

На правах рукописи



Денисов Алексей Николаевич

**МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ
ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ
ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ**

Специальность:

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени доктора
технических наук

Москва - 2018

Работа выполнена на кафедре информационных технологий (в составе учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий) ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (Академия ГПС 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: **Качанов Сергей Алексеевич**
Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заместитель начальника по научной работе ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий)»

Таранцев Александр Алексеевич
Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»

Белозеров Валерий Владимирович
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Ведущая организация: ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России»

Защита диссертации состоится «28» июня 2018 г. в 12.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 205.002.01 при Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии Государственной противопожарной службы МЧС России и на сайте <http://academygps.ru/upload/iblock/85c/85cf5eade426bb249ac478521a90d551.pdf>

Автореферат разослан «11» апреля 2018 г.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью 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 темы исследования связана с тем, что взрывное развитие нового экономического уклада (нанотехнологии, телекоммуникации, образование, химико-металлургический комплекс, ракетно-космическая промышленность, растениеводство и здравоохранение), трансформация рынка труда, изменение социального статуса и экономических условий жизни граждан не могут происходить без трансформации системы обеспечения пожарной безопасности. Составной частью системы обеспечения пожарной безопасности являются силы и средства пожарно-спасательных подразделений, осуществляющие тушение пожаров.

В этих условиях актуальными становятся задачи расширения разнообразия оперативно-тактических и инженерно-технических мероприятий при управлении тушением пожара, сокращения длительности обслуживания вызова, обеспечения параметров нормативного реагирования, создания условий для эффективного использования всех видов имеющихся сил и средств. Решение этих задач предусматривает необходимость коренной перестройки форм и методов поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории, пересмотр традиционных правил при организации управления на основе совершенствования методов решения управленческих задач на месте пожара и принятия решений в целях обеспечения слаженности и стабильности пожаротушения.

Владение методологией поддержки управленческих решений при пожаре необходимо, поскольку знание конкретных особенностей локальных решений на конкретном объекте и методов их поддержки обеспечит старшее должностное лицо при пожаре эффективным инструментом для анализа складывающейся обстановки и выбора действий для осуществления рациональной альтернативы процедуры управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре.

Процесс поддержки управления, если он рационально организован, способствует повышению корректности взаимодействия и координирования деятельности различных пожарно-спасательных подразделений в процессе планирования управленческих решений, даёт возможность повысить оперативность их принятия, а также сократить промежуток времени между выявлением проблемы при разведке и осуществлением разработанных решений, это исключительно важно для повышения эффективности работы в условиях тушения пожара на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории. Разработка предметно ориентированных методов, моделей и алгоритмов повышения научного, а также методических уровней поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре предполагает необходимость разработки теоретических основ и методического подхода, обеспечивающих необходимые условия для формализации, генерирования, обоснования, постановки и реализации оперативных управленческих решений.

Поддержка управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре представляет собой поддержание режима деятельности и реализацию программы по достижению основной задачи при тушении пожара. Она

заключается в том, что позволяет руководителю тушения пожара принимать обоснованные управленческие решения за «приемлемое время» при локализации и ликвидации пожаров на основе комплексной оценки складывающейся оперативно-тактической обстановки, с прогнозированием её основных параметров, и позволяет сократить время на подготовку принятия решения, а также выдачу рекомендаций.

Степень разработанности темы. Существенный вклад в исследование систем и проблем управления, методологии принятия управленческих решений и их анализа внесли зарубежные и российские ученые: Alter S.L., Bertalanfi L. fon., Blyeir D.H., Dzharratano D., Eom S.B., Fishbern P., Gig Dzh. van, Ginzberg M.J., Keen P.G.W., Kini R.L., Mesarovich M., Michael C. Jackson, Nauman Ye., Pollak R.Ye., Raifa H., Raili G., Saati T.L., Scott Morton M.S., Simon H.A., Uotermen D., Yeshbi U.R., а также другие авторы.

Методология системного подхода (Болтянский В.Г., Бурков В.Н., Кульба В.В., Ларичев О.И., Моисеев Н.Н., Новиков Д.А., Петровский А.Б., Прангишвили И.В., Пригожин И.Р., Трахтенгерц Э.А., Черноуцкий И.Г., Шапиро Д.И. и др.) предполагает рассмотрение проблем во взаимной увязке с организационными, технологическими и экономическими показателями и факторами всей объемлющей иерархической инфраструктуры, процессов обеспечения пожарной безопасности: Абдурагимов И.М., Артамонов В.С., Белозеров В.В., Брушлинский Н.Н., Гаврилей В.М., Глуховенко Ю.М., Демехин Ф.В., Евграфов П.М., Кафидов В.В., Качанов С.А., Коробко В.Б., Косоруков О.А., Матюшин А.В., Мешалкин Е.А., Микеев А.К., Минаев В.А., Ноженкова Л.Ф., Овсяник А.И., Порошин А.А., Пранов Б.М., Прус Ю.В., Седнев В.А., Семиков В.Л., Соколов С.В., Таранцев А.А., Тетерин И.М., Топольский Н.Г., Харисов Г.Х., Членов А.Н. и другие авторы.

Ключевые теоретические выводы и практические рекомендации содержатся в исследованиях приведенных авторов, тем не менее круг некоторых вопросов этой проблематики требует дальнейшего изучения, а именно вопросы методологии поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров и их результативности в условиях ведения оперативно-тактических действий при пожаре на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории, на которой существует угроза жизни и здоровью граждан, имуществу. В силу многогранности ряд вопросов проблематики поддержки управления оперативными пожарно-спасательными подразделениями для принятия управленческого решения на введение сил и средств пожаротушения остаются не полностью изученными, а известные методы и модели поддержки принятия управленческих решений не всегда применимы по причине их узкой специализации, не всегда соответствуют условиям адекватности представления решений при пожаротушении, а также при оценке эффективности реализованных управленческих решений при пожаре.

Отличие данной работы от исследований названных авторов заключается в том, что в ней впервые разработан комплекс методов, моделей и алгоритмов, являющихся теоретической основой для поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями, при этом управление тушением пожара рассматривается как

параллельно-последовательный процесс, а моделирование управления силами и средствами пожаротушения осуществляется в минимально возможных и максимально допустимых граничных условиях (нормативных, расчётных).

Применяемый в большинстве пожарно-спасательных гарнизонах подход к поддержке управления имеет недостатки, значительными из которых являются: ограниченность сил и (или) средств для решения проблемы, недостаточное число специалистов необходимой квалификации, слабая обоснованность принятия управленческих решений и несогласованность действий различных экстренных оперативных служб и служб жизнеобеспечения при пожаре.

Для устранения этих недостатков требуется разработать и обосновать теоретические и методологические аспекты поддержки принятия управленческих решений в системе оперативного управления пожаротушением. Устранение приведенных недостатков обуславливает формулировку и актуальность темы диссертационной работы, цель и задачи исследования. Исследование проведено в соответствии с одним из основных научных направлений Академии ГПС МЧС России по решению организационно-управленческих задач Государственной противопожарной службы.

Объектом исследования являются оперативно-тактические действия пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров.

Предметом исследования является поддержка управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий.

Цель исследования – повышение эффективности управления пожарно-спасательными подразделениями при планировании и ведении оперативно-тактических действий на пожаре посредством разработки новых методов, моделей и алгоритмов поддержки управления.

В соответствии с целью исследования автором поставлены и решены следующие задачи:

1. Провести анализ показателей пожаротушения мобильными средствами.
2. Осуществить дискретизацию возможных состояний системы пожаротушения.
3. Сформировать практико-ориентированную систему основополагающих идей и знаний (понятий, принципов) поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и уровнях управления.
4. Разработать модели формирования и выбора целей для поддержки принятия решений по управлению пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров.
5. Разработать методы и алгоритмы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров.
6. Осуществить адаптацию предложенных методов, моделей и алгоритмов к предметной области обеспечения пожарной безопасности (создание, реорганизация и содержание подразделения пожарной охраны, а также поддержка мер организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на борьбу с пожарами).

В методологическую основу исследования положены труды зарубежных и российских ученых в области теории систем и проблем управления, принятия управленческих решений.

Методы исследования включают концептуальное моделирование, системный анализ, обыкновенные дифференциальные уравнения и дифференциальные уравнения в частных производных, элементы теории множеств, графов, игр, комбинаторики, анализа иерархий, управления и принятия решений, математической логики и функционального анализа.

Решаемая в работе научно-техническая проблема лежит в области исследований научной специальности 05.13.10 Управление в социальных и экономических системах и отвечает требованиям формулы этой специальности, так как решение этой проблемы направлено на разработку новых и совершенствование существующих методов, моделей и алгоритмов поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории с целью повышения эффективности и безопасности их функционирования.

Научная новизна заключается в том, что в диссертации впервые предложена теоретическая и методологическая база поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории, в частности:

- разработан единый методологический подход формализации, постановки и реализации задач планирования, управления и поддержки принятия решений руководителем пожарно-спасательного подразделения на месте пожара, позволяющий интерпретировать процесс оперативного управления при тушении пожаров тремя способами (алгебраически, матрично, на графах), с использованием сетей Петри;

- разработаны новые методы и модели поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями с точки зрения тактики тушения пожаров с возможностью их интеграции в компьютерную систему поддержки принятия управленческих решений;

- разработаны алгоритмы: принятия управленческого решения; упорядочения частных управленческих решений; решения управленческой задачи оптимизации структуры сил и средств; поддержки принятия управленческого решения о достаточности сил и средств для локализации пожара.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в развитии научных представлений и обосновании экономических, социальных и организационных закономерностей управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории; теории и методов поддержки управления, принятия решения, оценки в системе управления пожарно-спасательными подразделениями, а также методологии реализации функций руководителя тушения пожара при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории.

Проблематика исследования соответствует требованиям Федерального закона от 21.12.1994 г. № 69 «О пожарной безопасности», Указа Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации», Распоряжения правительства РФ от 14.07.2012 г. № 1273-р «Об утверждении перечня технологий, имеющих важное социально-экономическое значение или важное значение для обороны страны и безопасности государства (критических технологий)» в части «Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», Постановления Правительства РФ от 29 декабря 2007 г. № 972 «О федеральной целевой программе «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года» и Указа Президента РФ от 01.01.2018 г. № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года».

Разработки автора приняты на снабжение в системе МЧС России в виде программно-аппаратного комплекса автоматизированной геоинформационной системы поддержки принятия решений и оперативного управления подразделениями гарнизона пожарной охраны при предупреждении и ликвидации чрезвычайных ситуаций, тушении пожаров на территории субъекта Российской Федерации (приказ МЧС России № 225 от 03 апреля 2013 г.).

Результаты исследования применимы к использованию в процессах управленческого консалтинга и аудита пожарной безопасности объектов и систем, в учебном процессе образовательных учреждений.

Итоги исследования позволили актуализировать содержание учебных дисциплин «Пожарная тактика», «Пожаротушение», «Управление силами и средствами при тушении пожаров» и являются основой учебно-методического комплекса авторских учебных курсов обучения магистров по двум направлениям подготовки: 38.04.04 «Государственное и муниципальное управление», 20.04.01 «Техносферная безопасность» профиль «Пожарная безопасность»; студентов по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» и бакалавров по направлению подготовки 38.03.04 «Государственное и муниципальное управление» в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. Теоретические и методические положения используются при чтении лекций в системе дополнительного профессионального образования для руководящих работников пожарной охраны и военизированных горноспасательных подразделений.

Разработки автора приняты к практическому использованию и применению в подразделениях ФПС МЧС России, МОБ Вьетнама и частных аварийно-спасательных формированиях России, что подтверждено актами о внедрении.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод формализации и постановки задач управления пожарно-спасательными подразделениями на месте пожара, позволяющий представить информацию о пожаротушении в трех видах: матричном, алгебраическом и на графах с использованием сетей Петри.

2. Модели поддержки управления пожаротушением мобильными средствами, представленные в виде множества сетей Петри и с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений.

3. Метод распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий.

4. Метод поддержки принятия решения по тушению пожара.

5. Пространственно-временные методы поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями, относительно тактики пожаротушения, а именно: метод поддержки управления при фронтальном тушении пожара; метод поддержки управления при тыловом тушении пожара; метод поддержки управления при тушении пожара подготовленной атакой; метод поддержки управления при тушении пожара немедленной атакой; метод поддержки управления при тушении пожара окружением; метод поддержки управления при защитных мероприятиях.

6. Алгоритмы решения задач управления и принятия решений при тушении пожаров, включающие: принятие управленческого решения; упорядочение частных управленческих решений; решение управленческой задачи оптимизации структуры сил и средств; поддержка принятия управленческого решения о достаточности сил и средств для локализации пожара.

Степень достоверности результатов основана на корректности постановки задач, использовании апробированного математического аппарата, четкости и ясности выявляемых физических, технологических и социальных эффектов, в том числе на статистике социально-экономических и технических параметров пожаров и описаний пожаров, соответствии результатов вычислительных и натурных экспериментов реальным данным, а также широкой апробацией результатов диссертационного исследования на всероссийских и международных научных, научно-практических, научно-технических конференциях, публикацией результатов диссертации в центральной академической печати, апробацией результатов на основе сопоставления реальных данных и результатов расчетов на основе разработанного программного обеспечения.

Апробация результатов. Теоретические и практические результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на 6 всероссийских и 38 международных конференциях: научная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем», Москва, 2008–2010 гг.; научно-практические конференции: «Пожары и окружающая среда», Балашиха, 2002 г.; «Снижение риска гибели людей при пожарах», Балашиха, 2003 г.; «Актуальные проблемы пожарной безопасности», Балашиха, 2009 г.; «Актуальные проблемы пожарной безопасности на рубеже веков», Москва, 2003 г.; «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации», Гомель (Республика Беларусь), 2008–2010 гг.; «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы», Минск (Республика Беларусь), 2012 г.; «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы», Воронеж, 2013 г., 2016 г.; «Горение и проблемы тушения пожаров», Балашиха, 2017 г.; «Проблемы техносферной безопасности», Москва, 2012-2017 гг.; «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы» Кокшетау (Республика Казахстан), 2017 г.; «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций», Москва, 2017 г.; межведомственные научно-практические конференции: «Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации», Екатеринбург, 2009 г., 2012 г.; «Студенческая наука», Москва, 2011 г.; «Актуальные проблемы и инновации в

обеспечении безопасности», Екатеринбург, 2016 г.; международные научно-технические конференции «Пожарная безопасность XXI века», «Охранная и пожарная автоматика» (комплексные системы безопасности), Москва, 2006, 2008 гг.; «История пожарной охраны и современная пожарная охрана», Москва, 2016 г.; «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации», Москва, 2012–2016 гг.; «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» Кокшетау (Республика Казахстан), 2016 г.; «Системы безопасности», Москва, 2004–2017 гг.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 95 печатных трудах, включающих 42 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК России, 4 научные монографии, 7 свидетельств Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ и других.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации 406 страниц. Диссертация содержит 131 рисунок и 17 таблиц, приложения на 61 странице. Список литературы включает 471 источник.

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту научные положения разработаны соискателем лично. Все публикации, в том числе подготовленные в соавторстве, в которых отражено основное содержание диссертационной работы, были инициированы и спланированы автором. Экспериментальные данные, представленные в диссертации, получены лично соискателем и опубликованы в соавторстве с сотрудниками, работавшими совместно с автором в процессе выполнения исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, описываются объект, предмет и методы исследования, формулируются цель и задачи работы, представлены научная новизна и практическая значимость результатов, указаны средства обеспечения достоверности и обоснованности полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации, реализации и внедрении результатов работы, сведения о публикациях. Приведены сведения об объеме и структуре работы.

В главе 1 «Исследование методологических вопросов поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров» рассмотрены на двух уровнях (ментальном и языковом) системные связи и закономерности функционирования и развития системы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями (ПП) при тушении пожаров. Анализ статистических показателей оперативного реагирования ПП и описаний пожаров позволил выявить обобщенные показатели, характеризующие действия ПП при тушении тактически сложных пожаров в Российской Федерации. В настоящее время такие параметры оперативного реагирования и тушения пожара как время следования к месту вызова, время подачи первого пожарного ствола, время локализации и ликвидации пожара, площадь пожара используются в виде наиболее объективных характеристик эффективности деятельности ПП по тушению пожаров на разных уровнях управления ими. Коэффициенты детерминации трендов и прогнозов динамики этих показателей за исключением

времени следования во временном интервале с 1998 по 2008 годов близки к максимальному значению – 1, и низкие значения стандартных отклонений позволяют сделать вывод о том, что предлагаемые зависимости приемлемы для изучения процесса управления ПП на некотором ограниченном временном интервале, а также концептуально определить перспективы повышения эффективности управления силами и средствами ПП при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории.

Анализ взаимного влияния причинно-следственных связей и приоритетов в деятельности оперативных ПП на пожаре, сделанный на основе статистической выборки с 1998 года, принадлежащей одной генеральной совокупности фактов реализации управленческой задачи по тушению пожаров на территории страны на основе сформированных ориентированных графов с отрицательными (рис. 1.) и положительным значениям коэффициентов корреляции, позволил сделать ряд выводов среди которых: в настоящее время благодаря усилиям государства соблюдается баланс размещения пожарных депо на территории муниципальных образований, то есть пожарная охрана реализует цель № 1 методики определения числа и мест дислокации подразделений пожарной охраны и при увеличении фактического количества сил и средств (СиС) ПП, сосредоточенных для локализации пожара, снижается эффективность управления СиС ПП. Это характерно для пожаров на сложных в пожарно-тактическом отношении объектах, характеризующихся наличием на них большого количества людей, сложной планировкой и т. п., а также привлечением ПП по повышенным номерам вызова, управление которыми на пожаре является сложным многоуровневым процессом управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий (ОТД) ПП.

Обоснованы следующие критерии (рис. 2): понятия (теоретические, технологические и элементарные), правила, принципы, методы, необходимые для разработки моделей описания и оценок эффективности решения задач управления и принятия решений на пожаре. Формализован ряд производных, элементарных и теоретических понятий. Среди основных введенных и формализованных понятий: система управления ПП при тушении пожара; поддержка управления ПП при тушении пожара; качество; система пожаротушения мобильными средствами и др. А также выделены в качестве основных методологических принципов теории управления ПП при тушении пожаров следующие: целевой эффективности, развития, вариативности, обратной связи, избыточности, информационного баланса, ситуационности, информированности, а в качестве основных концептуальных утверждений – цель формализации и постановки задач управления, а также оценка эффективности решения задач управления при развитии и тушении пожара.

Определение 1. Оперативно-тактические действия – действия, предназначенные для реализации оперативно-тактических и инженерно-технических мероприятий (за исключением мероприятий по обеспечению первичных мер пожарной безопасности).

Общая доктрина управления ОТД ПП – это защита людей, имущества и окружающей среды от разрушения. Приоритет спасения жизни предшествует

спасению имущества или окружающей среды – это основное правило управления при пожаротушении. Это также относится и к безопасности самих пожарных. Причин, по которым можно подвергать опасности жизнь и здоровье пожарных, очень мало, и все их, вероятно, можно устранить, если участники ОТД обладают хорошим уровнем образования, есть исправное оборудование, приняты превентивные меры пожарной безопасности.

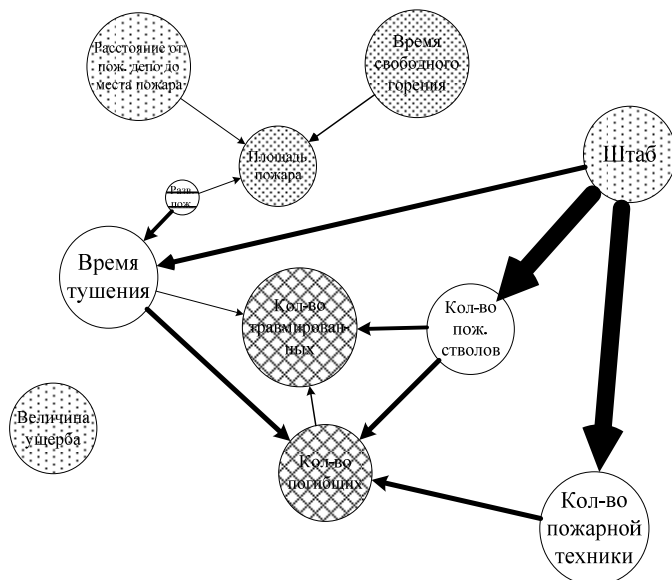


Рисунок 1 – Фрагмент графа причинно-следственных связей и приоритетов в деятельности оперативных ПП

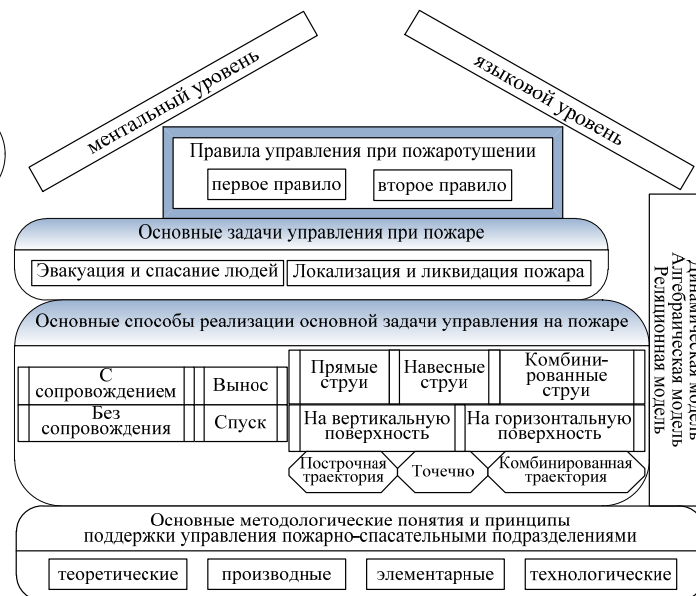


Рисунок 2 – Функциональная схема поддержки управления ПП

Определение 2. Поддержка управления ПП при тушении пожара представляет собой оперативное управление текущими событиями, приводящее к выбору ОТД среди нескольких альтернатив, причём каждый процесс принятия решений заканчивается выбором действия – координацией – и осуществляется на этапах оперативного планирования, оперативного учета, оперативного контроля.

Определение 3. Основное требование первого правила управления ПП при тушении пожаров – управляющее воздействие и постановка задач управления при ведении ОТД на пожаре должны быть формализованы в виде комплекса мер, которые оптимальны в аспектах времени и пространства, применяются на тактическом (оперативном, операционном) уровне управления и находятся в строгом соотношении к складывающейся ситуации.

В комплекс мер входит управленческое воздействие руководителя тушения пожара (РТП) на личный состав, заключающееся в организации подачи огнетушащих веществ (ОВ) с определенными интенсивностью (I_{ϕ} , л/с · м²) и расходом (Q_{ϕ} , л/с). При этом должны выполняться необходимое и достаточное условия:

$$I_{\phi} > I_{\text{тр}}; Q_{\phi} > Q_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{тр}}$, $Q_{\text{тр}}$ – соответственно требуемая интенсивность и расход ОВ.

Частный случай задачи оптимального управления РТП на пожаре ПП с целью реализации граничного условия (1) позволит сформулировать условия (необходимое и достаточное), удовлетворяющие оптимальному решению ($q^o(t)$,

$i^o(t)$) по подаче ОВ в минимальном объёме для целей тушения пожара, в виде теоремы.

Утверждение 1. Для того чтобы процесс управления подачей ОВ с целью локализации и ликвидации пожара $(q^o(t), i^o(t))$ был оптимален, необходимо и достаточно

$$f(t, q^o(t), i^o(t)) = \min_{(q, i) \in P^t} f(t, q, i), \text{ для } t > 0. \quad (2)$$

Доказательство. Необходимость. Пусть процесс управления подачей ОВ с целью локализации и ликвидации пожара $(q^o(t), i^o(t))$ оптимальный (удовлетворяется условие 2). Тогда это означает, что:

$$P^o(q^o(t), i^o(t)) \leq P(q(t), i(t)), \text{ при } (q(t), i(t)) \in P^t, t = 0, 1, \dots, t_{\text{лок}}. \quad (3)$$

Требуется доказать, что процесс управления удовлетворяет и условию (2). Для этого допустим от противного, что существует такое $t = T$, при котором условие (2) не выполняется. То есть существует такое $(q(T), i(T))$, для $t = T$, что

$$f(T, q(T), i(T)) < f(T, q^o(T), i^o(T)). \quad (4)$$

Для этого рассмотрим новый процесс управления $(q^{o1}(t), i^{o1}(t))$: $(q^{o1}(t), i^{o1}(t)) = (q^o(t), i^o(t))$, при $t \neq T$, и $(q(t), i(t))$, при $t = T$.

Осуществим определение функции пожаротушения P этого процесса:

$$P(q^{o1}(t), i^{o1}(t)) = \sum_{t=t_{\text{св}}}^t f(t, q^o(t), i^o(t)) + \sum_{t=t_{\text{св}}+1}^{t_{\text{лок}}} f(t, q^{o1}(t), i^{o1}(t)) + f(t, q(T), i(T)).$$

Преобразовав эту формулу относительно $P(q^o(t), i^o(t))$, получим:

$$P(q^o(t), i^o(t)) = \sum_{t=t_{\text{св}}}^t f(t, q^o(t), i^o(t)) + \sum_{t=t_{\text{св}}+1}^{t_{\text{лок}}} f(t, q^{o1}(t), i^{o1}(t)) + f(t, q^o(T), i^o(T)).$$

Сопоставив правые компоненты вышеприведённых равенств, делаем вывод о совпадении первых двух, третьи слагаемые удовлетворяют выражению (4), поэтому: $P(q^o(t), i^o(t)) > P(q^{o1}(t), i^{o1}(t))$; но это противоречит условию (3). Поэтому необходимость доказана.

Достаточность. Пусть процесс управления подачей ОВ ПП с целью локализации и ликвидации пожара $(q^o(t), i^o(t))$ соответствует утверждению 1. Требуется доказать, что для этого процесса управления выполняется (1).

Рассмотрим возможный процесс управления подачей ОВ ПП с целью локализации и ликвидации пожара $(q(t), i(t))$. В этом случае из выражения (2) возможно констатировать, что для любого $t = 0, 1, \dots, t_{\text{лок}}$:

$$f(0, q^o(0), i^o(0)) \leq f(1, q(0), i(0)), f(1, q^o(1), i^o(1)) \leq f(1, q(1), i(1)) \dots$$

$$f(t_{\text{лок}}, q^o(t_{\text{лок}}), i^o(t_{\text{лок}})) \leq f(t_{\text{лок}}, q(t_{\text{лок}}), i(t_{\text{лок}})).$$

Проводя почленное сложение, получим то, что левая и правая части неравенства являются значениями функции для процессов управления подачей ОВ $(t, q^o(t), i^o(t))$ и $(t, q(t), i(t))$:

$$\sum_{t=t_{\text{св}}}^{t_{\text{лок}}} f(t, q^o(t), i^o(t)) \leq \sum_{t=t_{\text{св}}}^{t_{\text{лок}}} f(t, q(t), i(t)) \text{ или } P(t, q^o(t), i^o(t)) \leq P(t, q(t), i(t)).$$

Из этого следует, что в результате реализации управленческого воздействия, направленного на подачу ОВ ПП с целью локализации и ликвидации пожара $(q(t), i(t))$ и явствует справедливость условия для процесса управления, $(q^o(t), i^o(t))$ – являющегося оптимальным. Поэтому достаточность доказана.

Использование этого определения ценно для постановки задач управления, основанных на расчете способности ПП к ОТД на пожаре. Наглядный пример его применения – это управление тушением пожара в ситуациях с неограниченным запасом ОВ. Если тактические возможности прибывающих сил слишком малы или время их применения недостаточно, то огонь вернёт свою первоначальную силу в течение короткого времени и все усилия ПП окажутся бесполезными.

Определение 4. Второе правило управления при пожаротушении – СиС ПП должны быть адекватны решаемой задаче в каждой точке времени и пространства.

Утверждение 2. СиС ПП должны быть адекватны решаемой оперативной управленческой задаче в каждой точке времени и месте пожара, а также прилегающей к нему территории, на которой существует угроза жизни и здоровью граждан, имуществу при тушении пожара.

Реализация задачи управления РТП (утверждение 1 и 2) по подаче ОВ в очаг пожара, на охлаждаемую поверхность или в защищаемую зону водяными пожарными стволами может осуществляться ствольщиками прямыми и навесными (рис. 3) струями.

Квалификацию ствольщиков на пожаре характеризует способность обеспечить необходимую зависимость глубины тушения пожарным стволом от типа здания и сооружения, в котором произошел пожар. Тем самым глубина тушения пожарным стволом является коэффициентом социальной эффективности, т.к. ствольщик с его помощью удовлетворяет потребителя своих услуг, ассортиментом и качеством услуг по локализации и ликвидации пожара.

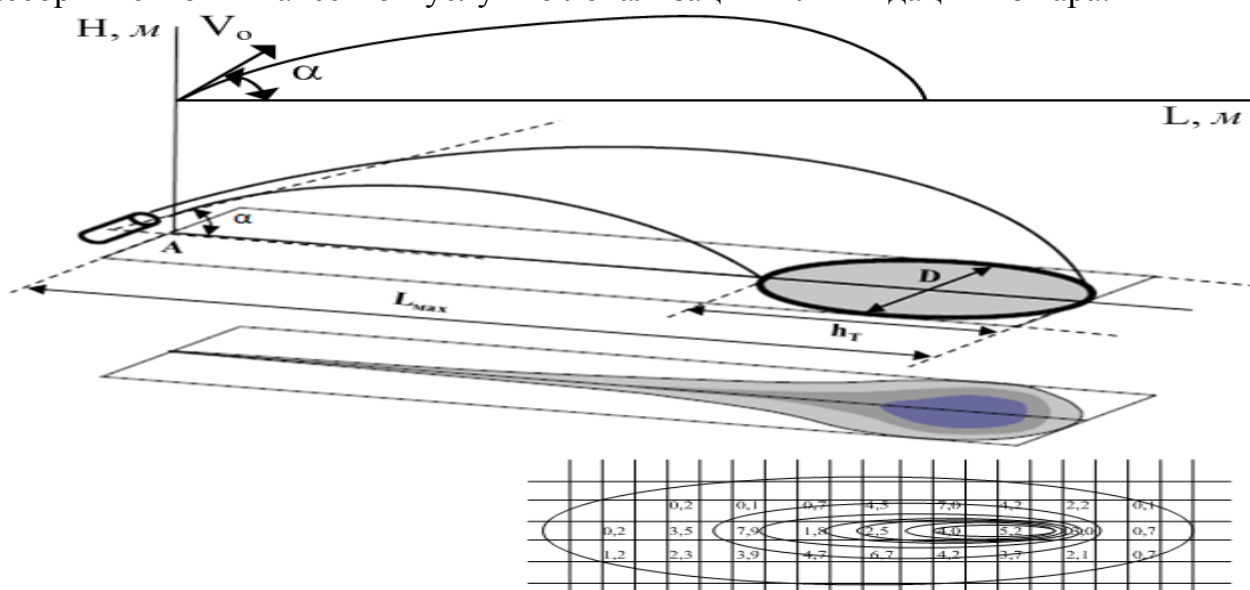


Рисунок 3 – Глубина и ширина полосы тушения пожарным стволом (навесная струя): A – место размещения пожарного ствола; α – угол наклона пожарного ствола, град; L_{MAX} – наибольшая дальность струи, м; h_T – глубина тушения пожарным стволом, м; D – ширина тушения пожарным стволом, м

На основе собственных исследований глубины орошения горячей поверхности (горизонтальной и вертикальной) водяными пожарными стволами как функции от основных гидравлических характеристик (расхода и напора перед насадком пожарного ствола) предложены значения зависимости глубины тушения пожарного ствола от типа здания и сооружения.

Функцию задачи управления РТП по подаче струи ОБ ствольщиками в очаг пожара представим в следующем виде:

$$POV(x, t) = I_{\phi}(t) \times \phi(x - x_o(t), p(t)), \quad t \geq t_o, \quad x \in X, \quad (5)$$

где I_{ϕ} – фактическая интенсивность подачи ОБ; $\phi(x, p)$ – форма пятна орошения струей ОБ (круг, эллипс, составная фигура и др.); t – время; $x_o(t)$ – координаты центра пятна орошения струей ОБ; $p(t)$ – параметр формы пятна орошения струей ОБ, в том числе определяющий степень концентрации ОБ.

Положим, что определен необходимый порядок управления ($POV_{mp}(x, t)$, при $t \geq 0$ и $x \in X$) и тип ОБ (т.е. мы знаем форму пятна орошения струей ОБ ($\phi(x, t)$) и граничные условия подачи этих средств (тушение объектов энергетики, химической промышленности, на больших площадях и т.д.):

$$I_{\phi}(t) \leq I_{mp}(t), \quad A \leq x_o(t) \leq B, \quad C \leq p(t) \leq D, \quad (6)$$

где I_{mp} – требуемая интенсивность подачи ОБ; A, B, C, D – значения конкретных параметров решения задачи управления непосредственно на пожаре.

Решение задачи управления ствольщиками при подаче ими ОБ заключается в том, чтобы определить такие значения функций ($I_{\phi}, x_o(t), p(t)$), благодаря которым равенство выполнялось:

$$POV_{mp}(x, t) = POV(x, t), \quad \text{при } t \geq 0 \text{ и } x \in X. \quad (7)$$

Определим задачу управления ствольщиками при подаче ими ОБ как вариационную задачу и для этого найдём такие значения функций ($I_{\phi}, x_o(t), p(t)$) для некоторого промежутка, что разница между решением требуемой и фактической задачи управления была минимальной:

$$\|POV_{mp}(x) - POV_{\phi}(x)\| \rightarrow \min. \quad (8)$$

Зададим траекторию движения пятна орошения струей ОБ (Tr) и её интенсивность (I). Необходимо определить управление ствольщиком ($y(t)$), при котором вариационная задача (8) достигнет минимума. Решим задачу для случая «построчной» траектории перемещения пятна орошения струей ОБ. Тогда под траекторией будем подразумевать отрезок $[a, b]$ непрерывной кусочно-гладкой кривой, частным случаем которого может быть отсутствие движения ($a=b$), и его длину обозначим L_{Tr} , при этом пятно орошения может перемещаться по всей необходимой для тушения пожара поверхности ($Tr \subset \Pi$).

Зададим траекторию движения в параметрическом виде: $a_l = A_l(l), b_l = B_l(l)$, при $l = [a, b]$, и допустив то, что центр пятна орошения струей ОБ совпадает с некоторой точкой ($z \in [a, b]$). Тогда найдём функцию движения центра пятна орошения струей ОБ. В этом случае параметрические уравнения траектории движения центра пятна орошения струей ОБ и его закон движения в полном объеме определяют местоположение центра пятна орошения струей ОБ на всей плоскости тушения пожара в любой момент реализации задачи управления: $a_l(t) = A_l(l(t)), b_l(t) = B_l(l(t))$.

Преимуществом данного представления является то, что вместо оперирования с двумя параметрами, работаем с одним ($l(t)$).

С целью исследования непосредственной реализации управленческого воздействия РТП завершающим этапом, которого является подача ОБ в очаг пожара, формализовано управление СиС ПП при тушении пожара с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений, при разработке которых были

приняты некоторые допущения: Плотность горючей нагрузки может быть полностью описана с помощью одной переменной (пренебрегаем неравномерным распределением горючей нагрузки). Тушение (результат воздействия ОВ (1) на горящую поверхность) происходит «мгновенно». Это означает, что мы пренебрегаем протекающими переходными процессами после попадания ОВ на горящую поверхность; личный состав всегда знает, где находится огонь, и его поиском, например, в пустотах не занимается. В качестве ключевых элементов используются площади пожара ($S_{п}, м^2$) и тушения ($S_{т}, м^2$) (рис. 4):

$$\begin{cases} \frac{dS_{п}}{dt} = k \cdot S_{п} - b \cdot S_{п}^2 - c \cdot S_{п} \cdot S_{т} \\ \frac{dS_{т}}{dt} = v \cdot S_{т} + e \cdot S_{п} \cdot S_{т} \end{cases}, \quad (9)$$

где v – скорость роста площади тушения пожара; c, e – коэффициенты пропорциональности, характеризующие влияние подачи ОВ на площадь пожара и тушения соответственно.

С целью исследования непосредственной реализации управленческого воздействия РТП (рис. 5) завершающим этапом, которого является подача ОВ в очаг пожара, модифицировав уравнение (9) с учётом допущений, и с учётом того, что тактические возможности ПП соответствуют рангу пожара и скорость тушения соответствует плотности горючей нагрузки, упрощаем (9):

$$\begin{cases} \frac{dS_{п}}{dt} = f_1(S_{п}) - S_{т} \cdot f_2(S_{п}) \\ \frac{dS_{т}}{dt} = v \cdot S_{т} + ep \cdot S_{п} \cdot f_2(S_{п}) \end{cases}, \quad (10)$$

где $f_1(S_{п}), f_2(S_{п})$ – скорость изменения площади пожара, ОВ не подаются и подаются соответственно; ep – эффективность пожаротушения.

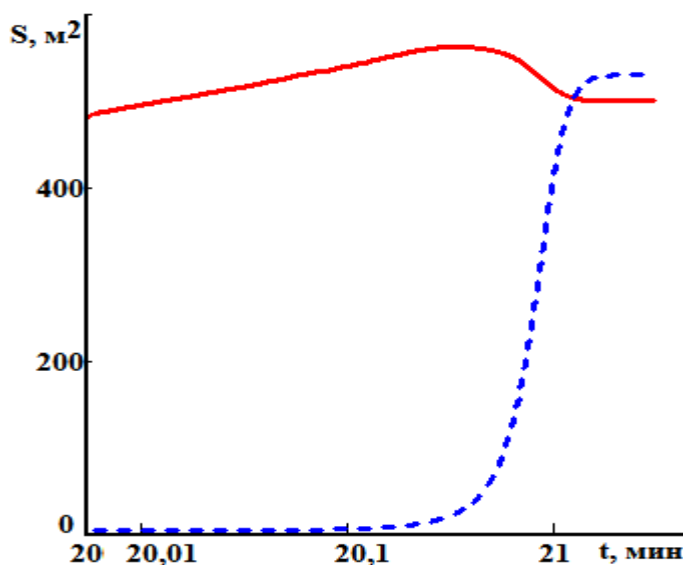


Рисунок 4 – Изменение площади пожара: — — площадь пожара на момент ввода пожарных стволов; ---- — площадь тушения

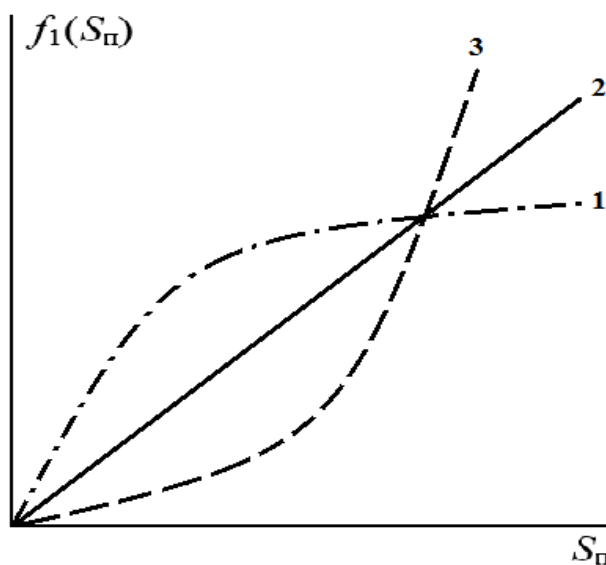


Рисунок 5 – Виды реализации управленческого решения РТП на подачу огнетушащих средств ПП: кривые 1 – эффективное, 2 – в соответствии с (9), 3 – не эффективное

Выражение (8) позволило сформулировать оценку эффективности управления ПП на пожаре:

$$P_a - P_{до} \rightarrow \min, \quad (11)$$

где P_a – исследуемый показатель (расход, интенсивность, затраты, стоимость, ущерб и т.п.) после тушения пожара (его анализа); $P_{до}$ – исследуемый показатель (расход, интенсивности, затраты, стоимость, ущерб и т.п.) при планировании ведения ОТД.

Сложность и проблематичность моделирования оперативного управления пожаротушения ПП заключаются в том, что: изменение оперативно-тактической ситуации на месте пожара характеризуется вариативностью и нечёткостью исходных данных; план тушения пожара не догма, так как возможны иные альтернативные варианты возникновения, развития и тушения пожара; не допустимо осуществлять моделирование, исходными данными которого являются исключительно данные тренировок, практических занятий и состязаний (соревнований по профессии).

Формализация СиС, используемых при ведении ОТД на пожаре в виде ресурсов пожаротушения: информационный (семантический – определяет и обеспечивает структурную устойчивость модели оперативного управления пожаротушением и прагматический – определяет содержательный характер процессов функционирования модели); материальный; энергетический (идентифицирует интенсивность моделируемых процессов) – позволила разработать модели описания управления пожаротушением (динамическая, алгебраическая, реляционная).

В главе доказано, что в области обеспечения пожарной безопасности мобильными средствами при существующих успех отсутствует единый комплексный подход к решению задач поддержки управления и принятия решений в системе управления ПП на месте пожара, что обуславливает необходимость дальнейших научных исследований.

В главе 2 «Формализация при моделировании управления пожарно-спасательными подразделениями на месте пожара» изложена концепция формального описания функциональных (процесных) характеристик системы управления ПП при тушении пожаров как элементов сети Петри, позволяющая описать процедуры синтеза и анализа системы управления на пожаре с точки зрения их структурных (узловых) характеристик.

Для данной предметной области сеть Петри формально представлена как набор характеристик вида:

$$P = \langle Poz_p, D_t, F, H, \mu_0, Z \rangle, \quad (12)$$

где Poz_p – позиция (конечное непустое множество состояний (p) мест для размещения органов управления, пожарной или приспособленной техники, пожарных стволов, позиций пожарного на месте пожара и т.п.); D_t – переход (конечное непустое множество событий (t), которые характеризуют возможность перехода из одной позиции в другую), элемент ОТД; $F: Poz_p \times D_t$ и $H: D_t \times Poz_p$ – функции входных и выходных величин (задаются матрицами $|D_{ti}, Poz_{pi}|$); μ_0 – начальная маркировка (представляет собой исходное расположение элементов сети ($Poz_p \rightarrow (0, 1, 2, \dots)$): органов управления, пожарной или приспособленной техники, пожарного оборудования, членов расчёта); Z – функции задержки маркеров.

Система управления пожаротушением структурирована в виде модифицированной сети Петри (12), которая состоит из системы сетей, при этом каждая сеть моделирует отдельные этапы тушения пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и формализует структуру управления (рис. 6):

$$P = \langle P^v, P^{p1}, P^{p2}, P^t, P^z, P^l, P^y, P^r, P^s, P^i \rangle, \quad (13)$$

где P^v – сеть, моделирующая возникновение и процесс распространения опасных факторов пожара (ОФП) (Φ_k) между позициями на тушение пожара; P^{p1} – сеть, моделирующая исходное размещение СиС пожаротушения и процесс их перемещения на позиции для организации тушения пожара; P^{p2} – сеть, моделирующая исходное размещение и процесс перемещения между позициями (m_{ik}) на тушение пожара СиС ПП для ликвидации ОФП; P^t – сеть, моделирующая процесс перемещения СиС пожаротушения между позициями при тушении пожара; P^z – сеть, моделирующая влияния ОФП на объекты, СиС пожаротушения; P^l – сеть, моделирующая процесс локализации и ликвидации ОФП сосредоточенными СиС на пожаре; P^y – сеть, моделирующая управление СиС при локализации, ликвидации ОФП; P^r – сеть, моделирующая создание и использование резерва СиС пожаротушения; P^s – сеть, моделирующая исходное размещение СиС пожаротушения и процесс их перемещения к месту вызова и возвращения в места дислокации; P^i – сеть, моделирующая информационный обмен на месте пожара.

Обосновано построение сети, моделирующей процесс перемещения ресурсов пожаротушения между позициями при тушении пожара. Для этого применён аппарат структурных матриц. Строится матрица M_t размерности $n_{poz} \times (n_z + n_{sis} + n_z n_{fsis})$, в которой n_z – числовое значение количества видов ресурсов пожаротушения, а n_{sis} – числовое значение количества видов ресурсов, сосредоточенных для ликвидации пожара. Строки этой матрицы последовательно отображают моделируемые позиции по тушению пожара, а в столбцы поместим: ресурсы пожаротушения (Zr_k); силы и средства (Sis_m); все возможные соответствия «ресурс – СиС» (Zr_k, Sis_m). В том случае, если существует необходимость исследования процесса перемещения СиС, ресурсов между позициями на тушение, только лишь с использованием СиС (личный состав подразделений сам может переместиться до позиции на тушение, в то время как для перемещения средств тушения может потребоваться специальная техника и оборудование), то для этого необходимо использовать третью группу столбцов. А именно каждой ячейке матрицы m_{ik} соотнесём наличие и потенциал ресурса пожаротушения, вида СиС и/или их сочетаний, конкретизирующей по строке ячейки, на позиции по тушению пожара (Poz_i). Если позиции по тушению пожара (Poz_i, Poz_j) объединены в участок тушения (или работают от одной единицы пожарной техники) и при этом на позиции перемещаются ресурсы Zr_k (или СиС Sis_m), то соответствующие клетки структурной матрицы m_{ik} и m_{jk} (m_{im} и m_{jm} для СиС) соединяются направленным отрезком. Построение описанной структурной матрицы и подобной ей для других подсетей автоматизируется приведённым в этой главе алгоритмом.

Вышеизложенное позволило формализовать и другие сети ($P^v, P^{p1}, P^{p2}, P^z, P^l, P^y, P^r, P^s, P^i$), моделирующие постановку и реализацию задач планирования и оперативного управления СиС на пожаре системы оперативного управления

пожаротушением, заключающуюся в формировании управленческого воздействия, максимально приближенного к заданным критериям старшего должностного лица на пожаре, взяв за основу структурную матрицу M_1 с её группами столбцов.

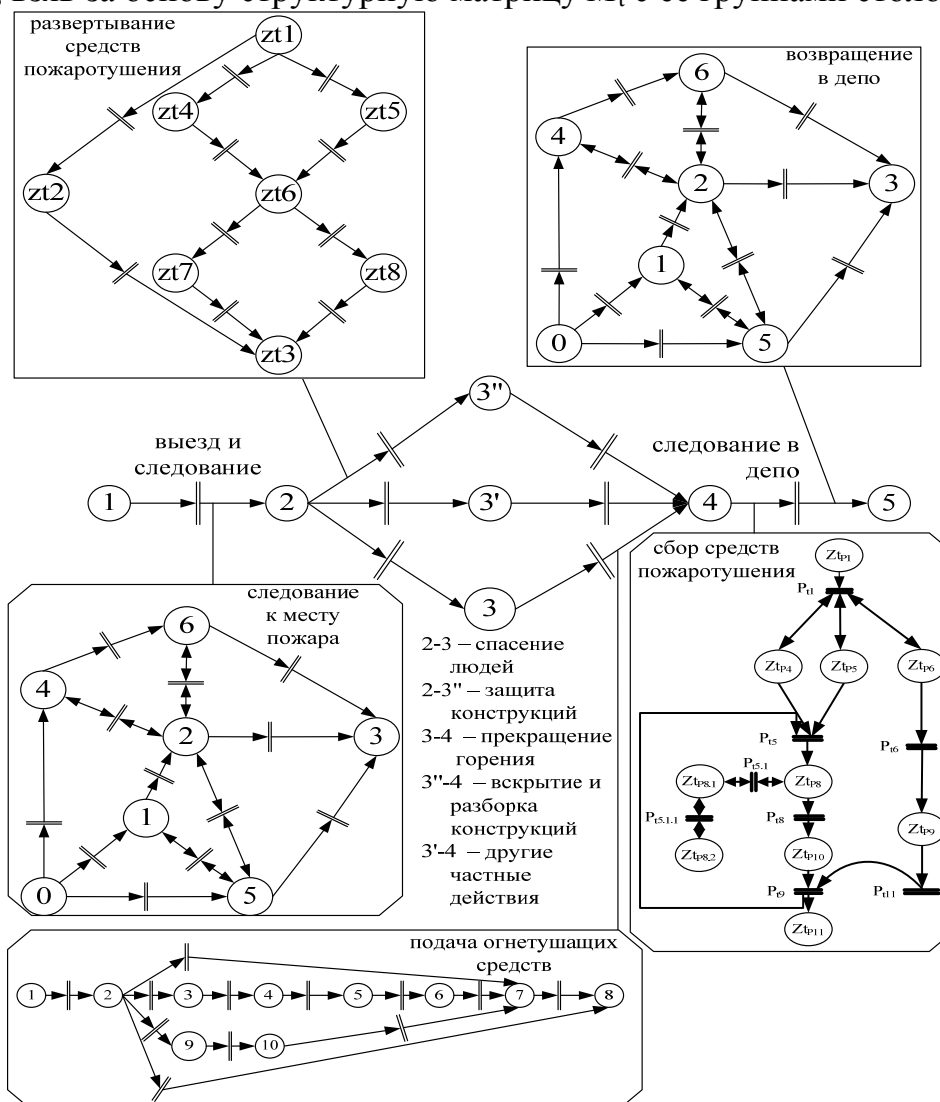


Рисунок 6 – Моделирование отдельных этапов управления при тушении пожаров сетью Петри: Ztx, цифры – позиции при ведении ОТД, Px – переходы между позициями

Проведённое имитационное моделирование управляемых переходов при управлении этапом работы пожарных на пожаре, заключающееся в рассредоточении имеющихся СиС для выполнения поставленной управленческой задачи в кратчайшие сроки, подтвердило корректность формализации.

Сущность метода формализации и постановки задач управления ПП на месте пожара заключается в разбиении на взаимодействующие базовые элементы комплекса ОТД на пожаре, с целью представления процесса их функционирования в виде сети Петри и допускающим алгебраическое, матричное и на графах их исследование (рис. 7). Методика его применения заключается в разложении процесса управления ПП при тушении пожаров на дискретные элементарные взаимодействующие между собой части (подпроцессы) – системные события (постановка задач управления), за каждой из которых закреплен определенный вид ОТД и (или) операции ОТД и условия ведения ОТД при пожаротушении на

конкретном объекте экономики, социальной инфраструктуры или прилегающей к ним территории.

События и условия представляются в виде: строк математических символов и динамической составляющей ОТД, описываемых индикаторными выражениями на основе рекуррентных уравнений, позволяющих облегчить обработку информации на ЭВМ; структурных матриц; визуального отображения взаимного взаимодействия и функционирования этих частей и их внутренних и внешних связей.

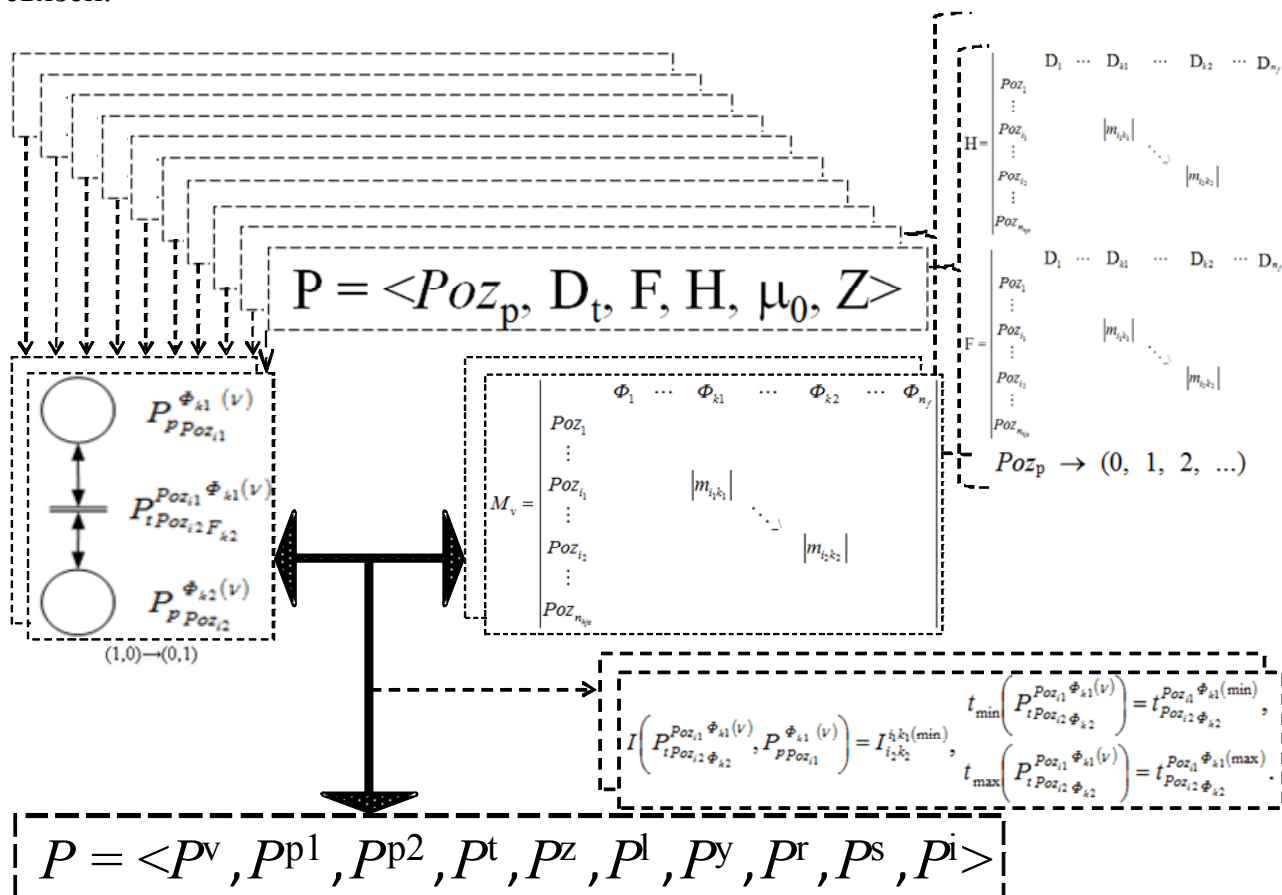


Рисунок 7 – Схема метода формализации структуры управления пожаротушением в виде сети Петри

Обоснована возможность и предложен алгоритм модификации предложенных моделей поддержки управления при пожаротушении для снижения их размерности в целях уменьшения времени, затрачиваемого на моделирование, что особенно важно в случае использования их непосредственно на месте пожара. При модификации моделей ОТД ПП предлагается формализовать три вида задач: общая задача управления СиС на пожаре; задачи подсистем сети оперативного управления; задачи координации системы управления.

В главе 3 «Метод и алгоритмы распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий» на основе анализа работ, посвященных задачам управления ПП, показано, что в основном методы и алгоритмы их решения разработаны для предварительного планирования ведения ОТД, в основу которых легли методы математической статистики и теории вероятности, нормирования и экспертных оценок. При этом вопросы рационального ситуационного планирования информационно-связанной, частично

упорядоченной совокупности параллельно-последовательных управленческих задач при организации управления пожаротушением достаточного развития не получили.

Поэтому актуально представить оптимальное упорядочение по времени и месту решения задач управления ПП и принятия решений при пожаротушении: графически (рис. 8); в виде идеализированного процесса ($P^{(r)}$, $r = \overline{1, 5}$ – ранг

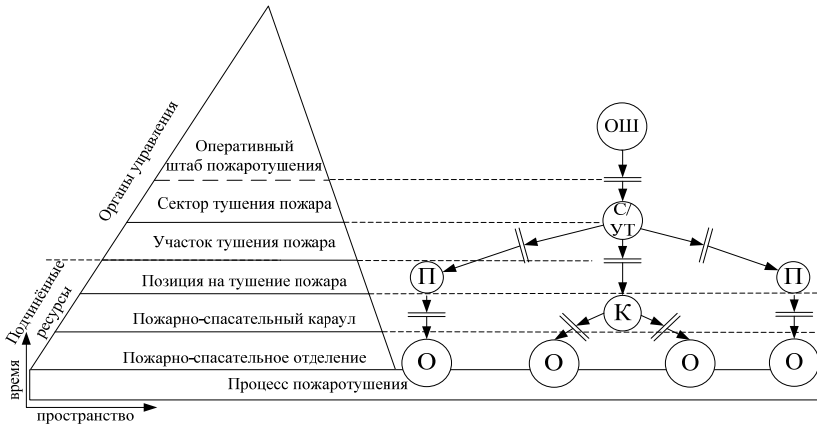


Рисунок 8 – Структура задач управления ПП и принятие решений при пожаротушении по времени и месту

пожара) управления СиС на пожаре и ведения связанных с ним аварийно-спасательных работ как массив, состоящий из отдельных этапов процесса – задач управления (оперативно-тактические задачи) и принятия решений (zt_1, zt_2, \dots, zt_n):

$$P^{(r)} = P(zt_1, zt_2, \dots, zt_n), \quad r = \overline{1, 5} \quad (14)$$

где zt_n – наименьшая, логически законченная часть процесса управления СиС на пожаре, реализуемая за определённое время (нормативное, расчётное) при помощи определённого состава СиС.

Математическая модель задачи управления (МЗУ) ПП для принятия оперативных управленческих решений в ситуативно подчинённой структуре управления на пожаре формируется из нескольких компонентов: органов управления (ОУ), подчинённым СиС (PR), процесса локализации и ликвидации пожара (14):

$$MZY = \begin{cases} OY = \{oy_a\}, & a = \overline{1, A} \\ PR = \{pr_b\}, & b = \overline{1, B} \\ P^{(r)} = \{zt_c\}, & c = \overline{1, C}, \quad r = \overline{1, 5} \end{cases} \quad (15)$$

где ОУ – логически законченный массив органов управления (штаб, сектор, участок, пост ГДЗС), разнесённых по А ситуативно подчинённым уровням структуры управления ПП на пожаре:

$$OY = \sum_{r=1}^5 \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B oy_a; \quad (16)$$

PR – логически законченный массив СиС пожаротушения. Для любого типа (вида) В определен их размер (количество), эквивалентный суммарному по величине ресурсу СиС того или иного пожарно-спасательного гарнизона (территориального или местного), осуществляющего свою деятельность в любой временной период $[0 \leq oy_a \leq P^{(r)}]$; $P^{(r)}$ – логически законченный массив управленческих задач при тушении пожара, предназначенных к осуществлению на конкретном пожаре с учётом текущих $[0 \leq oy_a \leq P^{(r)}]$ граничных условий:

- продолжительность выполнения поставленной задачи при тушении пожара под управлением определенного органа управления oy_a :

$\tau_i^a > 0$, $a = \overline{1, A}$, $i = \overline{1, I}$;

- интервалы продолжительности воздействия органа управления ou_a на ПСП:

$\tau_i^{oy} \in [\tau_0^{oy}, \tau_r^{oy}]$, $r = \overline{1, 5}$, $i = \overline{1, I}$;

- интервалы продолжительности схем согласованности действий при тушении пожара, согласованные с этапами и под этапами отображённых в документах предварительного планирования этих действий:

$\tau_r \subseteq \tau_{otd}$, $r = \overline{1, 5}$, $otd = \overline{1, OTD}$;

- частная последовательность идеализированного процесса локализации и ликвидации пожара, представленная в соответствии с положениями, изложенными в первой главе: $\forall (zt_i, zt_j) \in D \mid zt_i \langle zt_j, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$, для любой оперативной управленческой задачи при тушении, а также того или иного для её реализации ресурса СиС определено его значение, равное величине затребованного ресурса пожаротушения, необходимого для выполнения поставленной задачи при ведении ОТД;

- картель идеализированных массивов управленческих задач при тушении, осуществляемых исключительно на predetermined ступени иерархии при управлении СиС на пожаре $ZT^{(r)} = \bigcup_{OTD=1}^{OTD} ZT_{OTD}$, и управленческих задач при

тушении реализуемых на разных ступенях иерархии $ZT^{(r)} = ZT_{oy} \cup ZT_{pr}$;

- интервал времени $[\tau_{n_o}, \tau_{n_p}]$, содержащий минимально возможную величину расчётной (нормативной) длительности $\tau_{n_{min}} > 0$ выполнения p -го этапа пожаротушения $\tau_{n_{min}} \in [\tau_{n_o}, \tau_{n_p}]$;

- интервал распределения времени $\tau_r \subseteq \tau_{otd}$, $r = \overline{1, 5}$, $otd = \overline{1, OTD}$, содержащий такие значения оперативной обстановки на пожаре, как опасные факторы, воздействующие на СиС задействованные на месте ведения ОТД, $\phi_{п} \in \Phi_{п}$ и из окружающей среды, $\phi_i \in \Phi_i$, $i = \overline{1, I}$; ни один из массивов управленческих задач при тушении не может быть задействован параллельно в том случае, когда совокупность в их необходимости для b -го ресурса СиС превышает совокупный объём рассматриваемого ресурса, PR_b .

С целью решения задач управления и принятия решений на месте ведения ОТД (рис. 9) необходимо придать определённый порядок отдельным управленческим подзадачам, задачам при тушении, в каждом подмассиве ОТД $P_{otd}^{(r)}$, $r = \overline{1, 5}$, $otd = \overline{1, OTD}$, и найти такое разбиение множества на

подмножества $\bigcup_{otd=1}^{OTD} ZT_{otd}^{(r)}, \bigcup_{otd=1}^{OTD} ZT_{otd}^{(r)} = \emptyset$, $otd = \overline{1, OTD}$ и такую допустимую

альтернативу принятия решения в конкретной ситуации

$$AR^{\Pi}: P^{(r)} \rightarrow \{0, 1, \dots, [\tau_{n_{min}} - 1]\}, \quad (17)$$

которая идентифицируется опасными факторами пожара ($\phi_{п}$, ϕ_i), воздействующими на СиС при реализации любой i -й задачи на тушение во времени ($\tau_i^{(AR)}$), определяя экстремум predetermined целевой функции (обеспечение требуемого расхода огнетушащих средств с необходимой

интенсивностью).

Для программной реализации процесса динамического программирования, уравнение постановки управленческой задачи при тушении пожаров, состояния которого сформированы узлами ориентированного графа (Γ) и управления сформированы рёбрами, представлено:

$$P_n(q) = \min \left\{ \min_{z_t \in A_{n-1}} [z_t z_q + P_{n-1}(A^1)]; \min_{z_t \in A_n} [z_t a^2 q + P_{n-1}(A^2)] \right\}, \quad (18)$$

$$e \leq a^1 \leq \delta, \quad \wp \leq a^2 \leq q,$$

где $P_n(q)$ – протяжённость наикратчайшего пути из узла z_t в узел z_q , определённая на n -м шаге; A_n – массив допустимых подмассивов z_t n -го шага, относящихся к наикратчайшему пути $z_t \rightarrow z_z$ и включающему не более чем τ_{\min} ребер, сформированных в соответствии с требованием неравенства ($PR(z_t) \geq PR_n \min, C_n \subseteq z_t$), с учётом того, что $n(a) = P_n(a)$; e – значение первого по расположению узла ($n - 1$)-го шага; δ – значение узла – родителя узла q (узла ($n - 1$)-го шага, генерирующего узел со значением q , n -го шага); \wp – значение первого узла n -го шага; Q_z – возможный узел, из которого может выходить ребро и входить в узел z_t , при выполнении условий: непрерывности реализации управленческих задач при тушении пожара и ограничений – конечности СиС пожаротушения, принимает значение 1, а в противном случае ∞ .



Рисунок 9 – Схема решения задач управления СиС пожаротушения и принятия решений в системе управления ПП с учётом ограничений и предпочтений РТП

Сущность метода распределения задач управления и принятия решений при ведении ОТД заключается в определении необходимости определённых СиС для реализации конкретных управленческих задач при тушении пожара (рис. 10). Методика его применения

управленческого решения с использованием интерактивного режима коммуникации «человек (РТП) – ЭВМ (база знаний)», обеспечивающего принятие управленческого решения за «приемлемое время» путём «диалога» с базой знаний.

С учетом структурно-функциональных особенностей управления ПП при тушении пожара и специфики решения задач управления и принятия решений по ведению ОТД разработан алгоритм А7 принятия управленческого решения ($\langle AR, YR \rangle$):

А7.1. Инициализация переменных. Инициализация массивов: базового (B), базового вспомогательного (B'), ситуационного (S), ситуационного вспомогательного (S'); коэффициентов: внешнего воздействия ($\phi = \phi(r_i), r = \overline{1, 5}$),

применения заключается в анализе комбинаторных возможностей выбора

времени (максимально допустимого) принятия решения (P_r).

A7.2. Инициализация параметров объекта управления. Выбор принципа предпочтения РТП (III); значения целевой функции пожаротушения (F_u).

A7.3. Предварительный расчёт. Генерация: массива возможных управляющих воздействий ($B^C(\phi) \in B$); возможных ситуаций в соответствии с воздействиями ($\phi \in C_0$).

A7.4. Генерация первичного решения РТП. Начало перебора ($N = 1$). Инициализация начального решения ($YR^0 = YR^0(\phi_0) \in B^C(\phi_0)$).

A7.4.1. Условие (корректировки принципа предпочтения). Если не первый шаг ($N > 1$), то частичное изменение решения РТП ($YR^0 = YR^0(\phi_0) \in B^C(\phi_0)$).

A7.5. Идентификация сложившейся ситуации на пожаре. Генерация базового массива решений старшего оперативного должностного лица на пожаре ($B_i(\phi) \in B$), в зависимости от внешних воздействий на пожаре ($\phi_i, i = \overline{1, I}$).

A7.6. Генерация решений. Расчёт параметров функции: ситуационной ($YR \in B_i(\phi)$); основной целевой ($F = F_{ц}\{YR[\phi(r_i)], \phi\}$).

A7.7. Условие (соответствия реальным обстоятельствам). Если главная целевая функция не соответствует условиям нормативно-распорядительных документов ($F_0(W, \phi) \leq F_{0C}$) и ситуационное решение не найдено ($\langle AP, YR \rangle \in B_i(\phi) \times B^C(\phi)$) своевременно ($NP_i < P_r$), то переходим на A7.4.1.

A7.8. Вывод результатов решения.

A7.9. Завершение работы алгоритма.

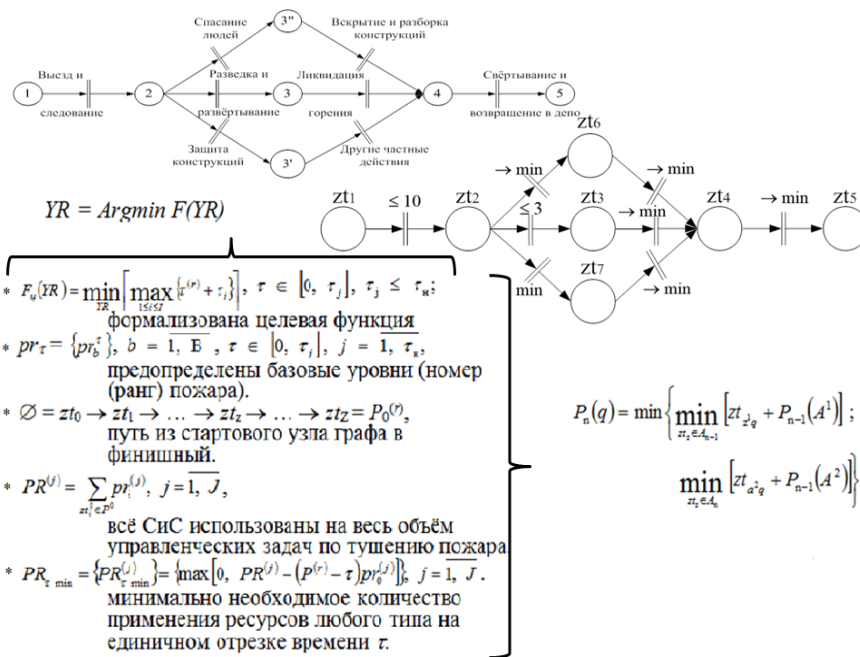


Рисунок 10 – Схема метода распределения задач управления и принятия решений при ведении ОТД

Семантическая интерпретация вышеизложенного алгоритма заключается в том, что РТП пошагово на основе полученной информации о распределении управленческих задач при тушении ($AR_i \in B_i(\phi_i), i = \overline{1, I}$) и значениях внешних воздействий ($\phi_0 \in C_0$) стремится получить рациональное решение для применения СИС пожаротушения (YR^0) и тем самым запускает пошаговый процесс

коррекции и координации управления пожарно-спасательными подразделениями. Конвергентность алгоритма удовлетворяется применением конечных массивов и параметров исходных данных. Основанием для эффективного планирования и управления ведением ОТД при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории в рамках

требований по снижению риска пожаров до экономического и социально приемлемого уровня являются требования разумности и рациональности принимаемых мер, в том числе и с учетом экономических возможностей, и социальных факторов, что сопровождается решением задачи поиска баланса между ожидаемой выгодой и затратами, а также уменьшения ущерба. Поэтому обоснование новых разработанных модели и алгоритмов (рис. 11) решения задач управления и принятия решений по достаточности ресурсов проведено на примере тушения пожара на открытой местности (лесной пожар) (рис. 12).



Рисунок 11 – Блок-схема алгоритма принятия управленческого решения о достаточности ресурсов пожаротушения

Это особенно актуально, так как некоторые классы лесных пожаров на определённых территориях, а также ущерб от них ассоциируются как с не полностью допустимым и исключённым лесопожарным риском.

При этом необходимо незамедлительно генерировать принятие управленческих решений на ведение тех или иных ОТД, соответственно индивидуальной оценке ситуации и субъективного восприятия риска ответственными за решения должностными лицами (рис. 13).

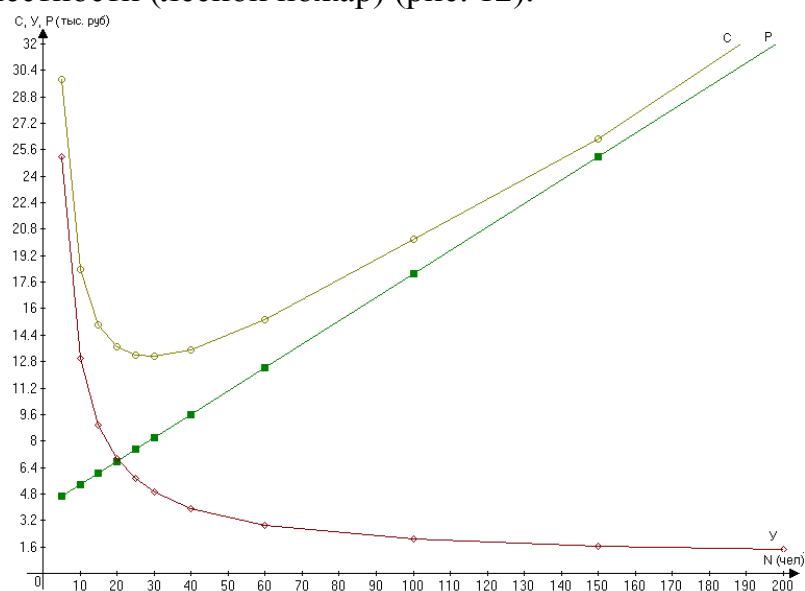


Рисунок 12 – Зависимость потерь от пожара и расходов на тушение от количества пожарных, занятых тушением пожара: P – расход на тушение; Y – ущерб от пожара; C – суммарные потери; N – количество пожарных

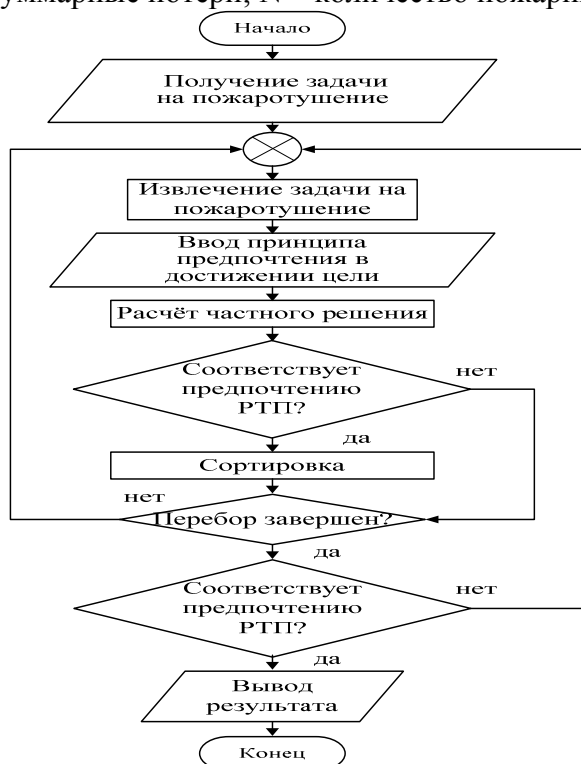


Рисунок 13 – Блок-схема алгоритма упорядочения частных управленческих решений

Сущность модели достаточности СиС пожаротушения заключается в обеспечении компромисса между затратами на организацию пожаротушения с учетом экономических возможностей и социальных факторов и ожидаемой выгодой от них. Методика её применения заключается в сравнении площади пожара с площадью тушения и/или параметрами его локализации, обеспечивающейся минимально необходимыми средствами подачи огнетушащих средств и силами пожаротушения в соответствии с установленными граничными условиями. В том случае если затраты при тушении превышают ущерб от пожара, то формируется решение на окончание и/или перерыв в работах при тушении пожара.

В главе 4 «Поддержка принятия решения при тушении пожаров» для моделирования функционирования системы управления ПП при тушении пожара на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории, в развитии (12) модель представлена в виде векторного параллельно-последовательного процесса управления, $\vec{P}(t)$ (рис. 14):

$$\vec{P}(t) = \{ \overrightarrow{P_{met}}(t), \overrightarrow{P_{old}}(t), \overrightarrow{P_{prn}}(t), \overrightarrow{P_{pr}}(t) \} \quad (19)$$

где $\overrightarrow{P_{met}}(t)$ – целочисленный процесс, формализующий протекание чрезвычайной ситуации (пожара) на конкретном объекте (горение в комнате на этаже, на кровле, в обваловании, на запорной арматуре, зеркале резервуара и др.); $\overrightarrow{P_{old}}(t)$ – целочисленный процесс, формализующий управление ОТД при тушении пожара на конкретном объекте; $\overrightarrow{P_{prn}}(t)$ – целочисленный процесс, формализующий функционирование нерасходуемого ресурса СиС (пожарные автомобили (ПА), пожарно-техническое оборудование (ПТО), средства связи и освещения и т.д.); $\overrightarrow{P_{pr}}(t)$ – целочисленный процесс, формализующий функционирование (расходование) расходуемого ресурса СиС (ГСМ, ОВ и т.д.).

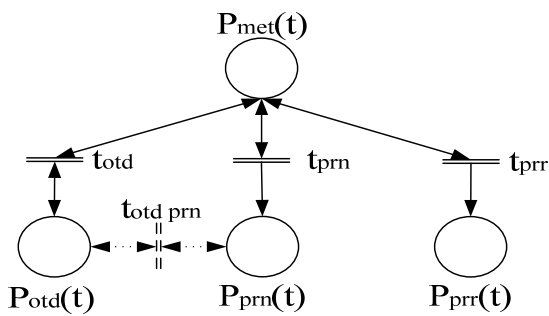


Рисунок 14 – Граф взаимодействия зависимых компонент процесса управления пожаротушением на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории

Все элементы целочисленного процесса управления ведением ОТД ПП $\vec{P}(t)$ представлены в виде однородного разложения:

$$\overrightarrow{P_i}(t) = \sum_{k=1}^n od_k^i(t), \quad i = \overline{1, I}; \quad (20)$$

где $od_k^i(t)$ – процесс управления ведением операции ОТД одного из этапов тушения пожара на конкретном объекте, одинаковом для всех $od_k^i(t)$ и является элементарным целочисленным процессом (установка ПА на водоисточник, извлечение ПТО из отсека

ПА, прокладывание рукавной линии и т.д.). Полагая далее, что операции ОТД для каждого сценария развития пожара проводятся независимо, но функционально одинаково, а также транзитивны, будем считать $\sum_{k=1}^n od_k^i(t)$ однородным каноническим разложением процесса $\overrightarrow{P_i}(t)$ и отобразим графом (рис. 14).

Формализованное описание операции ОТД на пожаре:

$$od_1 = \{od_0^1, od_1^1, od_2^1\}, \quad (21)$$

где od_0^1 – операция ОТД не может проводиться с тем или иным прибором ПТО; od_1^1 – операция ОТД может быть проведена с тем или иным прибором ПТО; od_2^1 – операция ОТД проводится с тем или иным прибором ПТО.

Интенсивности ведения операций ОТД формализуем как: ck_{01}^1 – интенсивность проведения операции ОТД, которая может быть реализована с тем или иным прибором ПТО, отражающая персонализированное свойство единицы объекта и условно не зависящая от внешних факторов (она берется из системы поддержки принятия управленческого решения при пожаротушении (СППУРП) или из соответствующей системы знаний (базы данных) автоматически или задается старшим должностным лицом на пожаре или оператором ЭВМ по его указанию); ck_{12}^1 – интенсивность проведения операции ОТД, которая может быть проведена с конкретным прибором ПТО; ck_{20}^1 – интенсивность проведения операции ОТД одного вида (установка ПА на водоисточник, подача воды при тушении, защиту и т. п.); ck_{01}^2 – интенсивность проведения операции ОТД (обработка заявки и выезд); определяется процессом $\overline{P_{met}}(t)$, состоянием боеготовности и расписанием выезда; ck_{12}^2 – интенсивность проведения операции ОТД (следование к месту вызова); определяется процессом управления $\overline{P_{met}}(t)$, расстоянием, расписанием выезда, загруженностью транспортной сети и т.п.; ck_{23}^2 , ck_{30}^2 – интенсивности проведения операции ОТД тушения пожара на объекте, следования к месту дислокации соответственно; ck_{01}^3 и ck_{02}^3 – интенсивности проведения ремонтных работ на месте пожара; определяются взаимодействием процессов $\overline{P_{od}}(t)$ и $\overline{P_{prn}}(t)$, но если ремонт этого нерасходуемого ресурса ведется специализированным подразделением не на месте пожара, тогда его не учитываем из-за отсутствия; ck_{02}^3 , ck_{23}^3 , ck_{31}^3 , ck_{40}^3 – имеют тот же смысл, что и ck_{02}^2 , ck_{23}^2 , ck_{30}^2 , при условии, что на реализацию одного и того же ОТД используется одна (нерасходуемая) единица материально – технического ресурса пожаротушения. $l_{od_0^1}$, $l_{od_0^2}$, $l_{od_0^3}$, $l_{od_1^1}$, $l_{od_2^1}$, $l_{od_2^2}$ – число операций od_0^1 , od_2^1 , od_1^1 , od_2^1 , od_0^2 и od_2^2 ОТД при тушении пожара на конкретном объекте.

Учитывая вышеизложенное и осуществляя с использованием СППУРП генерирование необходимых размеченных графов состояний ОТД для конкретного пожара, порождаем следующие уравнения нормативных состояний:

- сценарии тушения пожара на объекте:

$$\frac{dl_{od_0^1}}{dt} = ck_{20}^1 l_{od_2^1} - ck_{01}^1 l_{od_0^1}; \quad \frac{dl_{od_1^1}}{dt} = ck_{12}^1 l_{od_1^1} - ck_{01}^1 l_{od_0^1}; \quad \frac{dl_{od_2^1}}{dt} = ck_{20}^1 l_{od_2^1} - ck_{12}^1 l_{od_1^1}; \quad (22)$$

- управление действиями отделения ПП:

$$\frac{dl_{od_0^2}}{dt} = ck_{30}^2 l_{od_3^2} - ck_{01}^2 l_{od_0^2}; \quad \frac{dl_{od_1^2}}{dt} = ck_{01}^2 l_{od_0^2} - ck_{12}^2 l_{od_1^2}; \quad \frac{dl_{od_2^2}}{dt} = ck_{23}^2 l_{od_2^2} - ck_{12}^2 l_{od_1^2};$$

$$\frac{dl_{od_3^2}}{dt} = ck_{30}^2 l_{od_3^2} - ck_{23}^2 l_{od_2^2}; \quad (23)$$

- использование нерастрачиваемых ресурсов СиС пожаротушения:

$$\begin{aligned} \frac{dl_{od_0^3}}{dt} &= -ck_{01}^3 l_{od_0^3} - ck_{02}^3 l_{od_0^3} + ck_{40}^3 l_{od_4^3} + ck_{10}^3 l_{od_1^3}; & \frac{dl_{od_1^3}}{dt} &= -ck_{10}^3 l_{od_1^3} + ck_{01}^3 l_{od_0^3}; \\ \frac{dl_{od_2^3}}{dt} &= -ck_{02}^3 l_{od_0^3} - ck_{23}^3 l_{od_2^3}; & \frac{dl_{od_3^3}}{dt} &= -ck_{23}^3 l_{od_2^3} - ck_{31}^3 l_{od_3^3}; & \frac{dl_{od_4^3}}{dt} &= -ck_{40}^3 l_{od_4^3} - ck_{31}^3 l_{od_3^3}; \end{aligned} \quad (24)$$

- использование растрачиваемых ресурсов СиС пожаротушения:

$$\begin{aligned} \frac{dl_{od_0^4}}{dt} &= -ck_{01}^4 l_{od_0^4} + cp; & \frac{dl_{od_1^4}}{dt} &= ck_{01}^4 l_{od_0^4} - ck_{12}^4 l_{od_1^4}; & \frac{dl_{od_2^4}}{dt} &= -ck_{12}^4 l_{od_1^4} + ck_{23}^4 l_{od_2^4}; \\ \frac{dl_{od_3^4}}{dt} &= -ck_{23}^4 l_{od_2^4}. \end{aligned} \quad (25)$$

Интегрируя эту систему дифференциальных уравнений, СППРУП в автоматическом или интерактивном режиме управления старшим оперативным должностным лицом на пожаре выдаёт требуемые параметры характеристик элементов, составляющих системы управления на объекте экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к нему территории (рис. 15).

Объединённая задача оптимизации системы управления ПП на месте пожара, а также прилегающей к нему территории представлена уравнениями:

$$ZE(te, Poz, MP_{ij}^{(Pozte)}) \rightarrow \min \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^I te_i = te; \quad \sum_{j=1}^R Poz_j = Poz; \quad MP_{ij}^{(Pozte)} = oMP_{ij}^{(Pozte)} = \{ote_i, oPoz_j : oP_{ij}\}_{\overline{Pozte}}, \quad (27)$$

где te_i – тактическая единица подразделения (отделение, расчёт, звено); Poz_j – позиция на тушение (позиция, участок, сектор); $MP_{ij}^{(Pozte)}$ – массив объектов системы, формирующих разновидность (POZ, TE) состава системы управления пожаротушением при предопределённых значениях позиций на тушение и тактических единиц; $oMP_{ij}^{(Pozte)}$ – эффективное решение управленческой задачи; oP_{ij} – эффективное значение переменных P_{ij} ; $\overline{Poz}, \overline{te}$ – разновидности распределения Poz и te на эффективные $oPoz$ и ote ; oP_{ij} – эффективное значение переменных P_{ij} . Оптимизацию процесса управления пожаротушением на объекте определяет решение управленческой задачи (26, 27) при следующих трех допустимых вариантах при фиксированных компонентах, например, средствах подачи ОВ: $Poz = const$, необходимо обнаружить te и значение экстремума $MP_{ij}^{(Pozte)}$ в (26); $te = const$, необходимо обнаружить Poz и значение экстремума $MP_{ij}^{(Pozte)}$ в (26); $Poz = const, te = const$, необходимо обнаружить экстремум $MP_{ij}^{(Pozte)}$.

Решение управленческой задачи оптимизации структуры СиС пожаротушения на конкретном пожаре предусматривает максимизацию тактического потенциала при минимизации затрат (рис. 16).

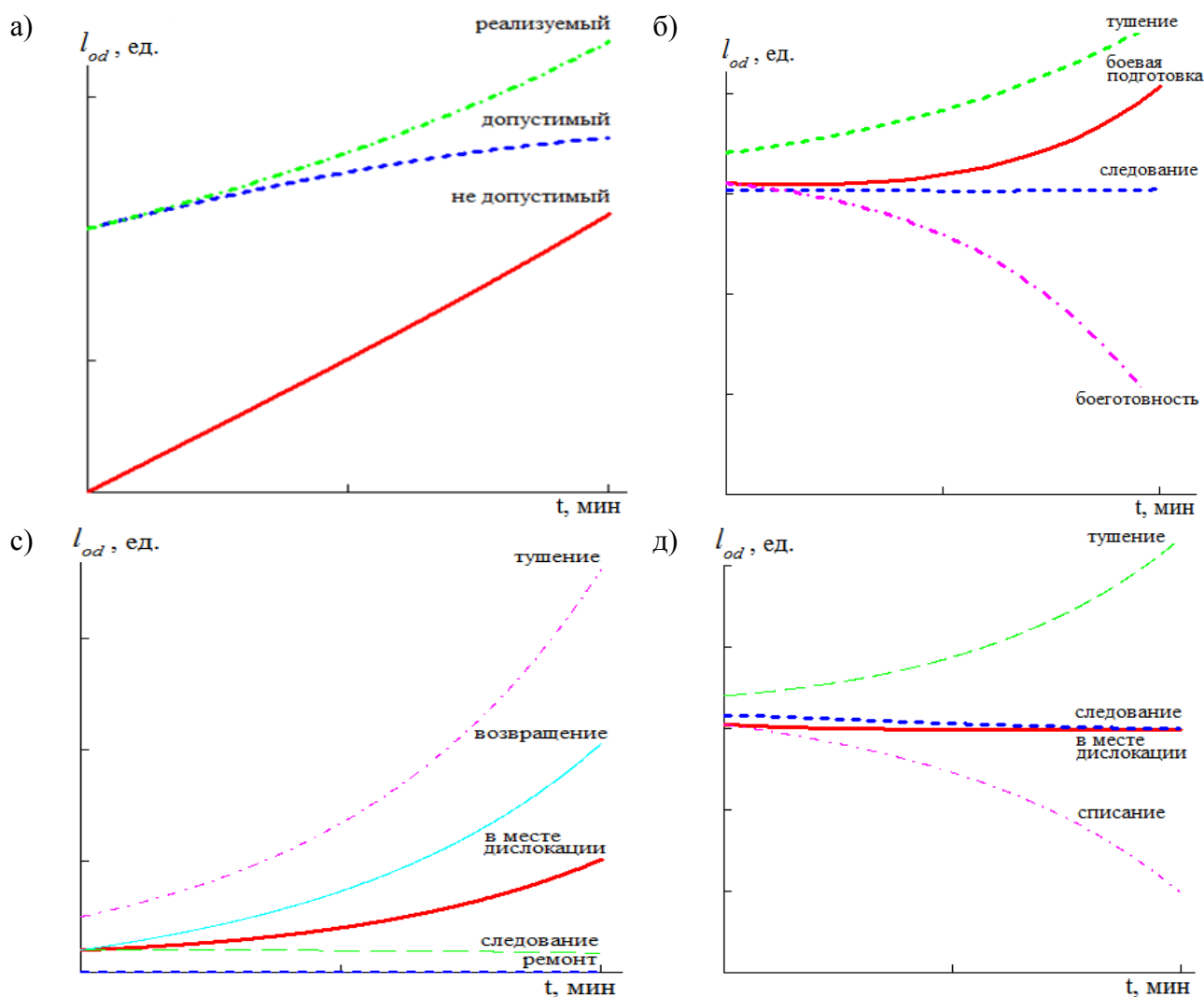


Рисунок 15 – Частные решения уравнений нормативных состояний: а – сценарии тушения пожара; б – управление действиями отделения пожарно-спасательного подразделения; с – использование нерастрчиваемых ресурсов СиС пожаротушения; д – использование растрчиваемых ресурсов СиС пожаротушения

Обоснованная методика (алгоритмы и модель) оптимизации количества СиС в системе оперативного управления пожаротушением используется для управления ПП (всех видов) при тушении пожаров на ряде объектах экономики и социальной инфраструктуры, когда при известном числе подразделений и средств необходимо найти оптимальное число позиций на подачу огнетушащих средств. В частности, при организации управления тушением пожаров на объектах нефтепродуктообеспечения, больших площадей, лесных пожаров и безлесных территориях, то есть когда требуется установить объем мероприятий, которые они эффективно могут выполнить. В этом случае критерий оптимальности обобщенной модели расчета оптимального соотношения позиций на тушение, подразделений и других средств, а также интенсивностей работы как личного состава, так и расходования ресурсов может быть представлен следующим образом:

$$ZE = C_1^l l + C_1^r r + T(o1(\Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)})C_2 + o2(\Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)})C_3), \quad (28)$$

где C_1^l – стоимость (расчётная, нормативная, фактическая) содержания подразделения; C_1^r – средняя стоимость содержания единицы расходуемых и нерасходуемых СиС; $o1(\Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)})$ – количество объектов (расчётное, нормативное, фактическое количество позиций на тушение пожара), находящихся на обслуживании (подразделение выезжает в обязательном порядке); $o2(\Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)})$ – количество объектов (расчётное, нормативное, фактическое количество позиций на тушение пожара), на которые выезд осуществляется в соответствии с планом привлечения СиС; $\Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)}$ – граничные значения; C_2 – стоимость (минимальная, средняя, максимальная, расчётная, нормативная и т.п.) ведения ОТД ПП на конкретном обслуживаемом объекте; C_3 – стоимость (минимальная, средняя, максимальная, расчётная, нормативная и т.п.) ведения ОТД ПП на конкретном необслуживаемом объекте экономики и социальной инфраструктуры.

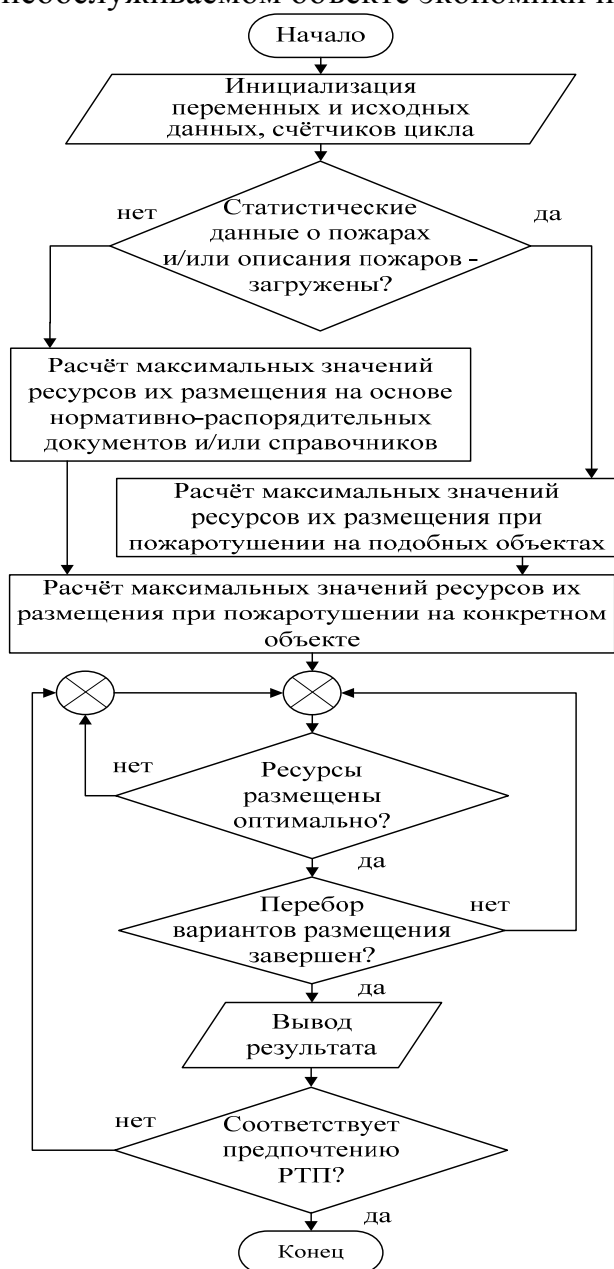


Рисунок 16 – Блок-схема решения управленческой задачи оптимизации структуры СиС на пожаре

Приведённый критерий оптимальности является элементом модели качества управления СиС пожаротушения, разработанной в этой главе.

Идеология формализации оценок выражена в методе принятия решений. Предлагаемый метод позволяет осуществить решение задачи упорядочения информации старшим оперативным должностным лицом на пожаре (РТП, начальником штаба пожаротушения или оператором) о локализации и ликвидации пожара по общей сумме признаков (качественных и/или количественных).

Сущность метода принятия решений заключается в поддержке принятия управленческого решения, направленного на достижение «основной цели на пожаре», за счёт анализа информации об адекватности «затрат» для её достижения.

Утверждение 3. Для ориентированного графа (G) , описывающего распределение задач управления и принятия решений при осуществлении пожаротушения на объектах экономики и социальной инфраструктуры (рис. 4) и многогранника (M) (рис. 17) допустимых ОТД ПП при конкретном пожаре, существует некоторое количество гиперплоскостей, разделяющих

многогранник на конечное количество фигур и массив возможных вариантов выполнения ОТД ПП (P), таких, что любому многограннику взаимно-однозначно соответствует расчётная и (или) нормативная законченная последовательность фигур, которая продолжает оставаться для всех точек, входящих в многогранник, оптимальной.

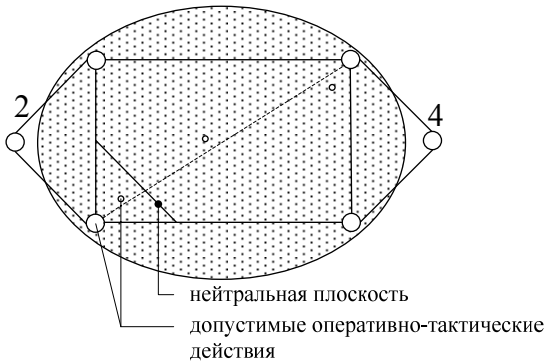


Рисунок 17 – Пример ограниченной области в объёме допустимых (2-4) ОТД ПП при организации управления пожаротушением на объекте экономики, социальной инфраструктуры

Доказательство. Сформируем для вариантов P_i (в соответствии с требованием нормативно-распорядительных документов) соответствующие частные ориентированные графы G_i на основе графа G . При этом длина распределения задач управления и принятия решений при осуществлении пожаротушения соответствует длине критического пути графа G .

Рассмотрим один базовый вариант P_i и граф G_i . Обозначим все пути базового варианта Π_1, \dots, Π_n , тогда среди них имеется, как минимум, один критический путь Π_k , такой, что для точки $t \in M_i$ длина базового варианта:

$$P_i = \sum_{j \in \Pi} T_j. \quad (29)$$

Пусть T_i^e – верхнее значение базового варианта Π_n отображённое на многограннике M_i , а T_i^h – нижнее его значение. В этом случае справедливо: $T_{max}^e = \max T_i^e$; $T_{min}^h = \min T_i^h$, для $i = i-1, \dots, I$.

Проанализировав все возможные разделённые многогранники M_i , $i = 1, \dots, I$, где I – количество разделённых многогранников при всех допустимых вариантах реализации управленческой задачи, при тушении пожара, состоящих из максимальных векторов. Тогда можем реализовать попарное сравнение параметров вариантов реализации на основном многограннике M . На каждом этапе ($i = 1, \dots, I$) формирования возможного базового варианта при следующем разбиении многогранника (M) сможем оценить по нижнему показателю этого варианта.

Пусть Π_1, \dots, Π_n , все пути ориентированного графа G , описывающего распределение задач управления и принятия решений при осуществлении пожаротушения мобильными средствами на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории. Тогда определим

$\min \sum_{j \in \Pi'} T_j = T_j, j = 1, \dots, J$, с учётом граничных условий $k_i t \leq 0, t \geq 0$, где Π' – невыполненные задачи управления; k_i – матрица, размерностью $a \times b$; J – количество ограничений, учтённых на каждом этапе (i) формирования базового варианта.

Граничные условия $k_i t \leq 0, t \geq 0$, определяют многогранник при формировании базового варианта. Введём обозначение $T_{min} = \min T_i$. В том случае,

если выполняется неравенство: $\sum_{i=1}^I t_i^H + T_{\min} \geq T_{\max}^e$, где t_i^H – нижнее значение оценки на различных этапах, то завершаем формирование возможных вариантов распределения задач управления и принятия решений при осуществлении пожаротушения на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории, т.к. найденный вариант худший из найденных.

После того как сформировано очередное разбиение, на пересечении многоугольников, то представляется возможным провести оценку вновь сформированного допустимого варианта распределения задач управления и принятия решений и составленного ранее. При этом возможны следующие случаи:

– параметры длительностей допустимых вариантов распределений пересекаются и тогда проводится дополнительная гиперплоскость:

$$\sum_{j \in \Pi_{\text{new}}} \tau_j = \sum_{j \in \Pi_{\text{old}}} \tau_j, \quad (30)$$

а это значит, что в левой части находится сумма длительностей задач управления и принятия решений при осуществлении пожаротушения на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории, соответствующего критическому пути для нового варианта. В правой части – критического пути для ранее вычисленного варианта. Это означает, что произошло разделение гиперплоскостью общей части многогранника для решений Π_{new} и Π_{old} на два многогранника. После осуществления оценки максимальных векторов при формировании допустимых вариантов задач управления и принятия решений будет выявлено такое разбиение многогранника (M), что каждому многограннику M_i будет поставлен в соответствие вариант задачи управления и принятия решений, который станет наилучшим на фоне базовых допустимых вариантов для всех $t \in M_i$. И как следствие, этот вариант будет оптимальным для всех точек многогранника;

– параметры длительностей допустимых вариантов распределений не пересекаются, и задаётся на пересечении многогранников такой допустимый вариант, у которого значение верхней оценки времени реализации всех задач управления и принятия решений при осуществлении пожаротушения на объектах экономики и социальной инфраструктуры ниже.

Утверждение доказано.

Методика применения метода принятия решений заключается в формировании упорядоченной информации для локализации и ликвидации пожара по общей сумме признаков (качественных и/или количественных) в соответствии с предпочтением РТП.

Утверждение 4. Любой массив допустимых сценариев ведения ОТД при тушении пожара (P_i) такой, что $P_i \in P^{(r)}$ и соответствует требованиям некоторого критерия K_κ , для $\kappa = 1, \dots, 5$. В качестве критерия выбираем формализованные принципы выбора решающего направления ведения ОТД, т.е. осуществляем постановку задачи управления на данном этапе тушения пожара. В данный момент времени критерий может быть только один, т.е. решающее направление только одно.

Доказательство. Обоснуем то, что для всех $P_i \in P^{(r)}$, определено соответствие сценария ведения ОТД при тушении пожара (P_i) требованиям

критериев формализованной задачи управления (K_k), при этом есть совокупность оперативных задач, формирующая сценарий пожаротушения (P_I).

Сначала докажем «переход» критерия K_5 в K_4 . Для этого отберем из $P^{(r)}$ некоторый массив P_i , соответствующий критерию K_{45} . Сформируем массив (допустимых сценариев P_I), состоящий из оперативных управленческих задач (zt), необходимых для реализации процесса тушения по определённом рангу пожара (r), сопоставленных в точности с управленческими задачами на пожаре. Промаркируем в массиве P_i цепочки, реализуемых оперативных управленческих задач на конкретном пожаре. Такие цепочки существуют, так как сценарий соответствует критерию K_5 . Соберем промаркированные цепочки в массив ($P_I(zt)$) и положим, что $P_I \cup P_I(zt) = P_I$. Тогда сформированный массив P_I соответствует тому, что $P_I \subset P_i$ и P_I критерию K_4 , что требовалось доказать.

Докажем «переход» критерия K_4 в K_3 . Для этого отберем из $P^{(r)}$ некоторый массив P_i , соответствующий критерию K_4 . Сформируем массив (допустимых сценариев P_I), состоящий из оперативных задач (zt), реализуемых при тушении по определённом рангу пожара (r), сопоставленных с допустимыми управленческими задачами на пожаре. Промаркируем в массиве P_i цепочки, реализуемых оперативных управленческих задач на конкретном пожаре. Такие цепочки существуют, так как сценарий соответствует критерию K_4 . Соберем промаркированные цепочки в массив ($P_I(zt)$) и положим, что $P_I \cup P_I(zt) = P_I$. Тогда сформированный массив P_I соответствует тому, что $P_I \subset P_i$ и P_I критерию K_3 , что требовалось доказать. Аналогичные рассуждения проводим для доказательства «перехода» критерия K_3 в K_2 .

Докажем «переход» критерия K_2 в K_1 . Для этого необходимо и достаточно положить, что $P_I = P_i$, и утверждение доказано.

При поддержке управленческих решений на пожаре происходит переработка больших массивов оперативно-технической информации (структурной и содержательной), а внедрение компьютерных систем поддержки принятия обуславливает, в том числе, совершенствование методик определения количества и свойств смысловой информации необходимой для РТП. Поэтому задача разработки адекватных формальных моделей, содержащих соответствующее ситуационное описание обстановки (тезаурус) и позволяющих на основе точных понятий описывать процесс семантического анализа и интерпретации поступающей информации с места пожара является актуальной.

Количество структурной информации (KI^M), передаваемой моделью системы P , пропорционально числу символов в минимальном сообщении:

$$\left\{ \begin{array}{l} KI^S = \sum_{i=1}^m KI_{ji} \quad , \quad j = m, ie, bc, oop, zt, d, \\ \min = \text{cob}_m + \text{cob}_{ie} + \text{cob}_{bc} + \text{cob}_{oop} + \text{cob}_{zt} + \text{cob}_d \quad , \end{array} \right. \quad (31)$$

где KI_{ij} – количество содержащейся информации в одном символе i , вида j (m , ie , bc , oop , zt , d), отображающем элемент множества вида j (M , IE , BC , $ООП$, $P^{(r)}$, D) соответственно; $\text{cob}_m + \text{cob}_{ie} + \text{cob}_{bc} + \text{cob}_{oop} + \text{cob}_{zt} + \text{cob}_d$ – число символов, представляющих элементы: m – материальный ресурс; ie – информационно-энергетический ресурс; bc – отдельное действие при пожаротушении; zt – задача при пожаротушении; oop – текущая конфигурация ресурсов пожаротушения; d –

одна оперативная задача на тушение, в минимальном сообщении данной системы пожаротушения P или подсистеме соответственно.

Это позволило расширить область модели качества СиС пожаротушения – коэффициентом количества полной структурной информации в системе управления на пожаре (пассивной и активной) с учётом элементов множества $G = [P^{(r)}, D]$, описывающих изменения оперативно-тактической обстановки на пожаре, $ооп_j(zT_j) \in ООП, j=1, n_{ООП}$, происходящие для реализации локализации и ликвидации пожара ПП, в виде последовательности соответствующих управленческих задач при тушении ($zT_i \in ZT, i=1, n_{ZT}$), структур пожаротушения (позиция на подачу ОВ, участок тушения, сектор и т. п.) в зависимости от оперативной обстановки на пожаре ($ооп_k = zT_i ооп_j = \gamma(zT_i) ооп_j) = zT_i, ооп_k \in ООП, k=1, n_{ООП}$, функционирующий в рамках системы управления:

$$KI^M(P) = cob_M \ln(n_M) + cob_{ie} \ln(n_{ie}) + \left(\sum_{i=1}^{n_{\epsilon c}} \ln(O_i / \epsilon_{\epsilon ci}) \right) \vee (cob_{\epsilon c} \ln(2)) +$$

$$+ \left[cob_{zT} \ln(n_{zT}) + cob_b \ln(2) \right] \vee \left(\sum_{k=1}^{n_{ООП}} cob_{\epsilon ck} \ln(2) \right) + cob_{ооп} \ln(n_{ооп})'$$

$$k=1, n_{ооп}, i=1, n_{\epsilon c} . \quad (32)$$

Пример использования данного критерия представлен в приложении диссертационного исследования.

Определение 5. Качество системы управления ПП при тушении пожара – совокупность свойств системы управления ПП, характеризующих степень достижения ею целей создания, а за характеристику качества функционирования системы управления ПП при тушении пожара примем эффективность системы управления пожаротушением, которую определим как свойство, характеризующее степень достижения главной цели пожаротушения.

Введено понятие «качество» (K_o), как логической категории, являющейся определением предмета управления ПП при тушении пожара по характеризующим его, внутренне присущим признакам и формализовано в виде модели качества СиС пожаротушения:

$$K_o = (K_{ц}, K_{т}), \quad (33)$$

где $K_{ц}$ – степень соответствия ОТД целям управления ПП при тушении пожара; $K_{т}$ – степень соответствия ОТД управленческому решению по применению мобильных средств пожаротушения на конкретном объекте: $K_{т} = \frac{K_{тo} - K_{тн}}{K_{тo}} \cdot 100, \%$;

$K_{тн} = \frac{\sum_{i=1}^m n_n}{\sum_{i=1}^k n_{\phi}}$ – степень соответствия ОТД управленческому решению по применению

мобильных средств пожаротушения на конкретном объекте экономики, социальной инфраструктуры при наличии документов предварительного

планирования; $K_{то} = \frac{\sum_{i=1}^m n_n}{\sum_{i=2}^n n_o}$ – степень соответствия ОТД управленческому решению

по применению мобильных средств пожаротушения на конкретном объекте экономики, социальной инфраструктуры при отсутствии документов предварительного планирования; n_n – позиция по тушению пожара, ед.; n_n – нормативное (расчётное) количество позиций (личного состава) на тушение, ед.; $n_{ф}$ – фактическое количество позиций (личного состава) на тушение пожара, ед.; m – число созданных позиций, ед.; n_o – количество отделений на основном ПА, ед.; n – число отделений, привлеченных на тушение пожара, ед.

Глава 5 «Методы поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями» формализует обоснованную совокупность приёмов (способов) при осуществлении какой-либо ОТД на пожаре. При этом под методами управления при ведении ОТД ПП при локализации и ликвидации пожаров понимается формализованное управленческое воздействие РТП на решение оперативно–тактической задачи личным составом ПП в рамках ОТД по локализации и ликвидации горения.

Анализ подходов к управлению ПП при тушении пожаров в населённых пунктах, производственных и социальных объектах показал, что они основываются на физико-химической классификации прекращения горения. При этом расчётное обоснование СиС, привлекаемых к тушению пожара, основано исключительно на тепловом балансе и не учитывает другого эффекта – отеснение кислорода из зоны пламени.

Поэтому на основе комплексного анализа последствий пожаров на равноценных по оперативно-тактическим характеристикам объектах, составу СиС пожаротушения ряда государств сделан вывод о возможности формализации методов поддержки управления ПП при ведении ОТД, с учётом исторически сложившейся системы управления пожаротушением на основании экономических, технических и социально-бытовых факторов; экономического обеспечения деятельности СиС пожаротушения; от уровня участия государства, страховых институтов.

Так как, прибывая на пожар, личный состав ПП реализует поставленные задачи управления и принятия решений РТП, осуществляя подачу ОВ в очаг пожара на глубину тушения огнетушащими средствами (более 97 % – пожарные водяные стволы; 1,26 % – пожарные пенные стволы) или подачу газовых, порошковых огнетушащих составов (около 0,03 % – пожарные порошковые стволы), это позволило выявить сущность пространственного метода поддержки управления ПП.

Сущность пространственного метода поддержки управления ПП заключается в выделении СиС при тушении пожара в зависимости от площади (объёма) пожара. Методика применения метода заключается в сравнении площади тушения обеспечивающей средствами подачи ОВ и площади пожара. В том случае, если фактический расход и интенсивность ОВ на единицу площади пожара равен или превосходит нормативные значения, то СиС на тушение пожара достаточно и должно быть запланировано решительное и непрерывное наступление на огонь. Если фактического расхода и/или интенсивности ОВ на

единицу площади пожара недостаточно, должны быть запланированы действия по защите.

В связи с тем, что любое загорание является источником большого количества физических параметров, они характеризуют как сам очаг горения, так и изменение свойств среды вокруг него. Очаг является источником: электромагнитного излучения, приходящегося на оптический спектральный диапазон (от инфракрасного до ультрафиолетового); «теплоты, в результате чего над очагом горения возникает конвективный поток, переносящий продукты горения и теплоту»; акустического излучения, в широком частотном диапазоне; дыма и др.

Для того чтобы процесс управления подачей ОВ с целью ликвидации пожара был оптимален:

- в начальный период развития пожара, когда среднеобъёмная температура в помещении и температура на поверхности строительных конструкций ниже температуры пиролиза горючих материалов был оптимален, необходимо:

$$\begin{cases} q_{\text{отв}} < q_{\text{п}} \\ t_{\text{н}} < 20 \end{cases}, \text{ где } q_{\text{отв}} - \text{интенсивность теплоотвода от пожара, } Bm; q_{\text{п}} -$$

интенсивность теплоотведения пожара, Bm ; $t_{\text{н}}$ – начальная температура горючих материалов, $^{\circ}\text{C}$;

- в другие периоды развития пожара был оптимален, необходимо:

$$\begin{cases} q_{\text{отв}} < q_{\text{п}} \\ t_{\text{пир}} < 250 \end{cases}, \text{ где } t_{\text{пир}} - \text{температура начала пиролиза горючих материалов, } ^{\circ}\text{C}.$$

Использование их для решения задач управления и принятия решений ведёт к дальнейшему повышению эффективности ведения ОТД ПП.

Сущность энергетического метода поддержки управления ПП заключается в выделении СиС на тушение пожара в зависимости от интенсивности выделения тепла от пожара. Методика его применения заключается в сравнении необходимой огнетушащей мощности при данной интенсивности выделения тепла от пожара с количеством средств подачи ОВ. То есть, если теплоемкость превосходит интенсивность выделения тепла, должно быть запланировано решительное и непрерывное наступление на огонь; если теплоемкость ниже интенсивности выделения тепла, должны быть запланированы действия по защите. Таким образом, чтобы общая степень поглощения тепла была больше интенсивности выделения тепла для того, чтобы было возможно наступление на огонь.

На разных этапах тушения пожара личный состав ПП, реализуя управленческую задачу, осуществляет подачу ОВ для ограничения распространения горения по плоскости и в пространстве для локализации и ликвидации пожара (пожар имеет линейную скорость распространения огня).

Сущность пространственно-временных методов поддержки управления ПП заключается в выделении СиС на тушение пожара в зависимости от площади (объёма) тушения. Методика их применения заключается в сравнении скорости роста площади тушения, обеспечиваемой средствами подачи ОВ, и скорости роста площади пожара. В том случае, если скорость роста площади тушения превышает скорость роста площади пожара, то СиС на тушение пожара в данный момент времени достаточно и должно быть запланировано решительное и

непрерывное наступление на огонь, т. е. должна обеспечиваться поддержка управления методом поддержки управления при тушении пожара немедленной атакой. Если скорость роста площади пожара превышает скорость роста площади тушения, то СиС на тушение пожара в данный момент времени недостаточно и должны быть запланированы действия по недопущению распространения горения и сосредоточению необходимых СиС пожаротушения, и может быть применён метод защиты.

В начальный период тушения пожара ОТД заключаются в подаче ОВ по фронту распространяющегося пожара, для ограничения распространения по плоскости горения. РТП следует добиваться максимальной скорости локализации.

Утверждение 5. Оперативная управленческая задача РТП, формализованная как наступление навстречу распространению огня, может быть реализована при тушении пожара как в здании, когда к прибытию первых ПП огонь распространился только на часть здания, так и на открытой местности. При этом используется метод поддержки управления фронтальным тушением (рис. 18). Изменение расходов ОВ во времени приведено на Рисунке 19, а изменение периметра пожара – на Рисунке 20.

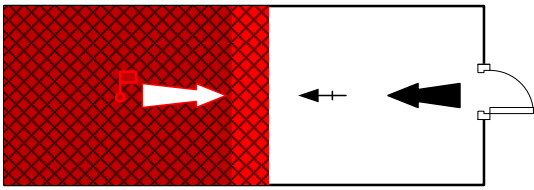


Рисунок 18 – Графическая интерпретация метода поддержки управления при фронтальном тушении пожара

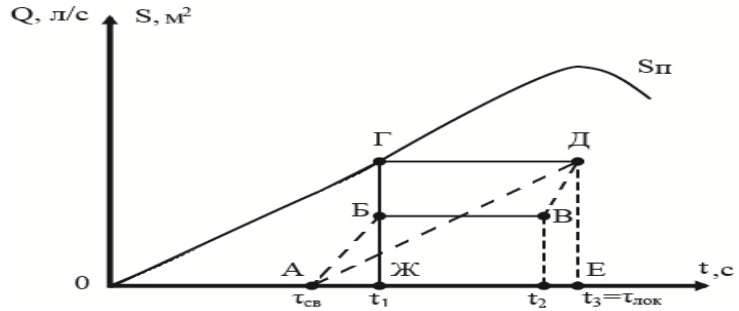


Рисунок 19 – Изменение площади пожара и расходов ОВ при локализации пожара методом управления при фронтальном тушении

На рисунке 19 отображены: Отрезки: ОГ – требуемый расход ОВ в единицу времени (Q_{TP}); АБ – фактический расход ОВ, подаваемого первым ПП ($Q_{\phi 1}$); ВД – фактический расход ОВ, подаваемого следующим ПП ($Q_{\phi 2}$); АД – усредненный фактический расход ОВ, поданного при тушении пожара (Q_{ϕ}); БЖ – требуемый расход ОВ, необходимый для ограничения распространения пламени по его фронту (Q_{TP1}); ДЕ – общий требуемый расход для выполнения достаточного условия локализации (Q_{TP}). Точки: А – начало подачи ОВ первыми ПП; Б – подача ОВ первыми ПП к моменту, когда создается равенство расходов $Q_{\phi 1} = Q_{TP1}$; В – подача ОВ первыми ПП к началу подачи ОВ следующими ПП; Д – подача ОВ следующими ПП к моменту, когда создается равенство расходов $Q_{\phi 2} = Q_{TP2}$; t_1 – время сосредоточения СиС первого ПП; t_2 – время от окончания сосредоточения СиС первого ПП до начала введения СиС следующих ПП; t_3 – время сосредоточения СиС следующего ПП; $\tau_{св}$ – время от начала возгорания до введения СиС первого ПП.

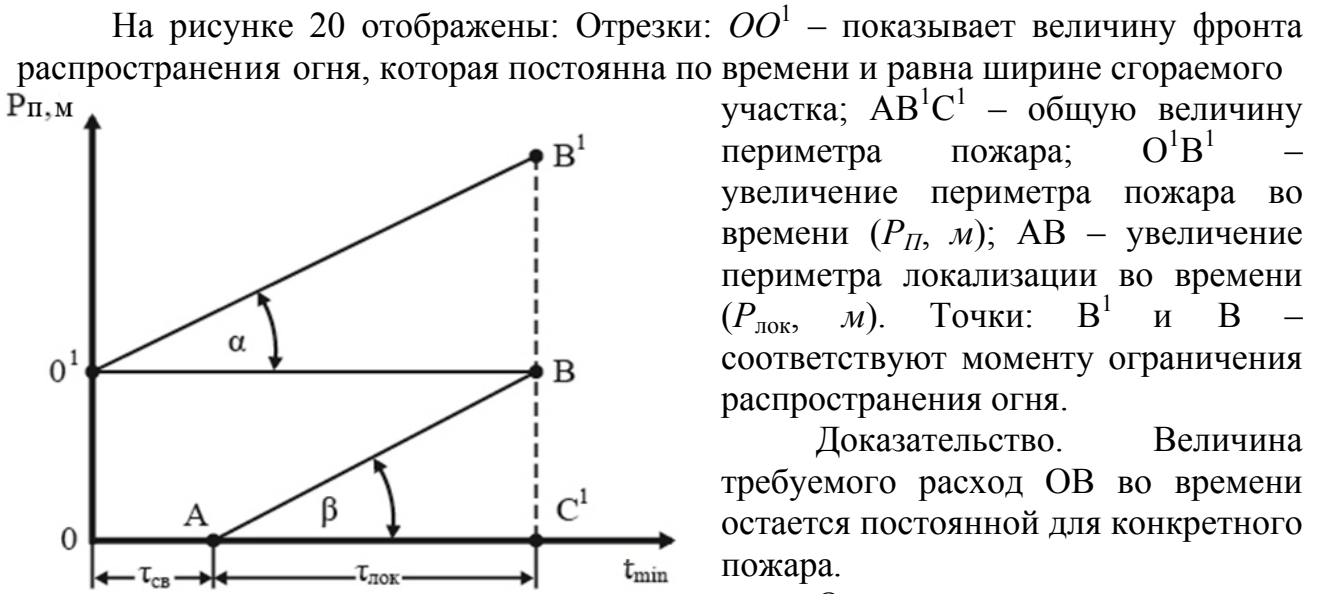


Рисунок 20 – Изменение периметра пожара при локализации пожара методом управления при фронтальном тушении

Доказательство. Величина требуемого расход OB во времени остается постоянной для конкретного пожара.

Она зависит от ширины площади пожара и интенсивности подачи OB :

$$Q_{TP1} = a \cdot I_{TP} \cdot h_T, \text{ л/с} \quad (34)$$

где a – ширина площади пожара, м.

Требуемый расход OB для локализации пожара на остальных направлениях:

$$Q_{TP2} = (S_T - a \cdot h_T) \cdot I_{TP}, \text{ л/с} \quad (35)$$

При этом общий расход, необходимый для тушения пожара:

$$Q_{TP} = Q_{TP1} + Q_{TP2}, \text{ л/с} \quad (36)$$

Требуемый расход OB в этом случае (рис. 19) представим:

$$Q_{лок} = Q_{TP} = V_{TP}(\tau_{св} + t_1), \text{ л/с} \quad (37)$$

где V_{TP} – требуемая скорость сосредоточения OB ($tg\alpha$, рис. 20), $л/с^2$.

При этом фактический расход OB представим:

$$Q_{\phi} = \overline{V}_{\phi} \cdot \tau_{лок}, \text{ л/с} \quad (38)$$

где \overline{V}_{ϕ} – фактическая усредненная скорость сосредоточения расхода OB ($tg\beta$, рис. 20), подаваемых при тушении всеми СиС ПП:

$$\overline{V}_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{\tau_{лок}}, \text{ л/с}^2. \quad (39)$$

Успешная реализация управленческого решения РТП на локализацию пожара в этом случае может быть достигнута только при выполнении условия:

$$\overline{V}_{\phi} > V_{TP}. \quad (40)$$

где V_{TP} – требуемая скорость сосредоточения расхода OB :

$$V_{TP} = V_{II} \cdot I_{TP}. \quad (41)$$

где V_{II} – скорость роста площади пожара, $м^2/с$.

При локализации пожара методом поддержки управления при фронтальном тушении – фактическая усредненная скорость сосредоточения расхода OB может быть меньше требуемой скорости сосредоточения расхода OB . Однако и в этом

случае нужно подавать пожарные стволы по фронту распространения огня в кратчайшие сроки. Так как ширина фронта распространения огня будет величиной постоянной, то скорость локализации пожаров может быть и меньше скорости роста периметра пожара.

Продолжительность локализации пожаров методом поддержки управления при фронтальном тушении зависит от промежутка времени свободного развития пожара, требуемой и фактической скоростей сосредоточения расходов ОВ ПП, определённых РТП:

$$\tau_{\text{лок}} = \frac{V_{\text{ТР}} \cdot (\tau_{\text{св}} + t_1)}{V_{\phi}}, \text{ с.} \quad (42)$$

Это доказательство является базовым для доказательства следующих утверждений, т.к. необходимые условия решения управленческой задачи на локализацию пожара идентичны ему. Доказательство достаточных условий в автореферате не приводится.

Утверждение 6. При пожарах на открытой местности (лесном, почвенном, наружном торфяном пожаре (рис. 21), на складах лесопиломатериалов, когда огонь относительно равномерно распространяется во все стороны и ПП воплощают управленческую задачу РТП, которая заключается в ограничении его развития по всему периметру пожара с последующим наступлением на всю глубину площади пожара. При этом используется метод поддержки управления при тушении пожара окружением. Ограничение распространения огня в этом случае (если не применяются опашка, создание разрывов и минерализованных полос и т.п.) наступит тогда, когда будет введено достаточное количество огнетушащих средств по всему периметру пожара (рис. 21, а), тогда и будет получено решение управленческой задачи РТП.

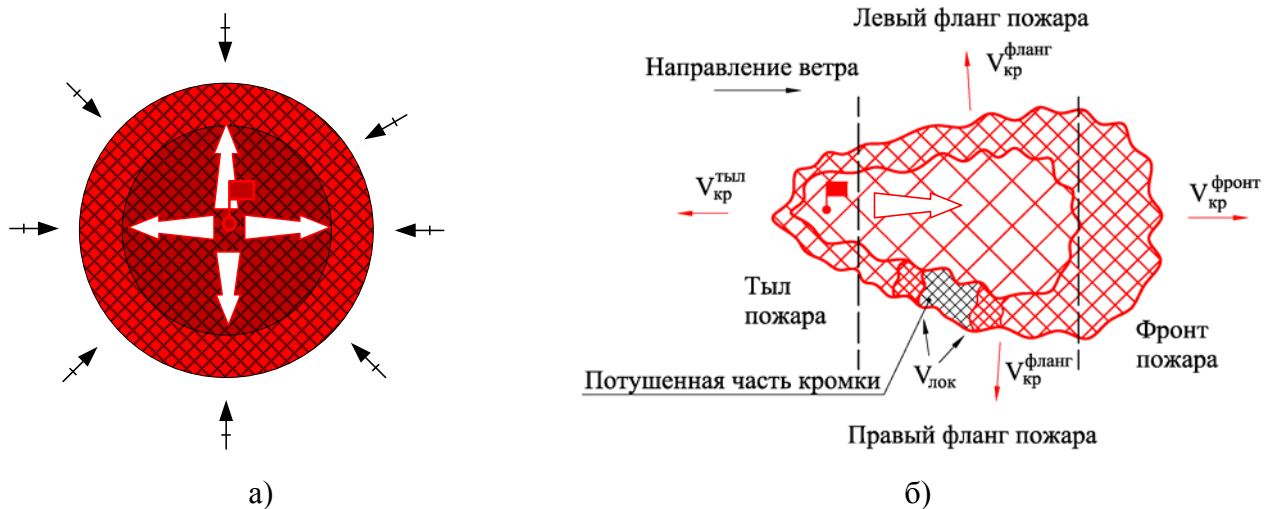


Рисунок 21 – Графическая интерпретация управленческого решения при ведении ОТД методом поддержки управления при тушении пожара окружением: а) при отсутствии ветра; б) при ветре

Утверждение 7. В том случае, если для достижения целей выезда ПП на пожар достаточно СИС, то РТП может для ведения ОТД применить метод управления – немедленная атака на очаг пожара.

Утверждение 8. При пожаре на складе лесопиломатериалов, лесном, почвенном, торфяном пожаре, при пожарах в ограждении, когда по тем или иным причинам РТП не может ввести требуемые ОВ по фронту распространения огня, применяется метод поддержки управления – тыловое тушение (рис. 22).

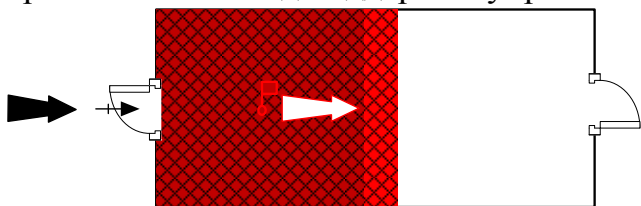


Рисунок 22 – Графическая интерпретация управленческого решения при ведении ОТД при тушении пожара с тыла

мероприятиях.

Утверждение 10. В том случае, если для достижения целей выезда подразделений пожарной охраны на пожар достаточно СиС, РТП может для ведения ОТД применить метод поддержки управления – немедленная атака на очаг пожара.

Утверждение 11. При тушении пожаров газовых и нефтяных фонтанов, в резервуарах, объёмном способе тушения, как правило, локализация пожаров происходит методом поддержки управления подготовленной атакой на очаг пожара. Управленческая задача РТП, осуществляемая последовательным введением СиС мере их прибытия, на таких пожарах не оказывает ожидаемого эффекта в создании условий прекращения горения, поэтому РТП модифицирует управленческое решение и сначала сосредотачивает все необходимые СиС для тушения пожара на исходных позициях и только после этого проводит атаку на очаг пожара. Атака проводится в два этапа: первый – наиболее трудоемкий и сложный относительно организации и управления этап, может продолжаться часы и (или) сутки, включает в себя сосредоточение и расстановку СиС на исходных позициях, а второй – одновременное, решительное и непрерывное наступление всех СиС на очаг пожара.

Продолжительность локализации пожаров методом поддержки управления подготовленной атакой в комбинации с защитными методами поддержки управления при пожаротушении будет слагаться из трех промежутков времени: из продолжительности осуществления защитных методов; времени, затрачиваемого на подготовку атаки, и собственно времени локализации наступательным методом управления (подготовленной атаки на очаг пожара).

На основе вышеизложенного предложена графическая интерпретация формализованного метода поддержки управления ведением ОТД ПП при локализации и ликвидации пожара (рис. 23).

Между методами поддержки управления при ведении ОТД в процессе тушения пожара существует тесная взаимосвязь, и в чистом виде они применяются при организации участков (секторов) тушения пожара или когда СиС ПП достаточно (не достаточно) (рис. 24).

Как правило, при ведении ОТД преобладают методы поддержки управления, связанные с тушением, но не независимо от применяемых методов поддержки управления конечная цель процесса управления при тушении пожара заключается

Утверждение 9. РТП на основе полученной информации в результате разведки реализует управленческое решение задействовать СиС ПП для реализации водного метода обеспечения безопасных ОТД на пожаре – метод поддержки управления при защитных

в ликвидации горения. Выбор того или иного метода поддержки управления при ведении ОТД ПП зависит от квалификации РТП, наличия подготовленных СиС, характера пожара, погодно-метеорологических условий, климатических факторов и т.п.



Рисунок 23 – Формализованный метод поддержки управления при ведении ОТД ПП для тушения пожара с учетом способа подачи ОВ

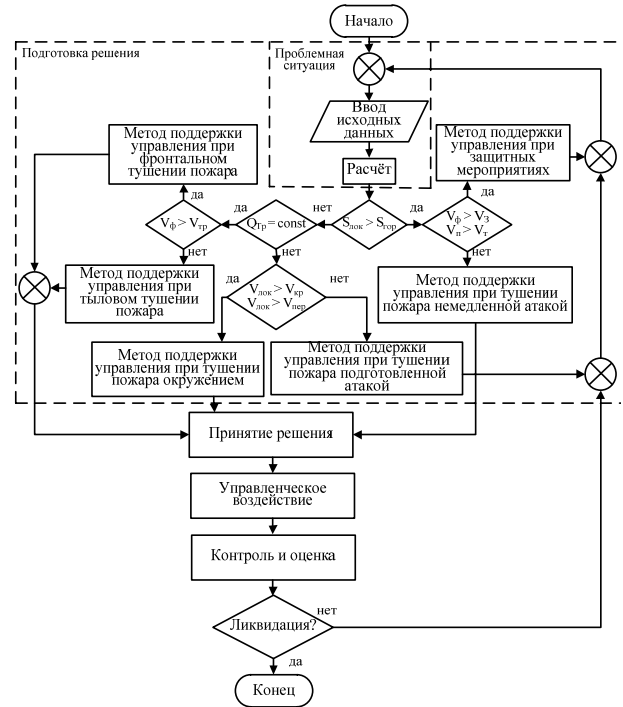


Рисунок 24 – Процесс поддержки управления ПП при тушении пожаров

Рассмотренные выше методы управления ПП при пожаротушении мобильными средствами будут эффективно работать, если РТП сможет определить их рациональное сочетание, вычленил из них основной на настоящее время метод и создаст условия его главенствования над другими с целью реализации основной цели пожарной охраны. В условиях острой нехватки времени и скорости изменения складывающейся обстановки в этом ему поможет система поддержки принятия управленческого решения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках разработки методов, моделей, алгоритмов и их внедрения в практику в диссертации получены следующие основные результаты:

1. Получено обобщение фундаментальных принципов и правил, присущих системам управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров с позиций общей теории систем, с прагматичной составляющей методологии системного анализа, опирающейся на практико-ориентированные методы, методики, технологии и приемы в отношении систем обеспечения управления пожарной безопасностью.

2. Разработаны, формализованы и обоснованы методы поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями (пространственно-временные методы

поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями, состоящие из методов поддержки управления при фронтальном или тыловом тушении пожара, тушении пожара подготовленной или немедленной атакой, окружением или при защитных мероприятиях; пространственный и энергетический методы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров), позволяющие реализовать основную цель пожарной охраны в условиях острой нехватки времени и высокой скорости изменения складывающейся обстановки при пожаре, на основе анализа общей классификации пожаров, статистических данных, описания крупных и характерных пожаров, произошедших в стране и за рубежом.

Эти методы являются общими, применимы во всех случаях поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями, позволяют решать задачи классификации обстановки на пожаре, формирования возможных решений для этой обстановки и доведены до уровня практического использования.

3. Разработан метод формализации и постановки задач управления пожарно-спасательными подразделениями на месте пожара, а также прилегающей к нему территории, позволяющий представить процесс управления пожаротушением тремя способами: алгебраическим, матричным и на графах с использованием сетей Петри. Алгебраический способ предназначен для отображения статической составляющей метода, в виде строк математических символов и динамической составляющей, описываемой индикаторными выражениями на основе рекуррентных уравнений, позволяющих облегчить обработку информации на ЭВМ. Матричное представление управления используется в виде структурных матриц для полного отражения структуры системы управления пожарно-спасательным подразделениям на месте пожара. Графовый способ предназначен для визуального отображения процесса управления пожаротушением и его составных частей, взаимного взаимодействия и функционирования этих частей, их внутренних и внешних связей.

Формализованное представление реализовано в виде структурированной модели управления пожаротушением в виде модифицированной сети Петри. Модель обеспечивает формальную основу для автоматизации и имитационного моделирования процессов управления пожарно-спасательным подразделением на месте пожара, а также прилегающей к нему территории с целью генерации и анализа сценариев развития кризисных ситуаций.

Метод позволил с системных позиций объединить потоки различной физической природы (материальные, информационные и т.д.) и учитывать факторы неопределённости, складывающиеся на пожаре при принятии управленческих решений.

4. Разработаны, формализованы и обоснованы: модель идеализированного процесса управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров; метод распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий; модель достаточности сил и средств пожаротушения; алгоритмы принятия решения при управлении пожарно-спасательными подразделениями (принятия управленческого решения, упорядочения частных управленческих решений, генерирования управленческих решений, решения управленческой задачи оптимизации структуры сил и средств;

поддержки принятия управленческого решения о достаточности сил и средств для тушения пожара на открытой местности).

Это позволило оптимально упорядочить по времени и месту решение задач поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями и принятие решений при пожаротушении, формировать оперативные сценарии использования имеющихся на пожаре сил и средств для обеспечения экстремальных показателей, обусловленных критериями тушения пожара.

5. Предложены модели поддержки управления пожаротушением в виде дифференциальных уравнений и векторного процесса управления ведением оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями на пожаре, позволившие осуществить постановку задачи оценки эффективности тушения пожара; модели оптимизации структуры сил и средств на пожаре с применением экономического, управленческого (тактического) и информационного подходов к поддержке принятия решений.

Особенность предложенных моделей в том, что они отражают не только динамические признаки составных частей, но также динамические характеристики отношений между ними, это позволяет изучать структуру управления пожарно-спасательными подразделениями в комплексе и оценивать степень влияния каждой части и ее отношения на ведение оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями на пожаре в целом.

6. Предложены и обоснованы метод поддержки принятия решения по тушению пожара и алгоритм решения управленческой задачи локализации и ликвидации пожара пожарно-спасательным подразделением, сочетающий количественные и качественные условия; обобщенная модель нормативных состояний системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров, позволяющая оценить эффективность решения поставленной задачи управления пожарно-спасательными подразделениями.

Они позволяют для непрогнозируемых условий развития пожара и возникновения дефицита сил и средств пожаротушения вырабатывать для каждой конкретной ситуации при тушении пожара наиболее эффективные решения по управлению пожарно-спасательными подразделениями.

7. Получены коэффициенты и критерии оценки эффективности (экономической, управленческой, социальной) решения задач управления пожарно-спасательными подразделениями и принятия решений: количества полной структурной информации в системе управления на пожаре; использования рабочего времени на пожаре; глубины тушения пожарным стволом в зависимости от типа здания и сооружения; оптимальности и эффективности системы управления пожаротушением и управленческого решения.

8. Разработан комплекс программ для поддержки принятия управленческих решений на различных уровнях управления силами и средствами пожаротушения и моделирования оперативно-тактических действий пожарных подразделений на этапе предварительного планирования тушения пожара. Получены 7 свидетельств Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Программы позволяют повысить оперативность и результативность поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров.

9. Разработанные модели, методы, алгоритмы и комплекс программ использованы в различных предприятиях и учреждениях для анализа и выбора рациональных управленческих решений, в том числе при формировании функциональных подсистем сети управления аварийно-спасательными ресурсами по различным признакам, выборе обоснованного решения за «приемлемое время» при ликвидации чрезвычайных ситуаций (пожаров), оценке эффективности решения задач управления на пожаре. Это подтверждают эффективность изложенных в работе ключевых теоретических выводов и рекомендаций.

Результаты работы внедрены в МЧС России (приказ МЧС России № 225 от 03 апреля 2013 г.), МОБ Вьетнама и частных организациях России, о чём получены соответствующие акты о внедрении.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Денисов, А.Н. О кодексе управления пожарами / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2007. – № 5 (Том 16). – С. 10–15.

2. Денисов, А.Н. Современные проблемы тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях / А.Н. Денисов, А.В. Подгрушный, Чыонг Динь Хонг // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2007. – № 6 (том 16). – С. 53–57.

3. Денисов, А.Н. Некоторые аспекты организации тушения пожаров на объектах нефтепереработки в Социалистической Республике Вьетнам [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Г.М. Хыонг // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2007. – № 6 (16). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

4. Денисов, А.Н. Изучение действий работников организаций и граждан в случае обнаружения пожара / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2008. – № 3 (Том 17). – С. 21–25.

5. Денисов, А.Н. Тушение пожаров в зданиях с пустотами / А.Н. Денисов, А.В. Подгрушный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация: научный журнал. – 2009. – № 1. – С. 53–56.

6. Денисов, А.Н. Модель оперативно-тактических действий пожарных подразделений при ликвидации пожаров и других чрезвычайных ситуаций / А.Н. Денисов и др. // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2009. – № 2. – С. 96–99.

7. Денисов, А.Н. Приемлемый лесопожарный риск / А.Н. Денисов, С.В. Гундар, Н.Я. Трифонов // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2009. – № 3 (Том 18). – С. 57–66

8. Денисов, А.Н. Формализация и постановка задачи пожарным подразделениям при тушении пожара [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Н.М. Журавлев // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 2 (20). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

9. Денисов, А.Н. Информационно-функциональный подход к управлению силами и средствами на пожаре [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов,

М.В. Шевцов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 3 (31). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

10. Денисов, А.Н. О расчёте сил и средств пожарных подразделений на начальном этапе тушения пожаров на объектах нефтепереработки [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Н.М. Хыонг // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 4 (32). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

11. Денисов, А.Н. Управление пожарными и спасательными подразделениями при проведении мероприятий с массовым сосредоточением людей / А.Н. Денисов, И.П. Денисов, А.В. Подгрушный // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2010. – № 10 (том 18).

12. Денисов А.Н. Глубина тушения пожара как основание для ресурсного обоснования сил и средств пожарных подразделений [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2011. – № 5 (39). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

13. Денисов, А.Н. Исследование факторов, влияющих на управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в помещениях / А.Н. Денисов и др. // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2011. – № 8 (том 20). – С. 48-52.

14. Денисов А.Н. Формализация задач управления ресурсами пожарной охраны в компьютерных информационных системах. [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Н.М. Журавлев // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2012. – № 2 (43). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

15. Денисов, А.Н. Ресурсное обоснование сил и средств для тушения низового лесного пожара [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2012. – № 2 (42). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

16. Денисов, А.Н. Гомеостатика в управлении тушением пожаров [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, И.П. Денисов, П.Е. Сажин // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – № 1 (47). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

17. Денисов, А.Н. Управление пожарными подразделениями при тушении пожара методом окружения [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Д.В. Фролов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – № 2 (48). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

18. Денисов, А.Н. Многомерный анализ показателей оперативной деятельности пожарных подразделений / А.Н. Денисов, К.С. Власов, В.В. Зыков // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2013. – № 4. – С. 80-86.

19. Денисов, А.Н. Управление пожарными подразделениями при тушении пожара методом подготовленной атаки [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Д.В. Фролов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – № 5 (51). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

20. Денисов, А.Н. Подход к формированию управленческого решения при пожаротушении в резервуарном парке [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, М.М. Данилов, И.Д. Опарин // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 2 (54). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

21. Денисов, А.Н. Принятие управленческого решения при тушении пожара [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, С.Н. Захаревская // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 3 (55). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

22. Денисов, А.Н. Управление пожарными подразделениями при защитных мероприятиях [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Д.В. Фролов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 4 (56). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

23. Денисов, А.Н. Обоснование нормативной интенсивности подачи воды на тушение кромки низового лесного пожара [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 4 (56). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

24. Денисов, А.Н. Обоснование необходимости применения робототехнических средств для повышения тактических возможностей пожарных подразделений / А.Н. Денисов, С.Г. Цариченко, К.С. Власов // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2014. – № 4. – С. 53–60.

25. Денисов, А.Н. Алгоритмизация ведения оперативно-тактических действий при тушении пожара в двустенном резервуаре с нефтепродуктом [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, М.М. Данилов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 5 (57). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

26. Денисов, А.Н. Моделирование пожаротушения мобильными средствами в резервуаре с двойной стенкой [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, М.М. Данилов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 5 (57). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

27. Денисов, А.Н. Управление пожарными подразделениями при тушении лесных пожаров в ветреную погоду [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, С.В. Гундар, Д.В. Фролов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 6 (58). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

28. Денисов, А.Н. Интенсивность подачи воды на тушение кромки низовых лесных пожаров / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2014. – № 7 (том 23). – С. 80-85.

29. Денисов, А.Н. Принятие управленческого решения при тушении пожара на основе опорного плана [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, С.Н. Захаревская, Н.М. Хыюнг // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – № 4 (62). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

30. Денисов, А.Н. Управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в быстровозводимых складских зданиях 4-5 степени огнестойкости [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Н.М. Хыюнг, Д.Ю. Пигусов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – № 4 (62). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

31. Денисов, А.Н. Методика оценки тактических возможностей робототехнических средств при тушении пожара [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 2 (66). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

32. Денисов, А.Н. Методика управления оперативно-тактическими действиями пожарных подразделений при тушении пожаров в зданиях жилого сектора [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Ю.В. Прус, О.И. Степанов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 2 (66). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

33. Денисов, А.Н. Методика анализа показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, К.С. Власов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 3 (67). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

34. Денисов, А.Н. Методы оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений для зданий повышенной этажности [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Р.А. Усманов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 4 (68). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

35. Денисов, А.Н. Обоснование проблемы моделирования оперативно-тактических действий при тушении пожаров в высотных зданиях [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Р.А. Усманов, А.Н. Лавровский // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 5 (69). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

36. Денисов, А.Н. Задача управления пожарно-спасательными подразделениями при эвакуации и спасении людей из многоэтажных зданий [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Р.Н. Джангиев, Р.А. Усманов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2017. – № 1 (71). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

37. Денисов, А.Н. Формализация задачи управления на позиции по тушению пожара [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2017. – № 2 (72). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

38. Денисов, А.Н. Моделирование задачи управления пожаротушением мобильными средствами складов инженерных боеприпасов [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Е.В. Крюков // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2017. – № 2 (72). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

39. Денисов, А.Н. Структура системы управления пожарно-спасательными подразделениями на начальном этапе пожаротушения [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, О.И. Степанов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2017. – № 3 (73). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

40. Денисов, А.Н. Базовые положения теории управления пожаротушением мобильными средствами / А.Н. Денисов // Успехи современной науки: международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 3 (том 6). – С. 172-176.

41. Денисов, А.Н. Комбинированный метод тушения пожаров в высотных зданиях с использованием насосно-рукавной системы высокого давления / А.Н. Денисов и др. // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2017. – № 8 (том 26). – С. 56-64.

42. Денисов, А.Н. Основы математического моделирования управления пожарно-спасательными подразделениями при введении огнетушащих средств

[Электронный ресурс] / А.Н. Денисов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2017. – № 4 (74). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

Монографии:

43. Денисов А.Н. Управление пожарными подразделениями (выезд и следование): монография / А.Н. Денисов. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 87 с.

44. Денисов, А.Н. Управление силами и средствами при тушении пожаров (тактические возможности пожарных подразделений): монография / А.Н. Денисов, А.Н. Григорьев, С.В. Гундар. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 112 с.

45. Денисов, А.Н. Управление силами и средствами при тушении пожаров (тушение лесных пожаров силами ФПС МЧС России): монография / А.Н. Денисов, А.Н. Григорьев, С.В. Гундар. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 151 с.

46. Денисов, А.Н. Принятие решений при опорных действиях пожаротушения нефтяных резервуаров: монография / А.Н. Денисов, С.В. Гундар, М.М. Данилов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – 116 с.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

47. Денисов А.Н. Оценка ОТД /Власов К.С.// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616432 от 23 июня 2014 г.

48. Денисов А.Н. Совмещенный график /Власов К.С.// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616625 от 30 июня 2014 г.

49. Денисов А.Н. Расчет сил и средств для пожаротушения в зданиях с низкой устойчивостью при пожаре /Степанов О.И., Логвинок Д.А.// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618567 от 02 августа 2016 г.

50. Денисов А.Н. Расчёт NRS /Захаревский В.Б., Данилов М.М.// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661086 от 29 сентября 2016 г.

51. Денисов А.Н. CS fire gusher /Захаревский В.Б., Данилов М.М.// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615310 от 12 мая 2017 г.

52. Денисов А.Н. Расчёт NRS(L) /Захаревский В.Б., Данилов М.М., Локтюхина А.А.// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615760 от 21 мая 2017 г.

53. Денисов А.Н. CS fire oil tank /Захаревский В.Б., Данилов М.М.// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615759 от 23 мая 2017 г.

Денисов Алексей Николаевич

**МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ
ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ
ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать 26.03.2018 г.

Формат бумаги 60×90 1/16

Тираж 150 экз.

Заказ № 292

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4