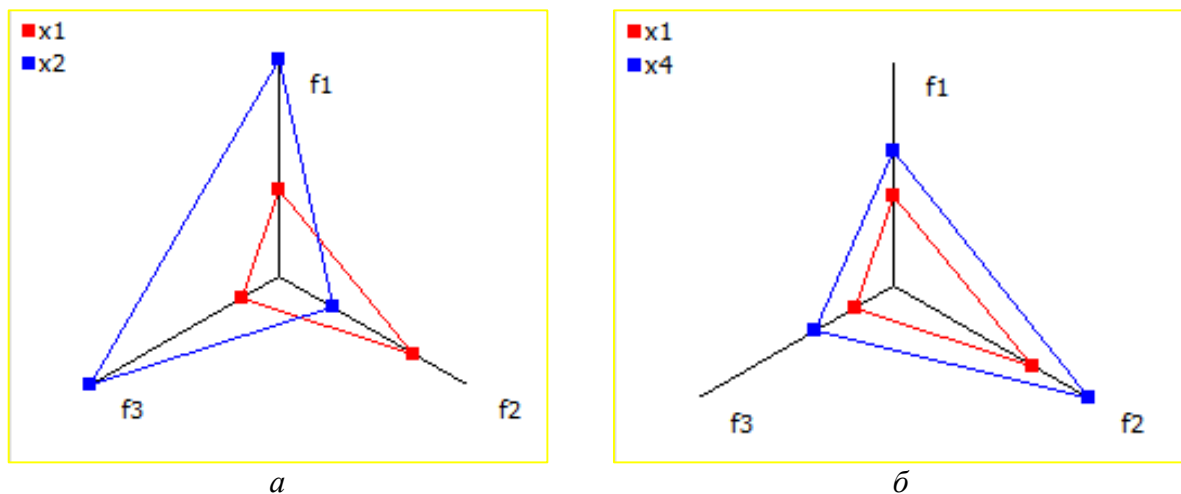


Рисунок 8 – Визуализация парных сравнений векторных оценок:
a – ситуация соответствует парето-оптимальным векторным оценкам;
б – ситуация соответствует исключению одной из векторных оценок.

Для апробации СИПУ использован многоагентный подход и разработана ее компьютерная модель. С помощью данной модели создано программное обеспечение для тренажерных комплексов, используемых для подготовки пожарных и спасателей к выполнению действий по тушению пожаров в зданиях и сооружениях. Разработаны методические рекомендации по использованию СИПУ в процессе проведения разведки пожара и при пожарно-тактических учениях. Предложены способы применения информационной системы поддержки управления при тушении пожаров в зданиях социальной сферы, химической и текстильной промышленности, объектов энергетики.

В главе 6 «Оценка эффективности системы поддержки управления пожарными подразделениями» произведено исследование эффективности системы информационной поддержки управления при тушении пожаров в зданиях на основе двух количественных показателей: 1 – показатель тактических возможностей пожарных подразделений (микроуровень эффективности); 2 – показатель качества информационного обеспечения действий по тушению пожаров (макроуровень эффективности). Исследование проведено в форме экспериментальных пожарно-тактических учений, в результате которых разработаны локальный и интегральный показатели эффективности СИПУ.

Локальный показатель эффективности СИПУ задается выражением:

$$\Delta\tau = \frac{\alpha_n \cdot F \cdot N^n}{60} \cdot \exp(\beta \cdot N), \text{ мин} \quad (44)$$

где $\Delta\tau$ – локальный выигрыш во времени от применения СИПУ, мин; N – номер этажа здания; α_n и β – константы модели ($\alpha_1 = 0,04$; $\alpha_2 = 0,012$; $\beta = -0,4$); F – общая площадь здания, м²; $n = 1$ – при прокладке рукавных линий по маршам лестничной клетки; $n = 2$ – при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки или опускании рукавной линии вниз снаружи здания.

Интегральный показатель эффективности СИПУ задается выражениями:

для $n = 1$:

$$\Delta\tau_m = \frac{\alpha_1 S}{60\beta^2 k} [(\beta k - 1)\exp(\beta k) + 1], \text{ мин;} \quad (45)$$

для $n = 2$:

$$\Delta\tau_m = \frac{\alpha_2 S}{60\beta^3 k} [((\beta k - 1)^2 + 1)\exp(\beta k) - 2], \text{ мин.} \quad (46)$$

Для оценки эффективности применения СИПУ на микроуровне использован количественный относительный показатель тактических возможностей пожарных подразделений, определяемый по формуле:

$$\Delta = \frac{\Delta\tau_m \cdot k}{T_{\text{оч}}} 100\%, \quad (47)$$

где k – коэффициент, учитывающий условия работы в здании ($k = 2,5$ в нормальных условиях и $k = 3$ при сложных условиях работы); $\Delta\tau_m$ – интегральный показатель эффективности СИПУ, мин; $T_{\text{оч}}$ – допустимое время поиска очага пожара в здании звеном ГДЗС, мин.

Результаты анализа значений показателя Δ , % представлены на рисунке 9.

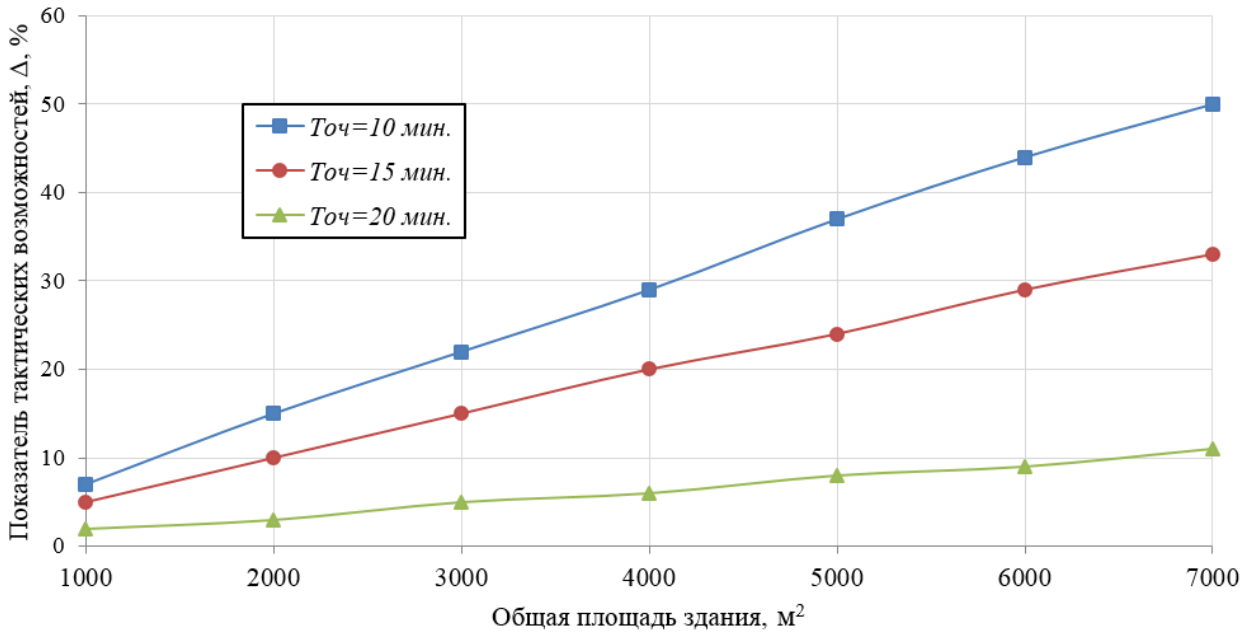


Рисунок 9 – Значения показателя тактических возможностей пожарных подразделений Δ , %

Анализ значений показателя тактических возможностей пожарных подразделений показал улучшение ситуации при тушении пожаров в зданиях с применением СИПУ на 50 %.

Для оценки эффективности СИПУ на макроуровне применен показатель качества информационного обеспечения действий по тушению пожара в здании рассчитываемый по формуле:

$$S = \frac{P^* - P}{P^*} 100\%, \quad (49)$$

где P – вероятность обнаружения очага пожара в здании площадью F группой разведки в составе $N_{ГДЗС}$ звеньев ГДЗС за время τ ; P^* – вероятность обнаружения очага пожара в здании площадью F с использованием группы разведки в составе $N_{ГДЗС}$ звеньев ГДЗС с применением СИПУ.

Соответствующие вероятности P , P^* и τ^* рассчитаны по формулам:

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{\tau^*}\right), \quad P^* = 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{\tau^* - \Delta\tau_m}\right), \quad \tau^* = \frac{F}{U}, \quad (50)$$

где τ^* – среднее время поиска очага пожара в здании группами разведки в составе $N_{ГДЗС}$ – звеньев ГДЗС, мин; $\Delta\tau_m$ – интегральный критерий эффективности СИПУ, мин; U – производительность группы разведки при поиске очага пожара в здании, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$.

Результаты оценки соответствующих вероятностей P и P^* поиска очага пожара в здании группами разведки в составе 1 и 2 звеньев ГДЗС представлены на рисунке 10.

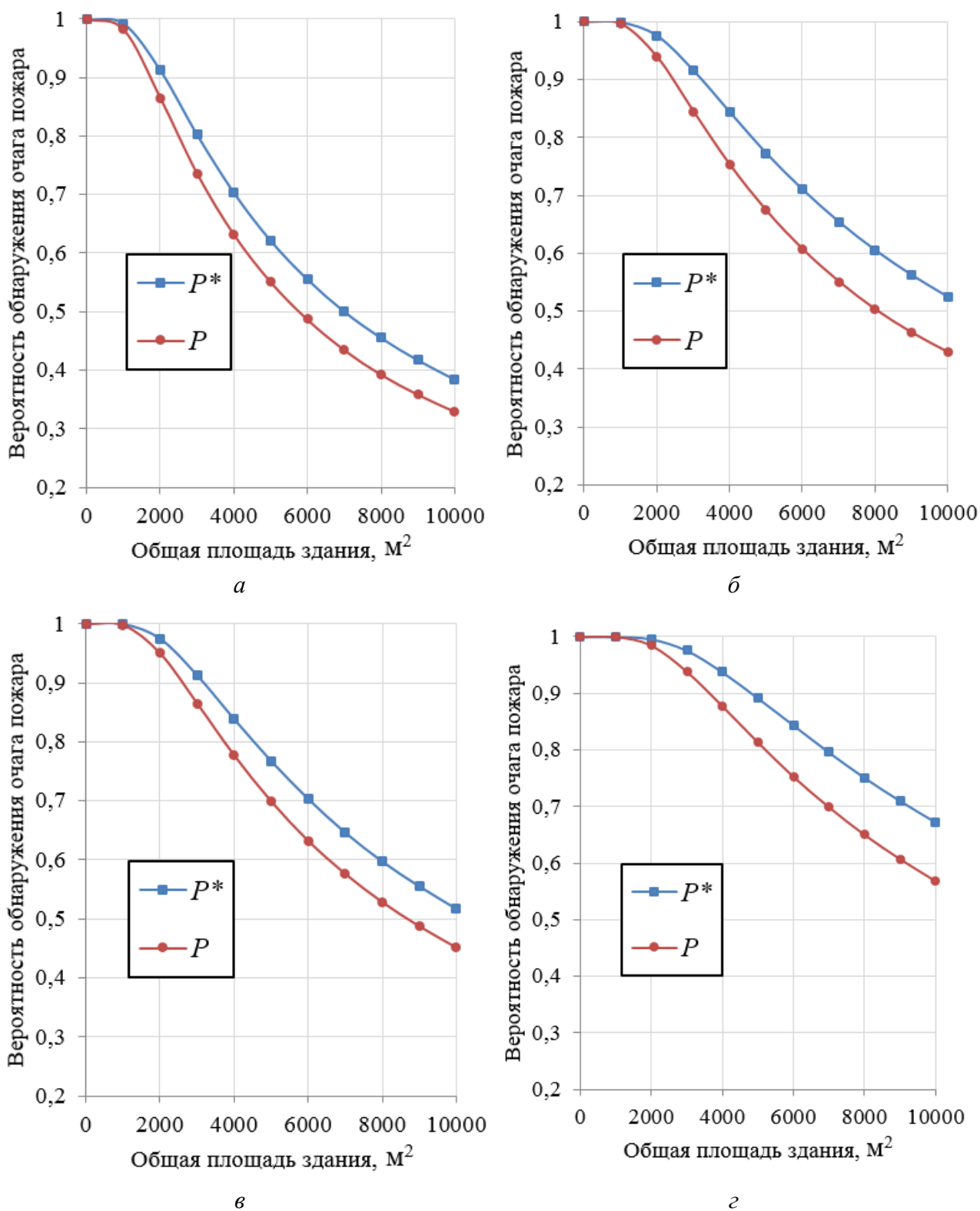
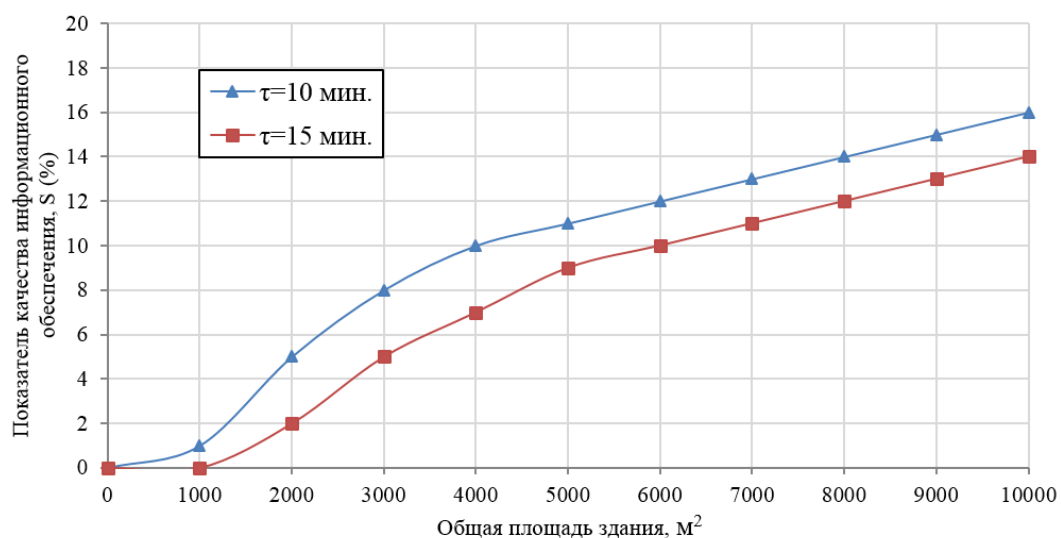


Рисунок 10 – Значения вероятностей P и P^* для случаев:

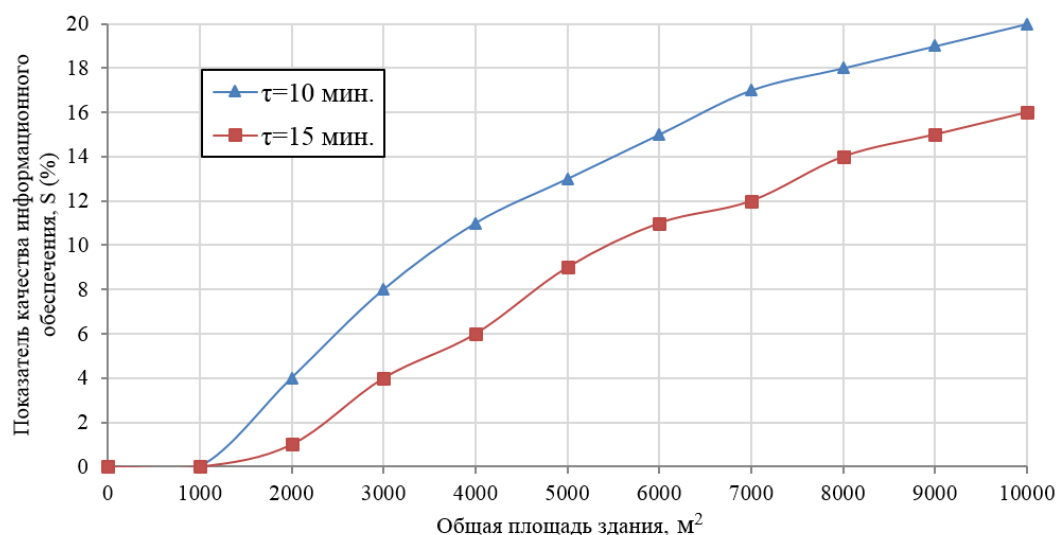
а: $\tau = 10$ мин, $N_{ГДЗС} = 1$; б: $\tau = 15$ мин, $N_{ГДЗС} = 1$

в: $\tau = 10$ мин, $N_{ГДЗС} = 2$; г: $\tau = 15$ мин, $N_{ГДЗС} = 2$.

Результаты расчета показателя качества информационного обеспечения действий по тушению пожара в здании с применением системы информационной поддержки управления представлены на рисунке 11.



а



б

Рисунок 11 – Значения показателя качества информационного обеспечения S , %:

а – $N_{ГДЗС}=1$; б – $N_{ГДЗС}=2$

Анализ значений критерия S при использовании групп разведки в составе 1 и 2 звеньев ГДЗС, оборудованных средствами индивидуальной защиты, показал повышение качества информационного обеспечения действий по тушению пожара в здании до 20 %.

Для экономической оценки целесообразности применения СИПУ в комплексе противопожарной защиты зданий были рассмотрены два варианта использования системы в совокупности с автоматической пожарной сигнализацией и автоматической установкой пожаротушения. Показано, что применение системы информационной поддержки управления экономически целесообразно.

В приложениях представлены статистические данные по пожарам в зданиях на территории России, регрессионные модели действий по тушению пожаров, статистическая обработка экспериментальных данных, результаты экономической оценки применения системы информационной поддержки управления и акты внедрения результатов исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты, полученные в процессе решения научной проблемы, состоящей в разрешении противоречия между характером информации, получаемой от систем мониторинга динамики пожара в здании и существующими формализованными процедурами поддержки принятия управленческих решений при ликвидации пожаров в зданиях, состоят в следующем:

1. Разработана многокритериальная модель мониторинга динамики параметров пожара в здании, представляющая собой совокупность аналитических решений системы дифференциальных уравнений Колмогорова. Разработана модель клеточных автоматов, описывающих процесс развития и тушения пожара в здании. Результаты моделирования динамики параметров мониторинга пожара в здании определили возможность создания новых технических устройств контроля факторов пожара, объединенных в единую систему мониторинга пожара в здании, применяемую для управления пожаротушением, в том числе с использованием пожарных подразделений.

2. Разработан метод моделирования мониторинга динамики пожара в здании, позволяющий использовать количественные параметры мониторинга пожара в совокупности с параметрами динамики пожара, получаемыми посредством моделирования. На основе предложенного метода разработаны процедуры цифровой обработки информации, получаемой от систем мониторинга пожара в здании, с использованием качественных состояний пожара при определении количественных значений параметров мониторинга пожара.

3. Разработан многокритериальный метод поддержки принятия управленческих решений на основе количественной информации, получаемой от систем мониторинга пожара в здании. В качестве теоретической основы метода использован принцип оптимальности по Парето, что позволяет при реализации процедуры многокритериального выбора вариантов управленческих решений использовать количественные параметры мониторинга пожара в совокупности с параметрами моделирования действий пожарных подразделений.

4. Разработаны методы определения значений показателей важности в многокритериальных моделях выбора управленческих решений. При разработке методов сформулированы и доказаны утверждения о важности критериев принятия решений. Предложены системы линейных уравнений показателей важности в моделях ранжирования и теоретико-множественного анализа векторных оценок критериев, решение которых осуществлено методом Крамера.

5. Произведена многокритериальная постановка, формализация и решение частных задач управления пожарными подразделениями при тушении

пожаров в зданиях на основе информации, получаемой от системы мониторинга динамики пожара. Решение задач управления произведено с использованием разработанного многокритериального метода поддержки управления. В качестве дополнительного источника информации о важности критериев применены модели регрессионного анализа, объединенные в функцию аналогичную производственной функции Кобба – Дугласа, что позволило использовать свойства линейной однородности показателей важности и исключить из совокупности исходных данных субъективные показатели.

6. Разработана многоагентная технология моделирования поддержки управления при тушении пожаров в зданиях с использованием результатов мониторинга пожара. Технология предназначена для создания систем моделирования процедур поддержки управления для тактической подготовки пожарных.

7. Разработана система информационной поддержки управления пожарными подразделениями на основе динамики показателей мониторинга пожара в здании. Система является теоретической основой программно-аппаратного комплекса информационной поддержки принятия управленческих решений на основе результатов мониторинга параметров пожара в здании, созданного в рамках концепции формирования единого информационного пространства для управления службами экстренного реагирования на деструктивные события в городах и населенных пунктах.

8. Разработаны и экспериментально обоснованы показатели эффективности системы поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях. На основе предложенных показателей разработаны процедуры оценки эффективности применения системы на микроуровне – показатель тактических возможностей пожарных подразделений и на макроуровне – показатель качества информационного обеспечения действий по тушению пожара, используемый для модификации метода оценки уровня противопожарной защиты зданий. Показано, что на микроуровне применение системы позволяет повысить эффективность реализации действий по тушению пожара на 50 %, на макроуровне – на 20 %.

9. Произведена экономическая оценка эффективности применения системы поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях в совокупности с функциональными подсистемами активной противопожарной защиты зданий – автоматической пожарной сигнализацией и автоматической установкой пожаротушения. Определено, что внедрение системы экономически целесообразно.

Разработанные в диссертации многокритериальные модели и методы, в совокупности составляющие теоретические основы многокритериального моделирования процесса принятия управленческих решений, позволяют исследовать широкий класс задач поддержки управления пожарными подразделениями на основе результатов мониторинга динамики пожара. Практическое применение теоретических результатов в виде системы информационной поддержки управления позволяет снизить субъективность и повысить оперативность процесса принятия управленческих решений при тушении пожаров в зданиях.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Тараканов, Д.В. Эволюция структуры управления силами и средствами на пожаре [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Терещнев, А.О. Семенов // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17. – № 4. – С. 10–16.
2. Тараканов, Д.В. О терминах и определениях [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Терещнев, А.В. Подгрушный [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – Т. 18. – № 3. – С. 21–28.
3. Тараканов, Д.В. Метод модификации векторного критерия для поиска наилучшего решения [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Терещнев, С.В. Баскаков // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2010. – № 2. – С. 23–29.
4. Тараканов, Д.В. Совершенствование системы управления аварийно-спасательными формированиями при ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, В.В. Булгаков, А.О. Семенов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2010. – № 4 (32). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-4/13-04-10.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).
5. Тараканов, Д.В. Метод модификации векторного критерия в системе поддержки принятия решения при тушении крупного пожара [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2010. – № 2. С. 12. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-2/01-02-10.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018)
6. Тараканов, Д.В. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Терещнев, А.О. Семенов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 9. – С. 51–57.
7. Тараканов, Д.В. Функция выбора наилучшего решения при двух критериях [Текст] / Д.В. Тараканов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2010. – № 1. – С. 24–27.
8. Тараканов, Д.В. Организация взаимодействия подразделений и служб при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на объекте химической промышленности [Текст] / Д.В. Тараканов, А.Н. Лабутин, А.О. Семенов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2011. – № 4. (28) – С. 105–110.
9. Тараканов, Д.В. Алгоритм многокритериального выбора вариантов расстановки сил и средств при тушении пожаров с применением имитационного моделирования [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2011. – № 4 (38). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-4/02-04-11.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).
10. Тараканов, Д.В. Компьютерный модуль системы поддержки принятия решений при тушении крупных пожаров [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов, В.В. Булгаков // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2011. – № 1 (35). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/03-01-11.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

11. Тараканов, Д.В. Агентно-ориентированное моделирование системы управления подразделениями при ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах химической промышленности [Текст] / Д.В. Тараканов, А.Н. Лабутин, А.О. Семенов, // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 3 (27). – С. 94–99.

12. Тараканов, Д.В. Методика многокритериальной оценки эффективности тушения пожаров на объектах химической промышленности [Текст] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов, А.Н. Лабутин // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2012. – № 3 (31). – С. 101–104.

13. Тараканов, Д.В. Алгоритмы формализации информации об относительной важности показателей эффективности действий по тушению пожаров на объектах химической промышленности [Текст] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов, А.Н. Лабутин // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2012. – № 2 (30). – С. 95–97.

14. Тараканов, Д.В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Терехнев, А.О. Семенов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 10. – С. 14–17.

15. Тараканов, Д.В. Методика определения показателей предпочтительности вариантов действий по ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах [Текст] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов, А.Н. Лабутин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2012. – № 3. – С. 51–54.

16. Тараканов, Д.В. Математическая модель развития пожара в системе помещений [Текст] / Д.В. Тараканов, С.В. Федосов, А.М. Ибрагимов [и др.] // Вестник МГСУ. – 2013. – № 4. – С. 121–128.

17. Тараканов, Д.В. Алгоритмы принятия решений при тушении пожаров на объектах химической промышленности [Текст] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов, А.Н. Лабутин // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56. – № 1. – С. 105–106.

18. Тараканов, Д.В. Компьютерная модель ликвидации пожаров для тактической подготовки пожарных [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, И.Ф. Саттаров // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2014. – № 6 (58). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/07-06-14.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

19. Тараканов, Д.В. Компьютерное моделирование процессов развития и тушения пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2014. – № 5 (57). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-5/38-05-14.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

20. Тараканов, Д.В. Критерии оценки вариантов переоснащения подразделений МЧС России [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, В.В. Роечко, С.А. Шкунов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2014. – № 5 (57). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-5/39-05-14.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

21. Тараканов, Д.В. Алгоритм прогнозирования температуры газовой среды в здании при пожаре по данным мониторинга [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, Н.Г. Топольский, Е.С. Варламов [и др.] // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2014. – № 4 (56). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-4/25-04-14.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

22. Тараканов, Д.В. Алгоритм ранжирования управленческих задач в системе поддержки принятия решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, Н.Г. Топольский, // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2014. – № 2 (54). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-2/04-02-14.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

23. Тараканов, Д.В. Обоснование метрологических характеристик информационных компонентов системы пожарной автоматики [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Пицык, Л.В. Суховерхова [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 3. – С. 45–51.

24. Тараканов, Д.В. Методика оценки уровня переоснащения подразделений МЧС России на примере субъектов Северокавказского регионального центра МЧС России [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Роевко, С.А. Шкунов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 3. – С. 31–36.

25. Тараканов, Д.В. Метод многокритериального ранжирования вариантов управления тушением пожаров в зданиях [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, В.А. Смирнов, А.О. Семенов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2016. – № 6 (70). – С. 72–75. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-6/30-06-16.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

26. Тараканов, Д.В. Многоагентная система моделирования тушения пожаров в социальных зданиях [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2016. – № 5 (69). – С. 118–125. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/39-05-16.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

27. Тараканов, Д.В. Метод многокритериального выбора маршрутов движения пожарных в зданиях при тушении пожаров [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2016. – № 4 (68). – С. 120–128. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-4/36-04-16.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

28. Тараканов, Д.В. Об оценке динамики температуры газовой среды пожара в здании по её мониторингу в смежной зоне [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, С.П. Бобков // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2016. – № 3 (67). – С. 107–111. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-3/10-03-16.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

29. Тараканов, Д.В. Модель мониторинга для оперативного управления при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций [Текст] / Д.В. Тараканов, М.О. Баканов, М.В. Анкудинов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2017. – № 3 (32). – С. 77–80.

30. Тараканов, Д.В. Методика оценки эффективности мониторинга состояния пожаров в зданиях [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, М.О. Баканов, А.О. Семенов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2017. – № 3 (73). – С. 97–102. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-3/32-03-17.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

31. Тараканов, Д.В. Многокритериальная модель управления пожарно-спасательными подразделениями [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2017. – № 4 (74). – С. 148–154. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-4/28-04-17.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

32. Тараканов, Д.В. Ранжирование вариантов переоснащения парка основных пожарных автомобилей на основе критерия оперативной готовности [Текст] / Д.В. Тараканов, С.А. Шкунов, В.В. Роечко [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 2. – С. 49–54. DOI: 10.25257/FE.2018.2.49-54.

33. Тараканов, Д.В. Совершенствование модели качества мониторинга крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций [Текст] / Д.В. Тараканов, М.О. Баканов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2018. – № 1 (26). – С. 91–95.

34. Тараканов, Д.В. Применение многоагентного подхода для поддержки управления безопасностью в техносфере [Текст] / Д.В. Тараканов, А.В. Смирнов, Р.Ш. Хабибулин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22. – № 1 (132). – С. 118–133.

35. Тараканов, Д.В. Автоматизированная информационная система связи и управления пожарно-спасательными подразделениями [Текст] / Д.В. Тараканов, М.О. Баканов, М.А. Колбашов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 2–3. – С. 20–26. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.20-26.

36. Тараканов, Д.В. Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями [Текст] / Д.В. Тараканов, Н.Г. Топольский, М.О. Баканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 5. – С. 26–33. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.26-33.

37. Тараканов, Д.В. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций [Текст] / Д.В. Тараканов, М.О. Баканов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 1 (373). – С. 173–177.

Монография:

38. Тараканов, Д.В. Модели мониторинга и управления при ликвидации крупных пожаров [Текст]: монография / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов, М.О. Баканов. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – 128 с.

Патенты на изобретение и полезную модель:

39. Пат. на изобретение № 2605682. Система информационной поддержки управления звеньями газодымозащитной службы при ликвидации пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов; заявл. 18.08.2015, опублик. 27.12.2016. Бюл. № 36.

40. Пат. на полезную модель №160293. Модуль пожаротушения с устройством контроля факторов пожара и результатов его действия [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, А.В. Долговидов, А.М. Мацук; заявл. 02.11.2015, опубл. 10.03.2016. Бюл. № 7.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

41. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017663753 от 11.12.2017 г. Программное обеспечение для мониторинга состояния беспроводной адресной системы пожарной сигнализации и пожаротушения «Гарант-Р» [Текст] / М. А. Мацук, Е.С. Варламов, А. М. Мацук, Д.В. Тараканов; заявл. 23.10.2017, опубл. 11.12.2017.

42. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017661392 от 11.10.2017 г. Программа для расчета показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных гарнизонов [Текст] / В.А. Смирнов, Д.В. Тараканов, А.В. Кузнецов, Д.Ю. Палин; заявл. 19.12.2016, опубл. 11.10.2017.

43. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016614747 от 04.05.2016 г. Программа для моделирования работы системы поддержки управления ликвидацией пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов; заявл. 11.03.2016, опубл. 20.06.2016.

44. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016615814 от 30.05.2016 г. Программа для многокритериального анализа вариантов в системе поддержки принятия решений при ликвидации пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов; заявл. 12.04.2016, опубл. 20.06.2016.

45. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015612865 от 26.02.2015 г. Программа для оперативного прогнозирования динамики пожара в здании по данным мониторинга температурных полей [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов; заявл. 30.12.2014, опубл. 20.03.2015.

46. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015612925 от 26.02.2015 г. Программное средство для разработки электронных документов предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов, М.В. Илеменов; заявл. 30.12.2014, опубл. 20.03.2015.

47. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015619987 от 18.09.2015 г. Программа для расчетного обоснования геометрических характеристик размещения тепловых кумулятивных пожарных извещателей [Текст] / А.В. Балаба, А.М. Мацук, М.А. Мацук, Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов; заявл. 07.07.2015, опубл. 20.10.2015.

48. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015661870 от 11.11.2015 г. Виртуальный тактический симулятор ликвидации пожаров в зданиях объектов социальной сферы [Текст] / И.Ф. Саттаров, Д.В. Тараканов; заявл. 25.09.2015, опубл. 20.12.2015.

49. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014614899 от 12.05.2014 г. Программное средство для реализации алгоритма ранжирования вариантов распределения ресурсов пожарных подразделений по участкам тушения пожара [Текст] / В.В. Терещнев, Д.В. Тараканов, М.В. Илеменов; заявл. 24.02.2014, опубл. 20.06.2014.

50. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014614314 от 22.04.2014 г. Метод оценки уровня пожарной опасности промышленных предприятий [Текст] / Д.В. Тараканов, Н.Г. Топольский, А.П. Баранов; заявл. 13.03.2014, опубл. 20.05.2014.

51. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013612151 от 15.02.2013 г. Система моделирования развития и тушения пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов; заявл. 24.12.2012, опубл. 20.03.2013.

Публикации в других изданиях:

52. Тараканов, Д.В. Руководство по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров на начальных этапах развития в зданиях с использованием информации от мониторинговых систем поддержки управления [Текст] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов, М.О. Баканов [и др.]. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – 35 с.

53. Тараканов, Д.В. Принятие решений при управлении силами и средствами на пожаре [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Терещнев, А.Е. Богданов [и др.]. – Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2012. – 100 с.

54. Тараканов, Д.В. Оценка влияния величины скорости выгорания на расчёт динамики ОФП на объектах энергетики [Текст] / Д.В. Тараканов, Ю.А. Кошмаров, С.С. Лапшин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 2. – С. 40–44.

55. Тараканов, Д.В. Динамика ОФП в помещении, смежном с очагом пожара [Текст] / Д.В. Тараканов, Ю.А. Кошмаров, С.С. Лапшин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 1. – С. 67–75.

56. Тараканов, Д.В. Основы организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Терещнев, А.О. Семенов [и др.]. – Екатеринбург: Калан, 2008. – 390 с.

57. Тараканов, Д.В. Формирование структуры нештатной системы управления силами и средствами на месте пожара [Текст] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов // Системы безопасности – 2008: материалы 17 МНПК. – М.: АГПС МЧС России, 2008. – С. 239–241.

58. Тараканов, Д.В. Аналитические математические модели аварийно-спасательных и других неотложных работ, осуществляемых в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций [Текст] / В.В. Терещнев, В.А. Грачев, Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность: материалы VI МНПК. – Иваново: ИГПС МЧС России, 2008. – С. 134–138.

59. Тараканов, Д.В. Применение многокритериальных задач принятия решений при тушении крупных пожаров [Текст] / Д.В. Тараканов, В.В. Терещнев // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXI МНПК. Ч. 2. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2009. – С. 299–301.

60 Тараканов, Д.В. Метод многокритериальной оптимизации в системе поддержки принятия решений при тушении крупных пожаров [Текст] / Д.В. Тараканов // Системы безопасности – 2010: материалы 19 МНПК. – М.: АГПС МЧС России, 2010. – С. 145.

61. Тараканов, Д.В. Инструментальные подходы управления и их применение при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций [Текст] / Д.В. Тараканов, А.Н. Лабутин, А.О. Семенов // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-24: материалы XXIV МНПК. – Саратов, 2011. – С. 156–157.

62. Тараканов, Д.В. Программный комплекс имитации развития и тушения пожаров в ограждениях [Текст] / Д.В. Тараканов, А.Н. Лабутин, В.В. Волков [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IX МНПК. – Иваново: ООНИ ИВИ ГПС МЧС России, 2012. – С. 166–167.

63. Тараканов, Д.В. Метод разработки систем поддержки принятия решений по тушению пожаров на объектах социальной сферы [Текст] / Д.В. Тараканов // Системы безопасности – 2013: материалы 22 МНПК. – М.: АГПС МЧС России, 2013. – С. 182–184.

64. Тараканов, Д.В. Модель динамики опасных факторов пожара в системе смежных помещений [Текст] / Д.В. Тараканов, М.Ю. Овсянников, Р.А. Соловьев, С.С. Лапшин [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IX МНПК. – Иваново: ИГПС МЧС России, 2013. – С. 62–65.

65. Тараканов, Д.В. Программные средства для создания электронных документов планирования действий по тушению пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IX МНПК. – Иваново: ИГПС МЧС России, 2013. – С. 127–130.

66. Тараканов, Д.В. Концепция разработки систем поддержки принятия решений при тушении пожаров на социальных объектах города [Текст] / Д.В. Тараканов, М.В. Илеменов // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IX МНПК. – Иваново: ИГПС МЧС России, 2013. – С. 192–193.

67. Тараканов, Д.В. Программное средство для разработки электронной карточки тушения пожара [Текст] / Д.В. Тараканов, М.В. Илеменов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы ВМПК. – Воронеж: ВИ ГПС МЧС России, 2014. – С. 151–153.

68. Тараканов, Д.В. Прогнозирование динамики пожара в здании по данным мониторинга температурных полей [Текст] / Д.В. Тараканов, Н.Г. Топольский // Проблемы управления безопасностью сложных систем – 2014: труды XXII МНПК. – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 252 – 254.

69. Тараканов, Д.В. Программное средство для разработки компьютерного плана тушения пожара в здании [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов // Проблемы техносферной безопасности – 2014: материалы III МНПК молодых ученых и специалистов. – М.: АГПС МЧС России, 2014. – С. 109–111.

70. Тараканов, Д.В. Прогнозирование динамики пожара в здании по данным мониторинга [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IX МНПК. – Иваново: ИГПС МЧС России, 2014. – С. 174–175.

71. Тараканов, Д.В. Метод прогнозирования динамики пожара в здании по данным мониторинга [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов // Системы безопасности – 2014: материалы 23 МНПК. – М.: АГПС МЧС России, 2014. – С. 209–210.

72. Тараканов, Д.В. Компьютерное моделирование тушения пожаров для тактической подготовки пожарных [Текст] / Д.В. Тараканов, И.Ф. Саттаров // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы IV МНПК. – М. АГПС МЧС России, 2015. – С. 165–167.

73. Тараканов, Д.В. Оценка эффективности применения информации от адресных систем обнаружения пожара при поиске очага пожара в здании [Текст] / Д.В. Тараканов, А.О. Семенов, Б.Б. Гринченко // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы IV МНПК. – М.: АГПС МЧС России, 2015. – С. 160–164.

74. Тараканов, Д.В. Применение методов моделирования пожара при планировании действий пожарных подразделений по тушению пожара [Текст] / М.В. Тараканов, М.В. Илеменов // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: материалы II ВНПК. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2015. – С. 132–133.

75. Тараканов, Д.В. Система информационной поддержки управления звеньями газодымозащитной службы при ликвидации пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность: материалы X МНПК. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2015. – С. 185–186.

76. Тараканов, Д.В. Мультипликативная функция для выбора маршрутов движения к очагу пожара внутри здания в условиях ограниченной видимости [Текст] / Д.В. Тараканов, Б.Б. Гринченко // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: МНПК. – М.: АГПС МЧС России, 2016. – С. 195–199.

77. Тараканов, Д.В. Компьютерная модель ликвидации пожаров в зданиях объектов социальной сферы [Текст] / Д.В. Тараканов, И.Ф. Саттаров // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы Международной научно-практической конференции. – М. АГПС МЧС России, 2016. – С. 92–95.

78. Тараканов, Д.В. Компьютерный симулятор ликвидации пожаров в зданиях объектов социальной сферы [Текст] / Д.В. Тараканов, И.Ф. Саттаров // Проблемы техносферной безопасности – 2016: материалы V МНПК. – М.: АГПС МЧС России, 2016. – С. 304–308.

79. Тараканов, Д.В. Математическая модель мониторинга состояния пожара в здании [Текст] / Д.В. Тараканов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сборник материалов VII ВНПК. Ч. 1. – Воронеж: ВИ ГПС МЧС России, 2016. – С. 200–202.

80. Тараканов, Д.В. Система мониторинга пожара в здании [Текст] / Д.В. Тараканов // Системы безопасности – 2016: материалы 25 МНТК. – М.: АГПС МЧС России, 2016. – С. 281–282.

81. Тараканов, Д.В. Система информационного обеспечения действий по ликвидации пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XI МНПК. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2016. – С. 321–324.

82. Тараканов, Д.В. Концепция разработки компьютерных тренажеров по организации пожаротушения в городах [Текст] / Д.В. Тараканов, А.В. Кузнецов, И.Ф. Саттаров [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XI МНПК. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2016. – С. 326–327.

83. Тараканов, Д.В. Моделирование динамики параметров мониторинга пожара в здании на основе клеточных автоматов [Текст] / Д.В. Тараканов, Н.Г. Топольский // Системы безопасности – 2016: материалы 25-й МНТК. – М.: АГПС МЧС России, 2016. – С. 585–588.

84. Тараканов, Д.В. Технико-экономическое обоснование применения системы поддержки управления при тушении пожаров в зданиях лечебных учреждений [Текст] / Тараканов Д.В., Толкачев О.Г. // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XII МНПК. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. – С. 379–382.

85. Тараканов, Д.В. Модели для автоматизированного проектирования кумулятивной системы обнаружения пожара [Текст] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.А. Мацук // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов V ВНПК. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2018. – С. 54–59.

86. Тараканов, Д.В. Многокритериальная модель управления пожарно-спасательными подразделениями на основе мониторинга пожара в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов, А.В. Наумов, П.Н. Коноваленко [и др.] // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов V ВНПК. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2018. – С. 449–452.