

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ  
Академия Государственной противопожарной службы

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)

Диссертация  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор  
Топольский Николай Григорьевич

Москва – 2018

## Оглавление

Введение .....	4
Глава 1. Исследование методологических вопросов поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров .....	15
1.1. Многомерный анализ показателей управления пожаротушением .....	15
1.2. Основные методологические понятия и принципы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями .....	26
1.3. Модели управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров .....	55
Выводы по 1 главе .....	80
Глава 2. Формализация при моделировании управления пожарно-спасательными подразделениями на месте пожара .....	85
2.1. Методологические вопросы синтеза и оптимизации структуры управления на пожаре .....	85
2.2. Метод формализации и постановки задач управления пожаротушением ..	89
2.3. Модели и алгоритмы постановки задач управления пожаротушением ....	105
Выводы по 2 главе .....	115
Глава 3. Метод и алгоритмы распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий .....	118
3.1. Постановка задач управления и принятия решений на месте пожара .....	118
3.2. Метод распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий .....	126
3.3. Алгоритмы принятия решений при оперативном управлении пожаротушением .....	138
3.3.1. Алгоритм принятия управленческого решения .....	138
3.3.2. Алгоритм упорядочения частных управленческих решений .....	142
3.3.3. Алгоритм генерирования управленческих решений .....	147
3.4. Модель достаточности сил и средств пожаротушения .....	150
3.4.1. Организационная система управления при пожаротушении на открытой местности .....	152
3.4.2. Алгоритм поддержки принятия управленческого решения о достаточности сил и средств для тушения пожара на открытой местности ..	162
Выводы по 3 главе .....	168
Глава 4. Поддержка принятия решения при тушении пожаров .....	172
4.1. Формирование моделей управления при пожаротушении .....	172
4.2. Метод нормативных состояний оперативно-тактических действий .....	180
4.3. Модель и алгоритмы оптимизации структуры сил и средств на пожаре ..	191
4.3.1. Алгоритм решения управленческой задачи оптимизации структуры сил и средств на пожаре .....	194

4.3.2. Алгоритм определения оптимального значения сил и средств методом нормативных состояний оперативно-тактических действий при пожаротушении .....	201
4.3.3. Метод поддержки принятия решения по тушению пожара .....	208
4.4. Модель оценки эффективности решения задач управления и принятия решений .....	219
Выводы по 4 главе .....	241
Глава 5. Методы поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями .....	245
5.1. Способы прекращения горения .....	245
5.2. Граничные условия для поддержки управленческого решения на локализацию пожара .....	247
5.3. Методы поддержки управления и принятия решений при тушении пожаров пожарно-спасательными подразделениями .....	249
5.3.1. Пространственный метод поддержки управления .....	253
5.3.2. Энергетический метод поддержки управления .....	254
5.3.3. Пространственно-временные методы поддержки управления .....	255
Выводы по 5 главе .....	287
Заключение .....	290
Список сокращений .....	294
Список литературы .....	296
Приложение А. Производные понятия пожаротушения .....	345
Приложение Б. Зависимость глубины тушения пожарного ствола от типа здания и сооружения .....	355
Приложение В. Динамическая дискретная модель работы пожарного по прокладке рукавной линии как элемент подсети, моделирующей исходное размещение и процесс перемещения сил и средств .....	358
Приложение Г. Модель управления силами и средствами при тушении пожара в виде сети Петри на примере пожара .....	362
Приложение Д. Расчёт синтетической информационной меры количества полной структурной информации в системе управления на пожаре .....	370
Приложение Е. Оценка информационно-содержательного ресурса в информации с места пожара .....	371
Приложение Ж. Принятие решения по выбору метода поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара .....	372
Приложение З. Акты о внедрении результатов диссертационной работы .....	386

## Введение

**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 может 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 осуществлении 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 позволяющая 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. [1], Bertalanfi L. fon. [2], Blyeir D.H. [3], Dzharratano D. [4], Eom S.B. [5, 6], Fishbern P. [7], Gig Dzh., van [8], Ginzberg M.J. [9], Keen P.G.W. [10–12], Kini R.L. [13], Mesarovich M. [14, 15], Michael C. Jackson [16], Nauman Ye. [17], Pollak R.Ye. [3, 18], Raifa H. [13, 19],

Raili G. [4], Saati T.L. [20–24], Scott Morton M.S. [12, 25], Simon H.A. [26], Uotermen D. [27], Yeshbi U.R. [28], а также другие авторы.

Методология системного подхода (Болтянский В.Г. [29–30], Бурков В.Н. [31–39], Кульба В.В. [40–43], Ларичев О.И. [44–46], Моисеев Н.Н. [47–51], Новиков Д.А. [52–62], Петровский А.Б. [63–66], Прангишвили И.В. [67, 68], Пригожин И.Р. [69], Трахтенгерц Э.А. [70–76], Черноруцкий И.Г. [77–79], Шапиро Д.И. [80, 81] 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. [82–84], Артамонов В.С. [85, 86], Белозеров В.В. [87–90], Брушлинский Н.Н. [91–96], Гаврилей В.М. [97, 98], Глуховенко Ю.М. [99, 100], Демехин Ф.В. [101–103], Евграфов П.М. [104–106], Кафидов В.В. [107, 108], Качанов С.А. [109–111], Коробко В.Б. [112–114], Косоруков О.А. [115–117], Матюшин А.В. [118–120], Мешалкин Е.А. [121–124], Микеев А.К. [125, 126], Минаев В.А. [127–129], Ноженкова Л.Ф. [130–132], Овсяник А.И. [129, 133, 134], Порошин А.А. [135–137], Пранов Б.М. [138–141], Прус Ю.В. [142–144], Седнев В.А. [145, 146], Семиков В.Л. [147, 148], Соколов С.В. [149–151], Таранцев А.А. [152–154], Тетерин И.М. [155, 156], Топольский Н.Г. [157–161], Харисов Г.Х. [162, 163], Членов А.Н. [164, 165] 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; поддержки 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.

## **Глава 1. Исследование методологических вопросов поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров**

Сущностью методологии поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров является её организация как системы основополагающих идей и знаний (понятий, правил, принципов и оценок эффективности), базирующихся на принципах системного подхода, реализованной математическими средствами (моделями, методами и алгоритмами), а также логика управления процессом создания, совершенствования и использования моделей, методов и алгоритмов функционирования системы управления при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории, на различных уровнях управления и анализа её эффективности.

Методология поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров определяет:

- последовательность разработки и научный аппарат организации ведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на объектах экономики и социальной инфраструктуры, а также представление их на различных уровнях системы управления на пожаре;
- состав и структуру системы поддержки управления при пожаротушении на объектах экономики и социальной инфраструктуры, синтеза и оптимизации оперативно-тактических действий, а также обеспечение требуемого качества её работы;
- разбиение множества сил и средств пожарно-спасательного гарнизона на подмножества подразделений и средств используемых при пожаре.

### **1.1. Многомерный анализ показателей управления пожаротушением**

Одним из факторов, дестабилизирующих социально-экономическую обстановку в стране и наносящих государству значительные материальные

потери, являются пожары. Ежегодно регистрируется более 190 тыс. пожаров, в которых гибнет около 15 тыс. человек и столько же получают травмы и увечья.

По сложившейся многолетней практике [166, 167] деятельность пожарных подразделений принято оценивать по темпу прироста статистических показателей относительно времени или сравнением между различными категориями (субъекты Российской Федерации, муниципальные образования, объекты, время реагирования и т. д.). Проведем многомерный статистический анализ параметров, влияющих на принятие управленческого решения и зависящих от его качества [168, 169].

В настоящее время ряд показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений (время следования к месту вызова, подачи первого пожарного ствола, локализации и ликвидации пожара и др. [166]) используется в виде наиболее объективных характеристик эффективности деятельности пожарно-спасательных подразделений по тушению пожаров. Поэтому они заложены в методики для установления параметров функционирования оперативных пожарно-спасательных подразделений на разных уровнях управления ими.

Анализ статистических данных, проведённый на основе показателей федеральной государственной информационной системы «Федеральный банк данных «Пожары» (ФГИС «Пожары»), показывает устойчивую тенденцию к снижению показателей средних времен локализации и ликвидации пожара, а с 2007 года и среднего времени следования (рис. 1.1) [166–172].

Изменения в локальных нормативных актах также вносят свой вклад в изменение (снижение) показателей пожаротушения пожарными подразделениями. Резкое снижение среднего времени ликвидации пожаров с 2009 года произошло после разделения в соответствии с Порядком учета пожаров [173] данного показателя на показатели – «Ликвидация открытого горения» и «Ликвидация последствий пожара», что позволило учитывать отдельно периоды времени активного ведения оперативно-тактических действий и действий по проливке,



разбору конструкций и окарауливанию пожара, когда не требуется привлечения большого количества сил и средств.

Визуально на графике (рис. 1.1) выделяются два временных периода показателей оперативного реагирования до 2006 г. и после. Применяв метод аналитического выравнивания, выявлены основные тенденции (тренды) изменения показателей за рассматриваемые периоды времени (рис. 1.2) [168, 169, 174]. Линейные функции и основные расчетные значения, обосновывающие соответствие вышеупомянутых трендовых моделей фактической ситуации, а также достоверность прогнозов приведены в таблице 1.1.

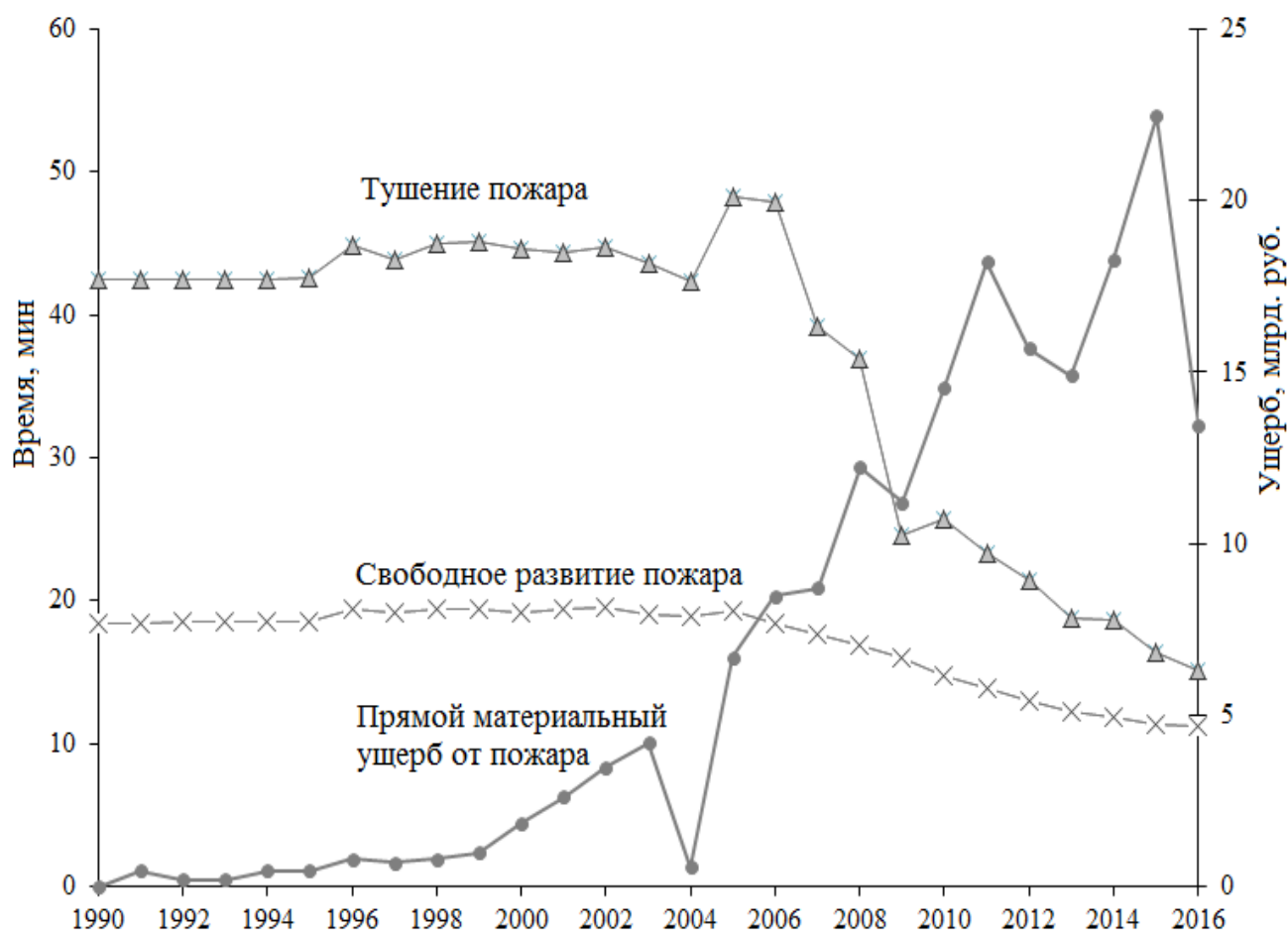


Рисунок 1.1 – Динамика изменения параметров оперативного реагирования пожарно-спасательными подразделениями и прямого материального ущерба от пожаров

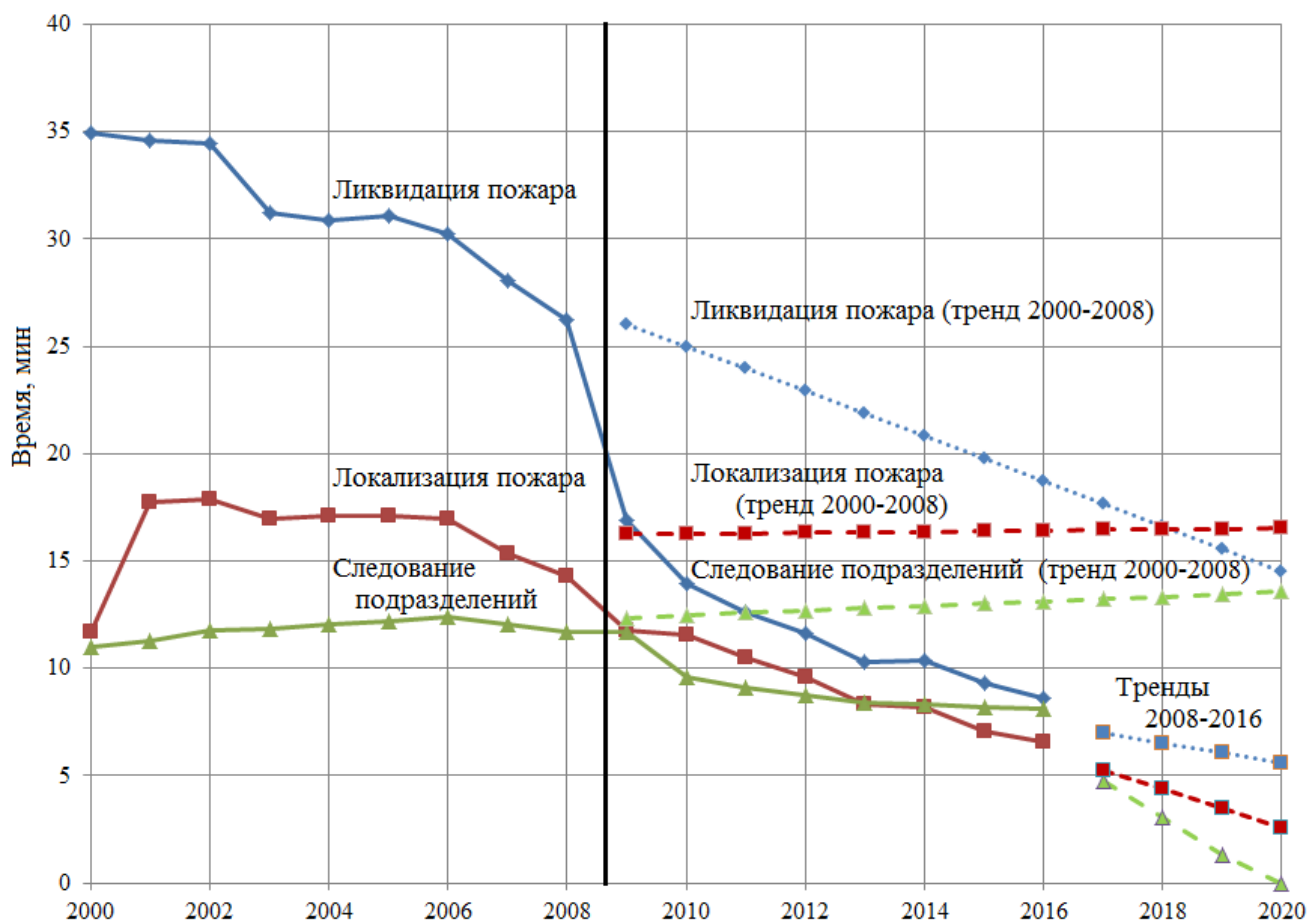


Рисунок 1.2 – Динамика показателей оперативного реагирования (пунктиром показаны прогнозы для показателей) пожарно-спасательных подразделений на пожары

Таблица 1.1 – Функциональные зависимости

Показатель оперативного реагирования	Период времени, год	Размер выборки, n	Вид функции	Коэффициент детерминации, $R^2$	Стандартное отклонение, $\sigma^2$
Следование	1998-2008	11	$t = -0,074 d + 11,34$	0,489	0,253
Локализация		11	$t = -0,441 d + 19,97$	0,881	0,536
Ликвидация		11	$t = -1,336 d + 41,01$	0,980	1,090
Следование	2009-2016	8	$t = -0,26 d + 10,47$	0,880	0,321
Локализация		8	$t = -0,514 d + 11,74$	0,928	0,184
Ликвидация		8	$t = -0,45 d + 13,79$	0,765	0,124
Количество пожаров	2002-2016	16	$t = -4,7923 d + 231,58$	0,755	0,234

Примечания:

1) нумерация строк таблицы соответствует нумерации линий трендов на графике (рис. 1.2);

2) в функциях приняты относительные значения параметров:  $d$ , где 1 соответствует 1998 году;  $d_1$ , где 1 соответствует 2002 году.

Для всех рассматриваемых моделей коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) близки к максимальному значению – 1, и низкие значения стандартных отклонений ( $\sigma^2$ ) позволяют сделать вывод о том, что предлагаемые зависимости приемлемы для изучения процесса пожаротушения на некотором ограниченном временном интервале. Исключение составляет только зависимость для времени следования во временном интервале с 1998 по 2008 гг., где  $R^2 = 0,489$ . Это объясняется тем, что значение коэффициента детерминации в течение рассматриваемого интервала, имея незначительную тенденцию к росту, практически не изменялось.

Анализ прогнозов трендовых моделей управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении оперативно-тактических действиях (рис. 1.2) свидетельствует, что рассматриваемые показатели оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений начинают приближаться к некоторым пороговым значениям, дальнейшее снижение которых при существующих условиях невозможно. Например, по прогнозу в 2020 году среднее время локализации пожара в Российской Федерации должно приблизиться к нулю и к 2029 году пожары не будут фиксироваться. То есть к 2020 году на каждый пожар должно прибывать такое количество сил и подаваться такое количество огнетушащих средств (ОС), чтобы пожар ликвидировался в тех размерах, какие он принял на момент прибытия пожарно-спасательных подразделений. Следовательно, 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 [175].

Из вышеприведённого делаем вывод о том, что снижение показателей оперативного реагирования как одно из направлений повышения эффективности

деятельности оперативных пожарно-спасательных подразделений в ближайшие время должно достигнуть своего естественного предела.

В качестве одного из вариантов решения обозначенной проблемы предлагается расширить диапазон рассматриваемых причинно-следственных связей и приоритетов в деятельности оперативных пожарно-спасательных подразделений, для этого проанализировать взаимное влияние следующих показателей [176, 177]: продолжительность свободного горения ( $S_{\text{Гор}}$ , мин); продолжительность тушения пожара ( $T_{\text{туш}}$ , мин); количество погибших при пожаре людей ( $N_{\text{Гиб}}$ , чел); количество людей, травмированных на пожаре ( $N_{\text{Трав}}$ , чел); уничтоженную и поврежденную пожаром поэтажную площадь ( $S_{\text{п}}$ ,  $\text{м}^2$ ); количество пожарной техники, задействованной на пожаре ( $N_{\text{Па}}$ , ед); материальный ущерб от пожара ( $U_{\text{щ}}$ , руб); расстояние от пожарного депо до места пожара ( $R_{\text{расст}}$ , км); количество пожарных стволов, поданных на тушение пожара и (или) защиту ( $N_{\text{Ств}}$ , ед); создание оперативного штаба пожаротушения ( $N_{\text{Штаб}}$ , ед); условия, способствовавшие развитию пожара (цифра от 1 до 7).

Графическую интерпретацию предполагаемого влияния вышеприведенных показателей отобразим в виде ориентированного графа (рис. 1.3). Для показателей, вошедших в группы – способствовавшие развитию пожара – введена цифровая метка – «целое число ` целое число», ключом к расшифровке которой является то, что до знака «апостроф» (') заносится номер группы исследуемых показателей, а после него – код показателя, в соответствии с содержимым приложения 2 таблицы 17 [176, 177]. Например, метку «5`45» следует трактовать как – поздняя подача ОС в очаг пожара подразделениями пожарной охраны в результате неисправности пожарной техники на месте пожара.

Расчетные значения коэффициентов корреляции (таблица 1.2) проверялись по статистической значимости. При уровне значимости  $\alpha = 0,05$  из 137 связей не подтвердилось 28 и 27 соответственно для 2011 и 2012 годов, при более строгих условиях проверки  $\alpha = 0,01$  количество таких связей возросло до 31 и 33.

Статистические выборки за 2011 и 2012 годы показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений и других рассматриваемых

факторов принадлежат одной генеральной совокупности, поэтому возможно сравнить выборочные коэффициенты корреляции этих анализируемых совокупностей с целью нахождения совпадений генерального коэффициента корреляции, который характеризует всю генеральную совокупность случаев тушения пожаров на территории страны.

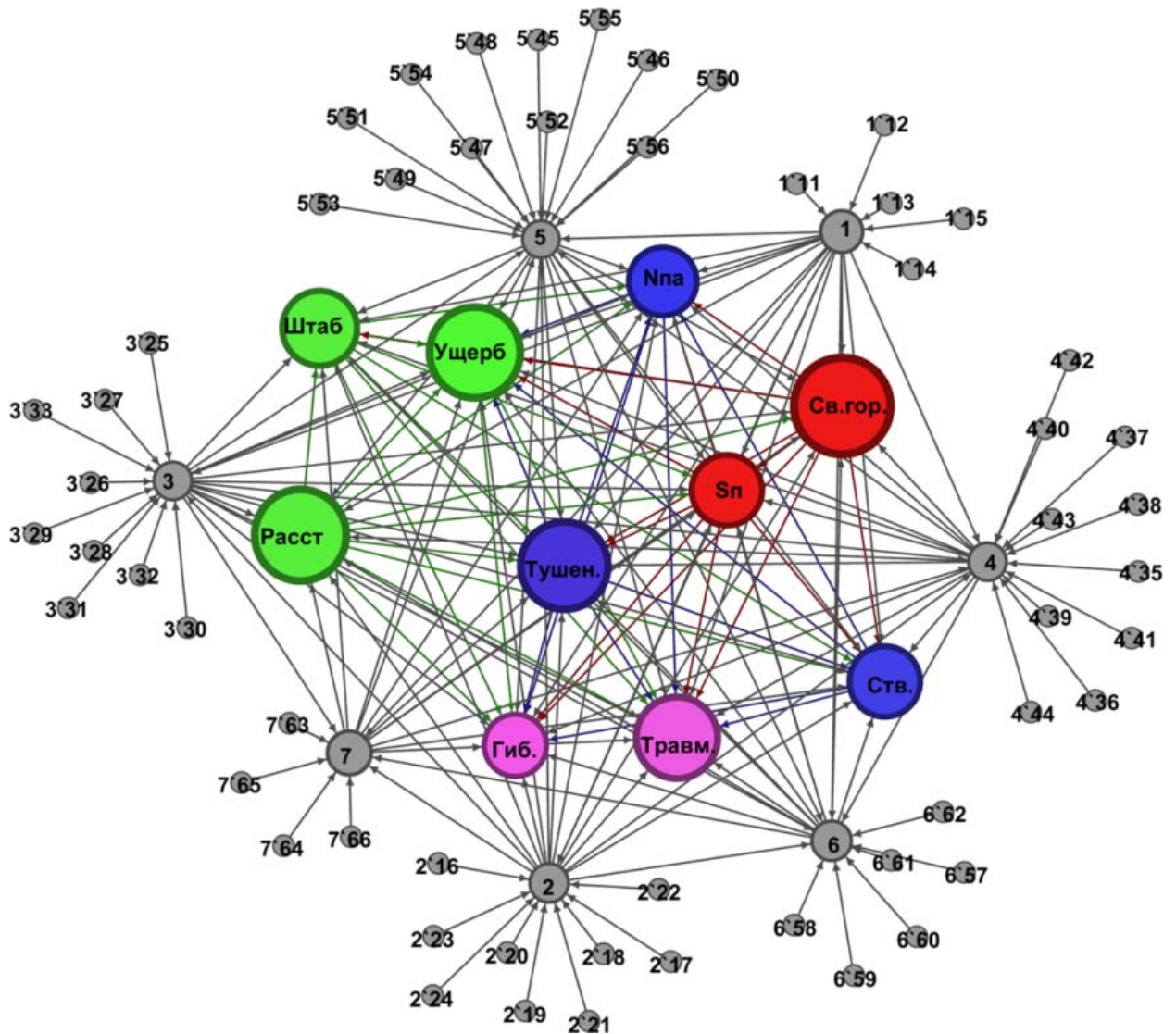


Рисунок 1.3 – Граф условий, характеризующих функционирование оперативных пожарно-спасательных подразделений на пожаре

Таблица 1.2 – Условия и показатели деятельности оперативных пожарно-спасательных подразделений

		Зависимый фактор																Всего влияний	
		Св.гор.	Тушен.	Гиб.	Травм.	S <sub>п</sub>	N <sub>па</sub>	Ущерб	Расст.	Ств.	Штаб	1	2	3	4	5	6		7
Влияющие условия	Св.гор.	-	л	т	т	л	л	л		л	т								8
	Тушен.		-	т	т		л	л		л									5
	Гиб.			-	ф														1
	Травм.			ф	-														1
	S <sub>п</sub>		л	т	т	-	л	л		л									6
	N <sub>па</sub>			т	т		-	л											3
	Ущерб			т	т			-											2
	Расст.	л	л	т	т	л	л	л	-	л	т								9
	Ств.			т	т		л	л		-									4
	Штаб		т	ф	ф	т	т	т		т	-								7
	1	т	т	ф	ф	т	т	т	т	т	ф	-	ф	ф	ф	ф	ф	ф	16
	2	т	т	ф	ф	т	т	т	т	т	ф		-	ф	ф	ф	ф	ф	15
	3	т	т	ф	ф	т	т	т	т	т	ф			-	ф	ф	ф	ф	14
	4	т	т	ф	ф	т	т	т	т	т	ф				-	ф	ф		12
5	т	т	ф	ф	т	т	т	т	т	ф					-	ф		11	
6	т	т	ф	ф	т	т	т	т	т	ф						-	ф	11	
7	т	т	ф	ф	т	т	т	т	т	ф				ф	ф		-	12	
Всего зависимостей		8	11	16	16	10	13	14	7	12	9	0	1	2	4	5	5	4	137

Примечания:

- 1) л – линейная корреляция Пирсона;
- 2) т – точечная бисериальная корреляция;
- 3) ф – контингенция Пирсона (φ – коэффициент).

Исследование нулевой гипотезы о незначимости различий среди сопоставляемых значений коэффициентами корреляции произведена по формуле:

$$|z| = \frac{1}{2} \cdot \left| \ln \left[ \frac{(1+r_1) \cdot (1-r_2)}{(1-r_1) \cdot (1+r_2)} \right] \right| \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{n_1-3} + \frac{1}{n_2-3}}},$$

где  $r_1, r_2$  – значения коэффициентов корреляции соответственно для 2011 и 2012 гг.;  $n_1$  и  $n_2$  – размеры выборок.

В результате проверки значимости различий коэффициентов корреляции, для дальнейших исследований приняты данные за 2012 год, из которых исключены данные по 64 связям, не соответствующим критерию  $z \leq 1,960$ , на основе которых построен ориентированный нагруженный граф из 17 вершин и 45 ребер (связей), вес ребер соответствует абсолютным значениям корреляции и изображается линиями разной толщины.

Направления связей выбраны на основе метода экспертных оценок. Для показателей «Гибель» и «Травмы» направления влияния, принято, что показатели оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений могут оказывать на них воздействие, при этом обратные влияния отсутствуют. У таких пар показателей, как «Площадь пожара» – «Время тушения», «Количество пожарных стволов» – «Количество пожарной техники» и др., в зависимости от обстановки на пожаре направление влияния может неоднократно меняться, поэтому условно приняты направления, соответствующие последовательности проведения расчета сил и средств пожарно-спасательных подразделений на тушение пожара [175, 178].

После удаления некоторых связей (не входящих в рамки настоящего исследования) и перераспределения узлов графа (рис. 1.3) сформируем новые ориентированные графы при помощи программного обеспечения для визуализации и исследования графов [179] и использованием алгоритма Yifan Hu Proportional, который разобьём на два подграфа – по отрицательным

(рис. 1.4) и положительным (рис. 1.5) значениям коэффициентов корреляции, с целью упрощения структуры основного графа для анализа его топологии.

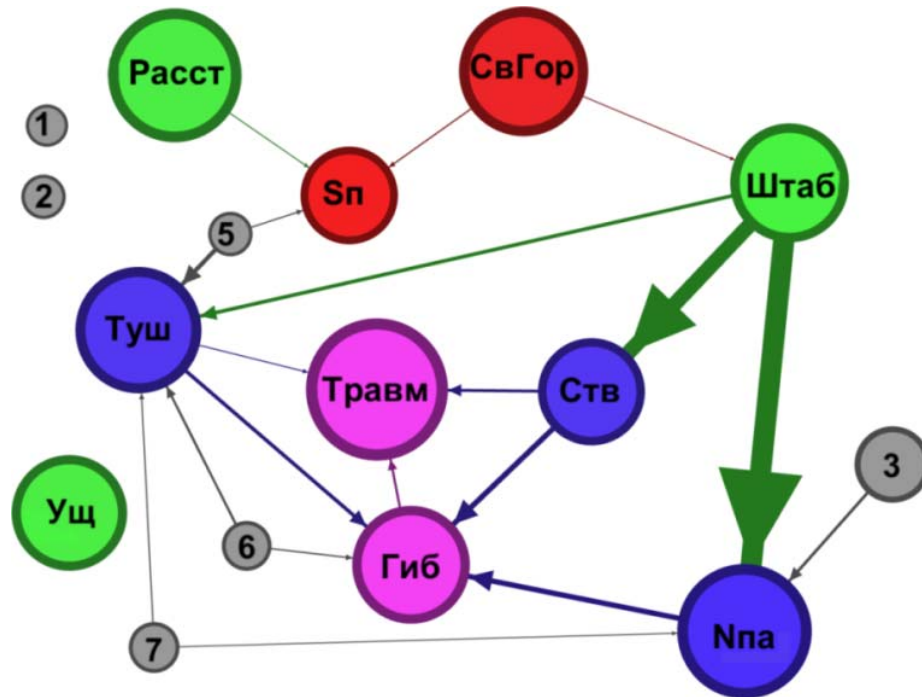


Рисунок 1.4 – Граф условий, характеризующих функционирование оперативных пожарно-спасательных подразделений на пожаре (по отрицательным значениям коэффициентов корреляции)

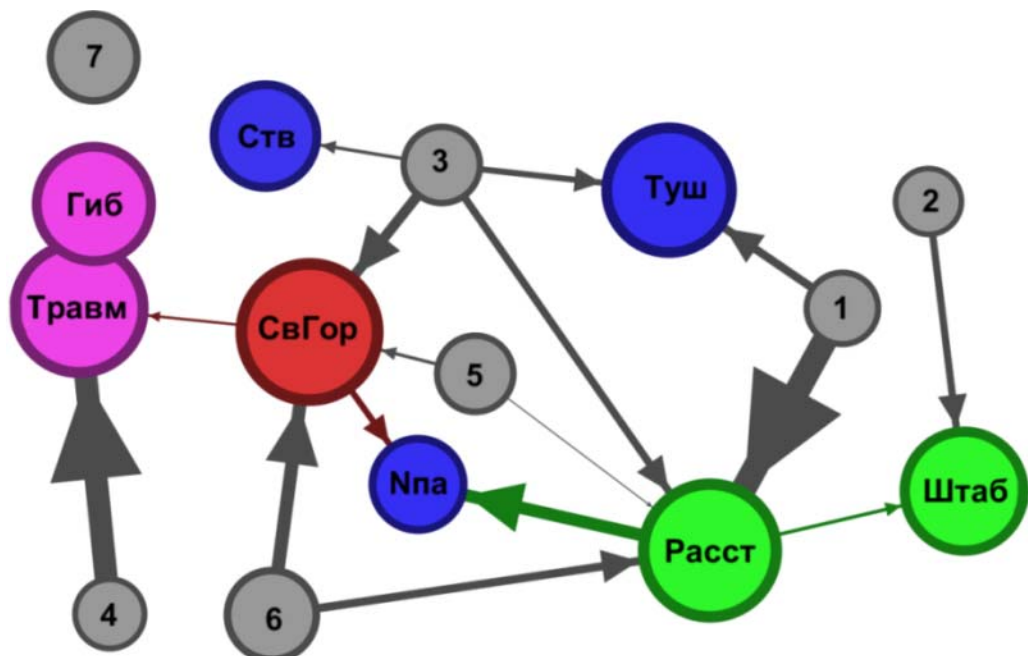


Рисунок 1.5 – Граф условий, характеризующий функционирование оперативных пожарно-спасательных подразделений на пожаре (по положительным значениям коэффициентов корреляции)



На графе с обратными связями (рис. 1.5) отображены варианты, характеризующие увеличение влияющего фактора, которое приводит к пропорциональному уменьшению зависимого. При этом связи между условиями развития пожара (рис. 1.3) исключены из рассмотрения в рамках настоящего исследования, т. к. являются только статистическими отношениями.

Анализ графа (рис. 1.4) позволяет сделать некоторые организационные и управленческие выводы: на создание оперативного штаба пожаротушения влияет количество пожарной техники ( $r = 0,298$ ) и количество подаваемых на тушение пожарных стволов ( $r = 0,212$ ), и в достаточно меньшей степени ( $r = 0,048$ ) – продолжительность тушения пожара и увеличение площади пожара ( $r = 0,014$ ). Продолжительность тушения пожара в первую очередь влияет на гибель и травмирование личного состава ( $r = 0,048$ ). Гибель и травмирование людей на пожаре также зависят от количества привлекаемой на тушение пожарной техники ( $r = 0,071$ ) и количества подаваемых пожарных стволов ( $r = 0,073$ ), а также форс-мажорных обстоятельств ( $r = 0,016$ ). При увеличении фактического количества сил и средств пожарно-спасательных подразделений, сосредоточенных для локализации пожара, снижается эффективность управления силами и средствами пожарно-спасательных подразделений.

Совокупность перечисленных обстоятельств характерна для пожаров на сложных в пожарно-тактическом отношении объектах экономики и социальной инфраструктуры, характеризующихся наличием на них большого количества людей, сложной планировкой и т. п., а также привлечением пожарно-спасательных подразделений по повышенным номерам вызова, управление которыми на пожаре является сложным многоуровневым процессом управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями.

## **1.2. Основные методологические понятия и принципы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями**

Управлению пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров (пожаротушении) и выполнении аварийно-спасательных работ присущ многогранный подход к объекту изучения и применению результатов, наследуемых из смежных дисциплин – гуманитарных и естественных, с которыми оно тесно связано. Поддержка управления при пожаротушении устанавливает и разрешает разнообразные социальные и экономические проблемы, в первую очередь практические и, конечно же, познавательные, одни из них относятся к прошлому, другие – к настоящему.

Теория управления пожаротушением состоит из двух уровней: ментального и языкового. В ментальной форме теория состоит из ментальных понятий, аспектами которых выступают мысли и чувства невысказанных суждений и умозаключений участников тушения пожара. В языковой форме теория содержит языковые понятия (предикаты, предложения, тексты) [179, 180]. Общезначимый, интерсубъективный характер поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров и выполнении аварийно-спасательных работ приобретает только в языковой, речевой или в письменной форме.

Пожаротушение мобильными средствами в отношении теории управления содержит следующие концепты [180, 181]: понятия [175, 176, 182–198]; правила [199]; принципы [186, 200–206]; эффективность [82, 93–95, 107, 136, 137, 146, 200, 203, 207–250]; методы [99, 144, 251–261] (рис. 1.6).

### **Понятия и определения для формализации и постановки задач управления**

В любой теории законы (закономерности) выступают как связь понятий, поэтому они всегда выражаются функциями с несколькими переменными. Понятия – это наипростейшие концептуальные формы теории, которые

представляют теоретический образ признаков, свойств и отношений изучаемых объектов [180].

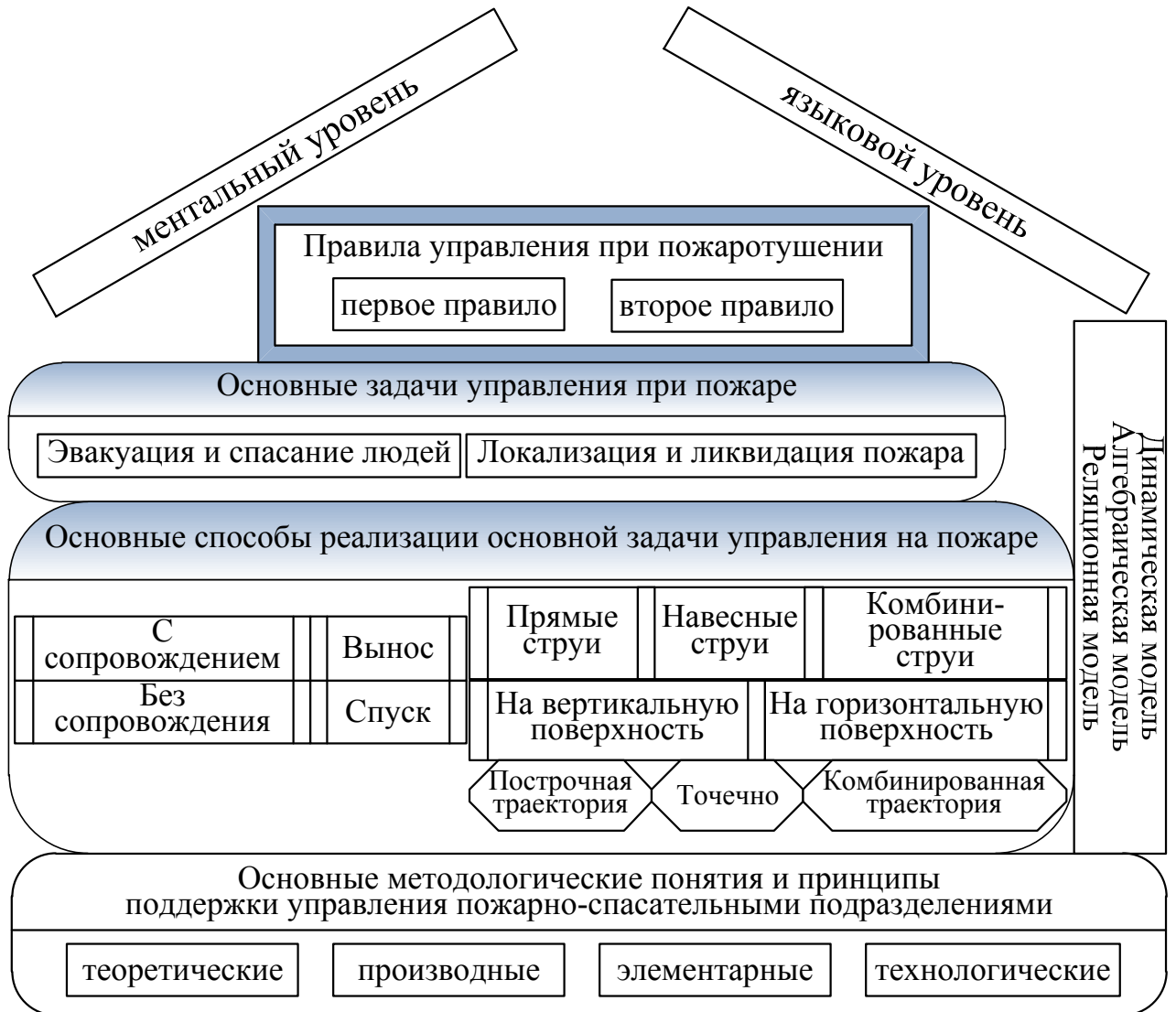


Рисунок 1.6 – Функциональная схема поддержки управления при пожаротушении

В рамках настоящего исследования используются следующие производные (теоретические и технологические (приложение А), элементарные и основные теоретические понятия: система оперативного управления пожаротушением мобильными средствами, качество, эффективность.

Единого, формального определения системы управления пожаротушением в настоящее время нет. Есть только производные понятия.

Определение 1.1. Оперативно-тактические действия – действия, предназначенные для реализации оперативно-тактических и инженерно-технических мероприятий (за исключением мероприятий по обеспечению первичных мер пожарной безопасности).

Тушение пожара – процесс воздействия сил и средств пожаротушения, а также использование методов и приемов для ликвидации пожара [262]. Краткая форма – «Пожаротушение».

Мобильные средства пожаротушения – это транспортируемые или транспортные пожарные автомобили, предназначенные для применения личным составом пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров [186].

Система. В настоящее время существует достаточно много определений этого понятия [11, 28, 263–273].

Относительно управления пожарной безопасностью при пожаротушении мобильными средствами, под системой управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров будем понимать принятие РТП управленческих решений в отношении совокупности элементов (личный состав, пожарные автомобили, пожарно-техническое оборудование, огнетушащие вещества и средства и др.), состоящих в связях и отношениях между собой, составляющих конкретизированную единство и целостность в результате операции выделения, при этом не сводящейся к свойствам элементов, входящих в это множество, в реально складывающейся или сложившейся оперативной ситуации на пожаре.

Исследователи систем, как правило, выделяют только те элементы и явления, которые отвечают цели исследования, поэтому это понятие носит субъективный и теоретический характер. При этом содержательное понятие системы носит и объективный характер, и цепочка «система – подсистема ↔ подсистема – элемент» образует диалектические противоположности как часть и целое.

Поэтому предлагается следующее обобщающее определение: система пожаротушения мобильными средствами – множество ресурсов (людских, материальных, энергетических), предназначенных для тушения пожара и ликвидации чрезвычайной ситуации, находящихся в многообразных соотношениях и взаимосвязях в соответствии с предназначением, составляющих определенную цельность и единство (оперативный штаб, пожарно-спасательный гарнизон, участок тушения пожара, позиция по тушению пожара, личный состав и т. п.) в результате операции выделения (ведение оперативно-тактических действий), при этом не сводящееся к свойствам элементов, входящих в это множество.

Определение 1.2. Управление пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара и проведении аварийно-спасательных работ – это управленческое воздействие на силы пожарно-спасательного гарнизона с целью координации и регулирования связей сил и средств, предназначенных для процесса оперативно-тактических действий, складывающихся в результате разделения функций и целей, реализуемых РТП при различных внешних и внутренних изменениях обстановки на пожаре.

Определение 1.3. Поддержка управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара представляет собой оперативное управление текущими событиями, приводящее к выбору оперативно-тактического действия среди нескольких альтернатив, причём каждый процесс принятия решений заканчивается выбором действия – координацией и осуществляется на этапах оперативного планирования, оперативного учета, оперативного контроля.

### **Принципы и концептуальные утверждения для формализации и постановки задач управления**

Определение 1.4. Основными методологическими принципами управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара,

необходимыми при исследовании, разработке и применении сил и средств на пожаре, являются следующие принципы [50, 203, 204, 263, 270–273]:

принцип целевой эффективности – внешний целевой эффект, получаемый в управляемом объекте или процессе при его функционировании;

принцип развития – целевое изменение в пространстве свойств, сложности внутренних связей и отношений, необратимости изменений во времени, преемственности, целостности, существенного влияния качества на процессы управления пожаротушением мобильными средствами;

принцип вариативности – управление силами и средствами пожарно-спасательного гарнизона, рассматривающее различные варианты стратегий, планов, решений с целью выработки оптимального управляющего воздействия;

принцип избыточности – совместное и согласованное использование сил и средств пожарно-спасательного гарнизона для рационального обеспечения цели управления пожаротушением;

принцип антиэнтропийности – уменьшение неопределенности в знаниях о построении и функционировании системы управления пожарно-спасательными подразделениями за счет увеличения информированности при принятии управленческого решения;

принцип информационного баланса – обеспечение баланса суммарного количества осведомляющей (статистические данные, экспертная и оперативно-тактическая информация и т. п.) и управляющей (РТП, НУТ, НСТ) информации путем регулирования информационных потоков на пожаре;

принцип ситуационности – лучшее для РТП в отношении поставленных целей на данный момент времени управляющее решение;

принцип информированности – информированность органов управления о неопределенных (неконтролируемых) факторах, характеризующих возникающие в реальной обстановке ситуации (конкретное формализованное выражение критерия управления).

Практика управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров и анализ описаний пожаров свидетельствуют, что пожары индивидуальны, но при этом разнообразен сам процесс горения, как и условия, в которых происходит горение в помещении, и поэтому считается, что пожар по времени и в своем развитии минует следующие основные стадии (рис. 1.7) [200]: начальная стадия (I), развивающаяся стадия (II), развитая стадия (III), затухающая стадия (IV).

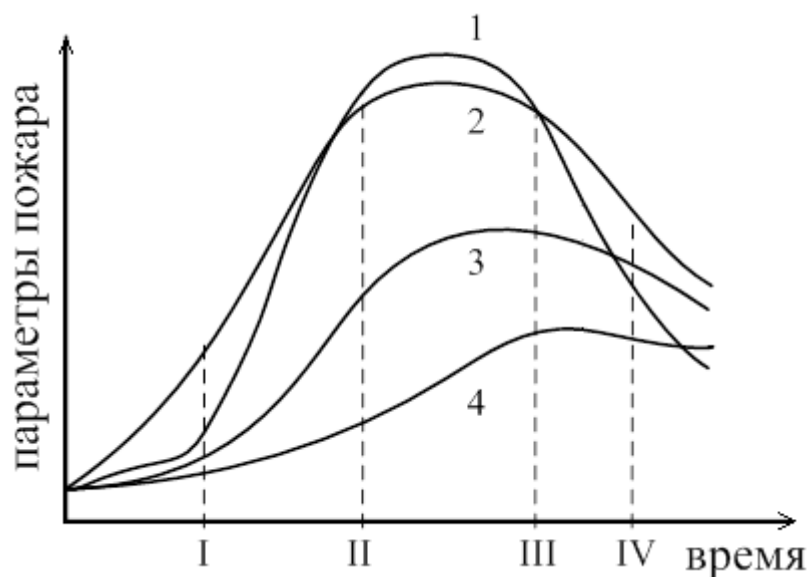


Рисунок 1.7 – Совмещённый график параметров пожара в помещении: 1 – среднеобъемная температура в помещении; 2 – скорость выгорания горючей нагрузки; 3 – температура поверхности строительной конструкции в помещении; 4 – теплотехнический параметр, определяющий огнестойкость строительной конструкции (температура прогрева защитного слоя) в помещении

Начальная стадия пожара. “Включает в себя период от времени возникновения горения до полного охвата пламенем (горением) поверхности горючей нагрузки. Продолжительность этой стадии зависит от вида и количества горючей нагрузки, мощности источника зажигания, конструктивно-планировочных характеристик помещения и может меняться в широких пределах. Эта стадия очень важна для оценки тенденции последующего

развития пожара, подготовки мероприятий по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожаре, обнаружению и тушению пожара” [200]. Эта стадия характеризуется неоднородностью температуры разных мест помещения, при этом её среднее значение и скорость изменения, как правило, небольшие. По характеру тепло- и массообменных процессов начальная стадия пожара аналогична локальным пожарам с переменной площадью горения.

Развивающаяся стадия пожара. “Включает в себя период от полного охвата пламенем поверхности пожарной нагрузки до достижения постоянной скорости выгорания материалов пожарной нагрузки” [200]. Эта стадия характеризуется резким увеличением скорости тепловыделения и интенсивным изменением температуры в помещении. В развивающейся стадии пожара на строительные конструкции воздействует стремительно увеличивающееся усиленное тепловое воздействие.

Развитая стадия пожара. “Пожар достигает наибольшей возможной интенсивности, все параметры, характеризующие развитие пожара (скорость выгорания, газообмен, концентрация продуктов сгорания, температура, тепловые потоки), имеют максимальные и практически постоянные значения” [200].

Затухающая стадия пожара. “Начинается с момента уменьшения скорости выгорания пожарной нагрузки и заканчивается моментом достижения исходного значения среднеобъемной температуры” [200]. Тепловыделение и средняя температура газовой среды в очаге пожара уменьшаются, однако в начале этой стадии остаются еще достаточно высокими и оказывают значительное тепловое воздействие на конструкции.

Очевидно, что горючая нагрузка в условиях реальной эксплуатации зданий (функциональная пожарная опасность) состоит из огромного количества горючих материалов и изделий. При решении частных вопросов все это многообразие по возможности необходимо учитывать. Переход начальной стадии пожара в объемный пожар возможен в случае, если пламя



распространяется на всю поверхность горючей нагрузки при значении среднеобъёмной температуры, не превышающей среднюю температуру газов в очаге, соответствующую моменту окончания начальной стадии пожара [200, 274–278].

Эти и ряд других (показатели: сосредоточения сил и средств, локализации и ликвидации пожара, увеличения площади пожара и общего расхода ОС и производных от них, во времени) концептуальных утверждений необходимы для разработки текстовой части раздела плана тушения пожара (ПТП), и их объединяют в пространственные, временные и скоростные параметры развития и тушения пожара.

### **Развитие пожара как граничное условие для формализации и постановки задач управления**

Пространственные параметры развития пожара (рис. 1.8, 1.9), (таблица 1.3) [84, 178, 204, 276–282]: площадь пожара –  $S_{п}$ ,  $m^2$ ; площадь пожара на момент локализации –  $S_{п}^{лок}$ ,  $m^2$ ; периметр пожара –  $P_{п}$ ,  $m$ ; фронт пожара –  $\Phi_{п}$ ,  $m$ .

Временные параметры развития пожара (рис. 1.8) [204, 276–282]: время свободного развития пожара –  $\tau_{св.р}$ ,  $мин$ ; время возникновения пожара –  $t_{возн}$ ,  $мин$ ; время введения первого пожарного ствола –  $t_{вв1}$ ,  $мин$ ; время локализации пожара –  $t_{лок}$ ,  $мин$ ; время ликвидации пожара –  $t_{лик}$ ,  $мин$ ; время тушения пожара –  $\tau_{тушк}$ ,  $мин$ .

Скоростные параметры развития пожара (таблица 1.3) [204, 279–283]: линейная скорость распространения пламени –  $V_{л}$ ,  $m/мин$ ; скорость роста площади пожара –  $V_{S_{п}}$ ,  $m^2/мин$ ; скорость роста периметра пожара –  $V_{P_{п}}$ ,  $m/мин$ ; скорость роста фронта пожара –  $V_{\Phi_{п}}$ ,  $m/мин$ .

Линейная скорость распространения пламени с ростом интенсивности горения изменяется: в первые 10  $мин$  свободного развития пожара линейная скорость распространения пламени ( $V_{л}$ ) при типовых расчётах считают равной половине нормативной линейной скорости распространения пламени ( $V_{л}^{норм}$ );

после 10 мин горения – нормативные значения ( $V_{л}^{норм}$ ), а с начала подачи ОВ в зону горения до локализации пожара, используемую, как правило, в расчёте нормативную линейную скорость распространения пламени ( $V_{л}^{норм}$ ) – уменьшают в два раза. При этом для ряда промышленных предприятий линейная скорость распространения пламени с ростом интенсивности горения не изменяется, а остаётся постоянной во времени и определяется по графику или таблице [178].

Согласно [200] первое пожарно-спасательное подразделение обязано прибыть к месту вызова за время, не превосходящее расчётной (нормативной) величины.

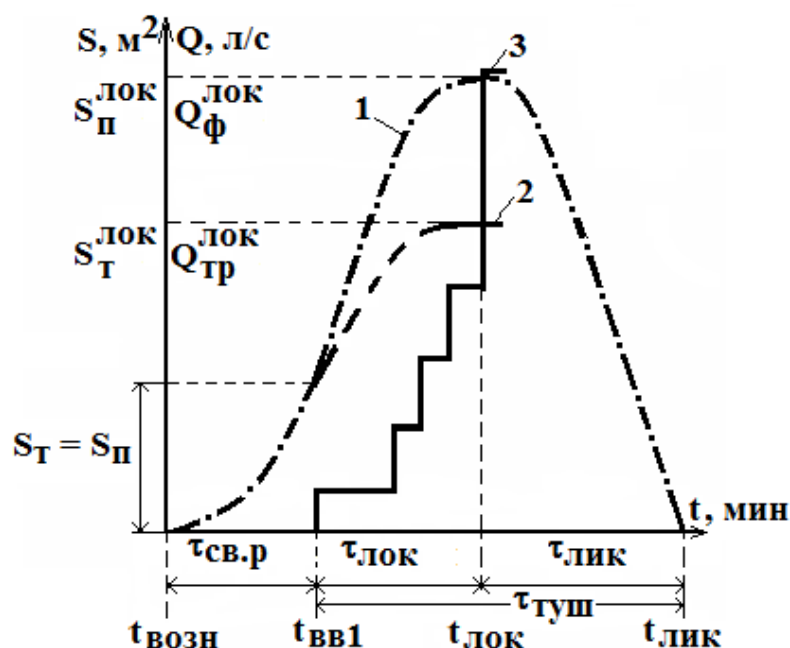


Рисунок 1.8 – Совмещенный график изменения во времени требуемого и фактического расходов ОВ и площади пожара:  $S_{т}^{лок}$  – площадь тушения на момент локализации;  $Q_{тр}^{лок}$ ,  $Q_{ф}^{лок}$  – соответственно требуемый, фактический расход (ломаная линия – 3) на момент локализации; кривая 1 – изменение площади пожара во времени  $S_{п} = f(t)$ ; кривая 2 – изменение площади тушения или требуемого на тушение расхода ОВ во времени  $S_{т}(Q_{тр}) = f(t)$  (при круговой форме развития пожара – пунктирная линия); ломаная 3 – изменение фактического расхода во времени  $Q_{ф} = f(t)$

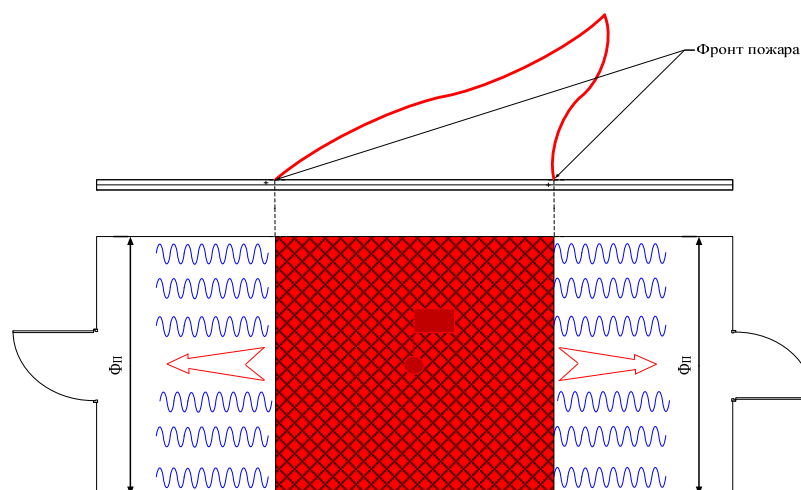


Рисунок 1.9 – Фронт горения на пожаре в здании [283]

Таблица 1.3 – Зависимости для определения параметров развития пожара

Параметр пожара	Вид развития пожара		
	круговой	угловой	прямоугольный
Площадь	$S_{\text{п}} = \pi \times L^2 = 0,75 \times D^2$	$S_{\text{п}} = k \times \pi \times L^2$	$S_{\text{п}} = a \times b = a(L_1 + L_2)^*$
Периметр	$P_{\text{п}} = 2 \times \pi \times L$	$P_{\text{п}} = L(2 + a)$	$P_{\text{п}} = 2(a + b) = 2(a + (L_1 + L_2))^*$
Фронт	$\Phi_{\text{п}} = 2 \times \pi \times L$	$\Phi_{\text{п}} = a \times L$	$\Phi_{\text{п}} = a \times n$
Линейная скорость распространения пламени	$V_{\text{л}} = \frac{\Delta L}{\Delta t}$		$V_{\text{л}} = \frac{b}{\Delta t}$
Скорость роста площади пожара	$V_{S_{\text{п}}} = S_{\text{п}} / t$		
	$V_{S_{\text{п}}} = \pi V_{\text{л}}^2 t$	$V_{S_{\text{п}}} = \pi a V_{\text{л}}^2 t$	$V_{S_{\text{п}}} = n a V_{\text{л}}^2$
Скорость роста периметра пожара	$V_{P_{\text{п}}} = P_{\text{п}} / \Delta t$		$V_{P_{\text{п}}} = \frac{2 \times b}{\Delta t} = 2 \times V_{\text{л}}$
	$V_{P_{\text{п}}} = 2\pi V_{\text{л}}$	$V_{P_{\text{п}}} = V_{\text{л}}(2 + a)$	
Скорость роста фронта пожара	$V_{\Phi_{\text{п}}} = \Phi_{\text{п}} / \Delta t$		Не изменяется
	$V_{\Phi_{\text{п}}} = 2\pi V_{\text{л}}$	$V_{\Phi_{\text{п}}} = a V_{\text{л}}$	
Площадь горения	$S_{\text{г}} = \mu S_{\text{п}}$		
Время свободного развития пожара	$\tau_{\text{св.р}} = \tau_{\text{д.с}} + \tau_{\text{пр}} [\tau_{\text{сб}} + \tau_{\text{сл}}] + \tau_{\text{пмс}}$		

Примечания:

- 1) \* – развитие горения в двух направлениях;
- 2)  $k$  – величина угла, в направлении которого происходит распространение пламени ( $1 = 360^0$ ;  $0,5 = 180^0$ ;  $0,25 = 90^0$ );
- 3)  $n$  – количество направлений развития пожара (по горизонтали), ед.;

4)  $\Pi$  – коэффициент развития пожара (1 – для производственных объектов; 0,5 – для прочих объектов);

5)  $\mu$  – величина горючей загрузки ( $< 1$ );

6)  $a$  – ширина площади пожара (здания, помещения),  $м$ ;

7)  $b$  – длина площади пожара (здания, помещения),  $м$ ;

8)  $L, L_1, L_2$  – путь, пройденный пламенем,  $м$ ;

9)  $t$  – время,  $мин$ ;  $\tau_{д.с}$  – “время до сообщения” – промежуток времени, начинающийся с момента обнаружения пожара до сообщения о нём в пожарную охрану (по статистике пожаров в стране составляет не менее пяти минут или исходя из опыта тушения аналогичных пожаров),  $мин$ ;  $\tau_{пр}$  – “время прибытия” – промежуток времени, начинающийся с момента сообщения о пожаре до прибытия первого пожарно-спасательного подразделения, включает  $\tau_{сб}$  – время, затрачиваемое на обработку вызова диспетчером, сбор и выезд по тревоге (принимается в соответствии с нормативами по пожарно-строевой подготовке – 1  $мин$  [201, 278, 280, 284, 285]) и  $t_{сл}$  – время следования к месту пожара пожарно-спасательных подразделений (принимается в соответствии с нормативами (10 и 20 минут) [120, 135, 186, 286–299]),  $мин$ ;  $\tau_{ппс}$  – “время подачи первого пожарного ствола” – промежуток времени, начинающийся с момента прибытия первого пожарно-спасательного подразделения до подачи первого пожарного ствола на тушение пожара (принимается в соответствии с нормативами по пожарно-строевой подготовке [201, 284, 293, 300]),  $мин$ .

### **Тушение пожара как граничное условие для оценки эффективности решения задач управления**

Пространственные параметры тушения пожара (рис. 1.8, 1.10, 1.11), (таблица 1.4): площадь тушения  $S_T, м^2$ ; глубина тушения  $h_T, м$ . Временные параметры тушения пожара: продолжительность ликвидации горения  $\Delta t_T, мин$ . Скоростные параметры тушения пожара (рис. 1.10, таблица 1.4 [84, 203, 278, 280]): требуемые  $I_{тр}$  и  $I_{ф}, л/с \cdot м^2$  фактические интенсивности подачи ОВ;

фактический  $Q_{\phi}$  и требуемый  $Q_{\text{тр}}$  расходы ОВ, л/с; фактический  $q_{\text{уд}}^{\phi}$  и требуемый  $q_{\text{уд}}^{\text{тр}}$  удельные расходы ОВ, л/м<sup>2</sup>; скорость тушения площади пожара  $V_{\text{т}}$ , м<sup>2</sup>/мин; скорость сосредоточения  $V_{\text{сос}}$ , мин.

Для прекращения распространения огня по фронту пожара управленческое воздействие заключается в организации подачи огнетушащих веществ с определенной интенсивностью. При этом должно выполняться неравенство [84, 203, 204, 278, 294]:

$$I_{\phi} > I_{\text{тр}}. \quad (1.1)$$

Для реализации этого условия (1.1) необходимо, чтобы фактический расход ОВ из введённых для ликвидации горения пожарных стволов превышал расчётное (требуемое на тушение) значение расхода [84, 181, 183, 203, 204, 278, 280] (рис. 1.8):

$$Q_{\phi} > Q_{\text{тр}}. \quad (1.2)$$

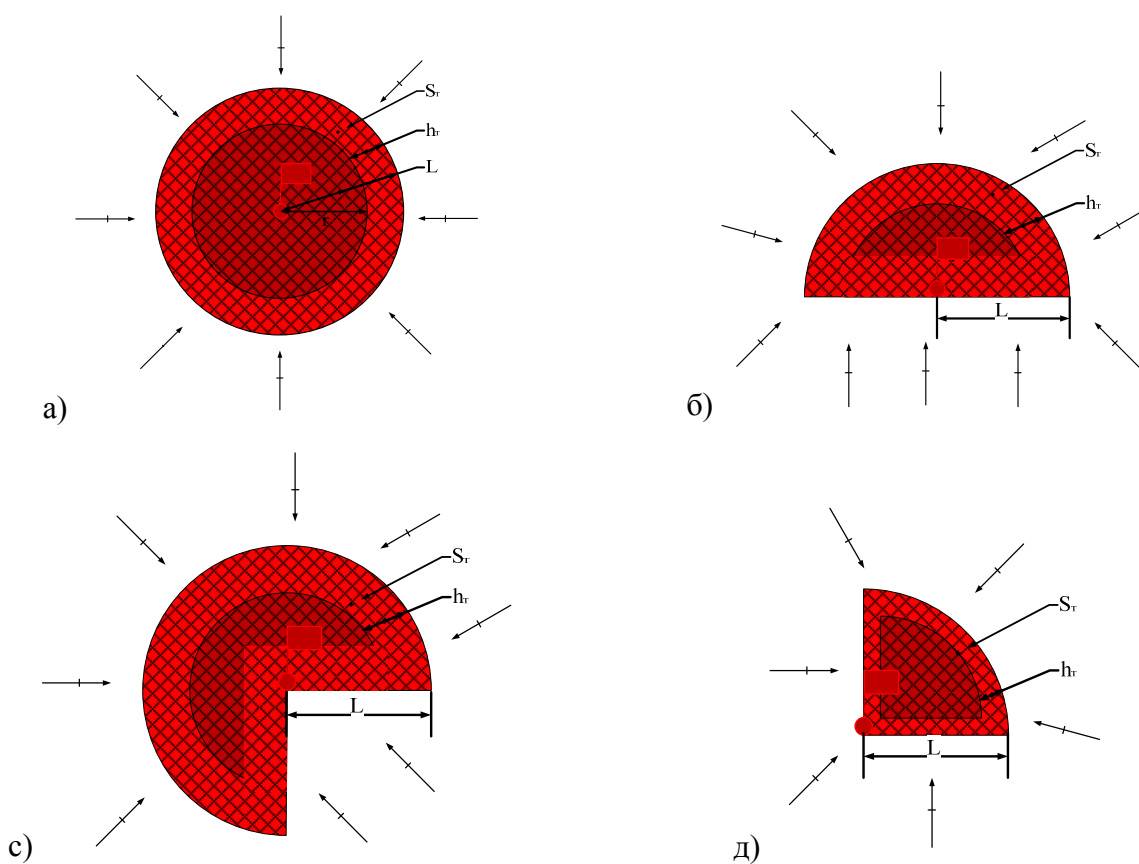


Рисунок 1.10 – Схемы площади тушения пожара при развитии его по круговой (а, б) и угловой (в, д) формам

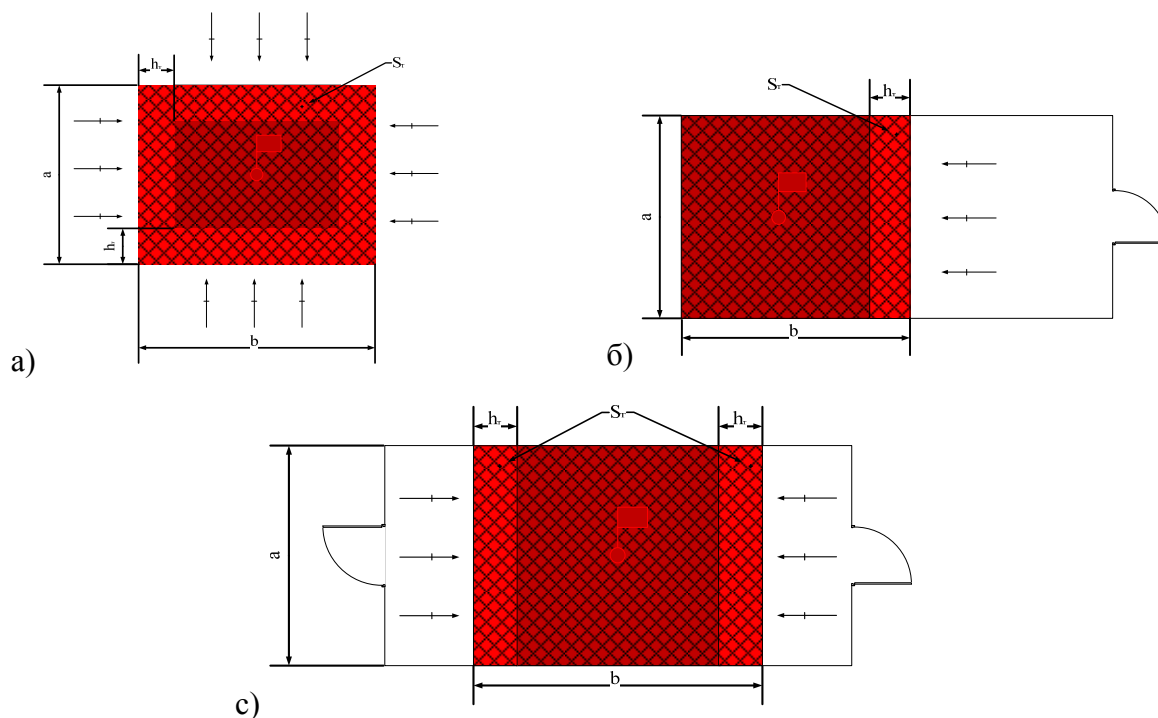


Рисунок 1.11 – Схемы площади тушения пожара при развитии его по прямоугольной форме

Таблица 1.4 – Зависимости для определения параметров тушения пожара

Параметр		Вид развития пожара		
		круговой	угловой	прямоугольный
Площадь тушения	по фронту	При $L > h_T$ $S_T = \pi h_T (2L - h_T)$	При $L > h_T$ $S_T = k \pi h_T (2L - h_T)$	При $b > n h_T$ $S_T = n a h_T$
	по периметру	При $L > h_T$ $S_T = \pi h_T (2L - h_T)$	При $L > h_T$ $S_T = 3,57 h_T (\beta L - h_T)$	При $b > 2 h_T$ $S_T = 2 h_T (a + b - 2 h_T)$
Фактические	интенсивность подачи ОВ	$I_\phi = \frac{Q_\phi}{S_T}$		
	расход ОВ	$Q_\phi = \sum_{i=1}^m n_i \cdot q_{\text{ств}i}$		
	удельный расход ОВ	$q_{\text{уд}}^\phi = \frac{\sum_{i=1}^m q_{\text{ств}i} \cdot t_{pi}}{S_n^{\text{лок}}}$		
Скорость тушения площади пожара		$V_T = \frac{S_{n2} - S_{n1}}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta S_n}{\Delta t}$		
Требуемые	расход ОВ	$Q_{\text{тр}} = S_T \cdot I_{\text{тр}}$		
	удельный расход ОВ	$q_{\text{уд}}^{\text{тр}} = I^{\text{тр}} \cdot t_p$		

Примечания:

1)  $k$  – величина угла, в направлении которого происходит распространение пламени ( $1 = 360^\circ$ ;  $0,5 = 180^\circ$ ;  $0,25 = 90^\circ$ );

- 2)  $\beta$  – величина влияния угла, внутри которого происходит развитие пожара, на площадь тушения при тушении по периметру, *град* (для  $90^0 = 2$ ;  $180^0 = 1,4$ );
- 3)  $n_i$  – число  $i$ -х пожарных стволов, *ед*;
- 4)  $h_T$  – глубина тушения пожарным стволом, *м*;
- 5)  $q_{\text{ств } i}$  – расход с  $i$ -го пожарного ствола, *л/сек*;
- 6)  $m$  – число пожарных стволов, *ед*;
- 7)  $t_{pi}$  – время работы  $i$ -го пожарного ствола, *мин*;
- 8)  $S_{\Pi}^{\text{лок}}$  – площадь пожара на момент локализации,  $\text{м}^2$ ;
- 9)  $S_{\Pi 1}$  – площадь пожара на время  $\tau_1$ ,  $\text{м}^2$ ;
- 10)  $S_{\Pi 2}$  – площадь пожара на время  $\tau_2$ ,  $\text{м}^2$ ;
- 11)  $\Delta S_{\Pi}$  – уменьшение площади пожара за время  $\Delta \tau$ ,  $\text{м}^2$ ;
- 12)  $t_p$  – время тушения пожара на расчетной площади, *мин*.

Выполнение условий (1.1, 1.2.) с позиции математического аппарата означает: если приведенное условие оптимальности достаточно, тогда процесс управления, в частности пожарно-спасательными подразделениями, на пожаре – оптимальный. В то же время из этого не следует, что этот управляемый РТП процесс оптимальный и нет других управленческих воздействий на процесс пожаротушения мобильными средствами, для которых условия (1.1, 1.2) не выполняются, например,

$$Q = \begin{cases} \text{истина, то } I = \text{истина;} \\ \text{ложь, то } I = \text{истина} \vee \text{ложь.} \end{cases}$$

С целью поиска минимальных значений функции управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре при существующих ограничениях (по расходу и интенсивности), введем ряд понятий:

$$P = \sum_{t=t_{ce}}^{t_{лок}} f(t, q(t), i(t)) \rightarrow \min, (q(t), i(t)) \in P^t, t = 0, 1, \dots, t_{лок}. \quad (1.3)$$

где  $t_{св}$  – время свободного развития пожара;  $t_{лок}$  – время локализации пожара;  $q(t)$  – вектор расходов огнетушащего вещества, подаваемого одним прибором тушения и/или подразделением,  $q(t) = (q^1(t_1) = q^1(t_{св}), q^2(t_2), \dots, q^n(t_n) = q^n(t_{лок}))$ ;  $i(t)$  – вектор интенсивностей огнетушащего вещества, подаваемого одним прибором тушения и/или подразделением,  $i(t) = (i^1(t_1) = i^1(t_{св}), i^2(t_2), \dots, i^n(t_n) = i^n(t_{лок}))$ .

В связи с тем, что в ограничениях (1.3), определяющих множество допустимых процессов управления на пожаре, отсутствует уравнение процесса, тогда такую постановку рассмотрим как частный случай задачи оптимального управления РТП при пожаре пожарно-спасательным подразделением. Это позволит сформулировать условия (необходимое и достаточное), удовлетворяющие оптимальному решению  $(q^o(t), i^o(t))$  по подаче огнетушащих веществ в минимальном объёме для целей пожаротушения (1.3), в виде утверждения 1.1.

Утверждение 1.1. Для того чтобы процесс управления подачей огнетушащих веществ с целью локализации и ликвидации пожара  $(q^o(t), i^o(t))$  был оптимален, (т.е. минимизировалась функция (1.3), необходимо и достаточно  $f(t, q^o(t), i^o(t)) = \min_{(q, i) \in P^t} f(t, q, i)$ , для  $t > 0$ . (1.4)

Доказательство.

Необходимость. Пусть процесс управления подачей огнетушащих веществ с целью локализации и ликвидации пожара  $(q^o(t), i^o(t))$  оптимальный (удовлетворяется условие (1.4). Тогда:

$$P^o(q^o(t), i^o(t)) \leq P(q(t), i(t)), \text{ при } (q(t), i(t)) \in P^t, t = 0, 1, \dots, t_{лок}. \quad (1.5)$$

Требуется доказать, что процесс управления удовлетворяет и условию (1.4). Для этого допустим от противного, что существует такое  $t = T$ , при котором условие (1.4) не выполняется. То есть существует такое  $(q(T), i(T))$ , для  $t = T$ , что  $f(T, q(T), i(T)) < f(T, q^o(T), i^o(T))$ . (1.6)

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  $P$  (1.3) этого процесса:  $P(q^{o1}(t), i^{o1}(t)) = \sum_{t=t_{ce}}^{t^o} f(t, q^o(t), i^o(t)) + \sum_{t=t_{ce}+1}^{t_{лок}} f(t, q^{o1}(t), i^{o1}(t)) + f(t, q(T), i(T))$ .

Аналогично, преобразовав формулу (1.3), относительно  $P(q^o(t), i^o(t))$ , получим:  $P(q^o(t), i^o(t)) = \sum_{t=t_{ce}}^{t^o} f(t, q^o(t), i^o(t)) + \sum_{t=t_{ce}+1}^{t_{лок}} f(t, q^{o1}(t), i^{o1}(t)) + f(t, q^o(T), i^o(T))$ .

Сопоставив правые компоненты вышеприведённых равенств, сделаем вывод о совпадении первых двух, третьи слагаемые удовлетворяют выражению (1.6), поэтому:  $P(q^o(t), i^o(t)) > P(q^{o1}(t), i^{o1}(t))$ , но это противоречит условию (1.5). Поэтому необходимость доказана.

Достаточность. Пусть процесс управления подачей огнетушащих веществ пожарно-спасательным подразделением с целью локализации и ликвидации пожара  $(q^o(t), i^o(t))$  соответствует утверждению 1.1. Требуется доказать, что для этого процесса управления выполняется (1.3).

Рассмотрим возможный процесс управления подачей огнетушащих веществ пожарно-спасательным подразделением с целью локализации и ликвидации пожара  $(q(t), i(t))$ . В этом случае из выражения (1.4) возможно констатировать, что для любого  $t = 0, 1, \dots, t_{лок}$ :

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

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

Проводя почленное сложение, получим то, что левая и правая части неравенства являются значениями функции (1.3) для процессов управления подачей огнетушащих веществ  $(t, q^o(t), i^o(t))$  и  $(t, q(t), i(t))$ :

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

Из этого следует, что в результате реализации управленческого воздействия, направленного на подачу огнетушащих веществ пожарно-спасательным подразделением с целью локализации и ликвидации пожара,

$(q(t), i(t))$  справедливо условие для процесса управления (1.3) и  $(q^o(t), i^o(t))$  являющегося оптимальным. Поэтому достаточность доказана.

Выполнение условий (1.1, 1.2) подтверждается еще и тем, что не увеличивается площадь пожара, т. е. точка наибольшего значения на кривой 1 (рис. 1.8 [203, 278, 280]), скорость роста площади пожара и линейная скорость распространения пламени равны нулю,  $V_{сп} = 0$  и  $V_{л} = 0$ , т. е. сил и средств для ликвидации пожара достаточно.

Кривая 1 (рис. 1.8) отображает изменения во времени требуемого расхода ОВ и площади пожара. Огнетушащее вещество при тушении описываемого пожара подавалось на всю его площадь, поэтому она изображена равной площади тушения пожара. Для построения кривой 3 принимаются значения тех подразделений ( $N_{отд.}$ ), которые реализуют управленческое воздействие РТП по подаче пожарных стволов на тушение. Пересечение линий 1 (кривой) с 3 (ломаной) определяет то, что расходы ОВ (требуемый и фактический) становятся равны, таким образом, выполнено необходимое условие (1.2) локализации пожара. В том случае, когда получается пересечение линий 1 и 3, то что личный состав пожарно-спасательного подразделения правильно реализовал задачу управления и это пересечение называется точкой локализации пожара. Погрешность между фактической локализацией пожара и построенной на основе переданной информации, как правило, незначительная. Если подача ОВ в очаг происходила не по всей площади, то линии 2 и 3 не пересекаются. В этом случае требуется построить кривые изменения требуемого расхода ОВ для тушения пожара во времени и площади его тушения. Кривая 4 описывает изменение площадей пожара и тушения во времени и означает, что до достижения величины пути, миновавшего фронтом горения, т. е. радиуса пожара – равной глубине тушения применяемых пожарных стволов они совпадали. Изменение длины периметра площади горения в зданиях изменяется во времени до того, пока горение не дойдет до негорючих поверхностей (стен), после этого величина её становится постоянной (рис. 1.8). Тогда требуемый

расход на её тушение и площадь тушения тоже станут постоянными во времени. Достижение необходимого условия локализации пожара означает пересечение линий 4 и 3, т. е., что  $I_{\phi} > I_T$  и  $V_{л} = 0$ ,  $Q_{\phi} > Q_{тр}$  и  $V_{сп} = 0$ .

“В практике пожаротушения целесообразно использовать такие интенсивности подачи ОВ, которые могут быть реализованы существующими техническими средствами подачи и обеспечивать эффективность тушения с минимальными расходами ОВ и за оптимальное время” [204]. Многомерный анализ описания крупных пожаров [168, 169, 300–308] и показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений [166–171, 218, 219, 295, 300, 306] на пожары, произошедшие на городских объектах, позволяет сделать вывод о том, что несмотря на то, что интенсивность подачи ОВ, в частности воды, возрастает с ростом размера города, в котором происходит пожар, при этом, как правило, в других городах (малые, средние, большие) фактическая интенсивность подачи ОВ ниже нормативных показателей, а в крупнейших городах – выше нормативных показателей (таблица 1.5, рис. 1.12).

Для достижения условий локализации также необходимо, чтобы число позиций ствольщиков соответствовало требуемому количеству, т. е. расстояние между ними должно быть расчётным.

Таблица 1.5 – Фактическая интенсивность подачи огнетушащих средств (воды)

Размер города	Общественные здания			Промышленные предприятия			Предприятия торговли и складские здания		
	показатели нормативной интенсивности								
	0,08-0,1			0,06-0,2			0,1-0,2		
	показатели фактической интенсивности								
	мини-мальная	средняя	максимальная	мини-мальная	средняя	максимальная	мини-мальная	средняя	максимальная
малый	0,01	0,09	0,34	0,02	0,08	0,23	0,01	0,09	0,4
средний, большой	0,02	0,14	0,48	0,01	0,11	0,33	0,01	0,1	0,23
крупный	0,01	0,13	0,53	0,02	0,13	0,98	0,03	0,14	0,51
крупнейший	0,03	0,18	0,68	0,04	0,34	2,46	0,02	0,14	0,41

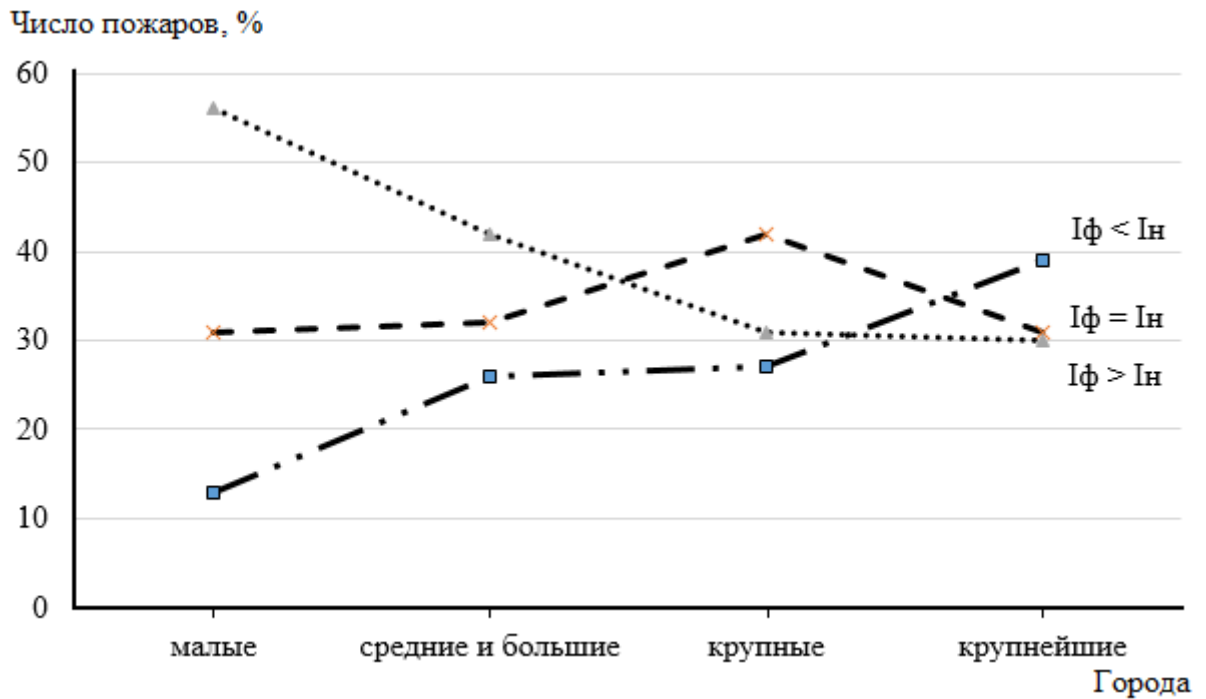


Рисунок 1.12 – Распределение значений интенсивности подачи огнетушащих веществ (вода) пожарно-спасательными подразделениями в зависимости от размера города

### **Задача управления ствольщиками при подаче ими огнетушащего вещества**

Как свидетельствует практика управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров, от своевременности реализации задачи управления РТП по подаче ствольщиком первого пожарного ствола на решающем направлении зависит результативность тушения пожара. Для его подачи пожарный раньше (до 2005 г.) должен был проникнуть к очагу пожара (подойти как можно ближе к месту горения); направлять струю огнетушащих веществ (воды или водных растворов поверхностно-активных веществ): в места с наиболее интенсивным горением; против распространения огня; сверху вниз при тушении вертикальных поверхностей («построчная» траектория); не в дым, а на видимые проявления горения – предметы и объекты [309–315].

В настоящее время ключевым элементом постановки задачи управления РТП ствольщикам на позициях по тушению заключается в том, что при подаче

ОВ, прежде всего, для локализации пожара требуется прибегнуть к задействованию объектовых стационарных установок и систем тушения пожаров. При применении ручных пожарных стволов ствольщикам требуется поддерживать подачу ОВ непосредственно в очаг пожара с соблюдением правил техники безопасности и охраны труда [205, 316–318].

Реализация задачи управления РТП (выполнение условий 1.1 и 1.2) по подаче огнетушащего вещества в очаг пожара на охлаждаемую поверхность или в защищаемую зону водяными пожарными стволами может осуществляться ствольщиками прямыми (рис. 1.13) и/или навесными (рис. 1.14) струями.

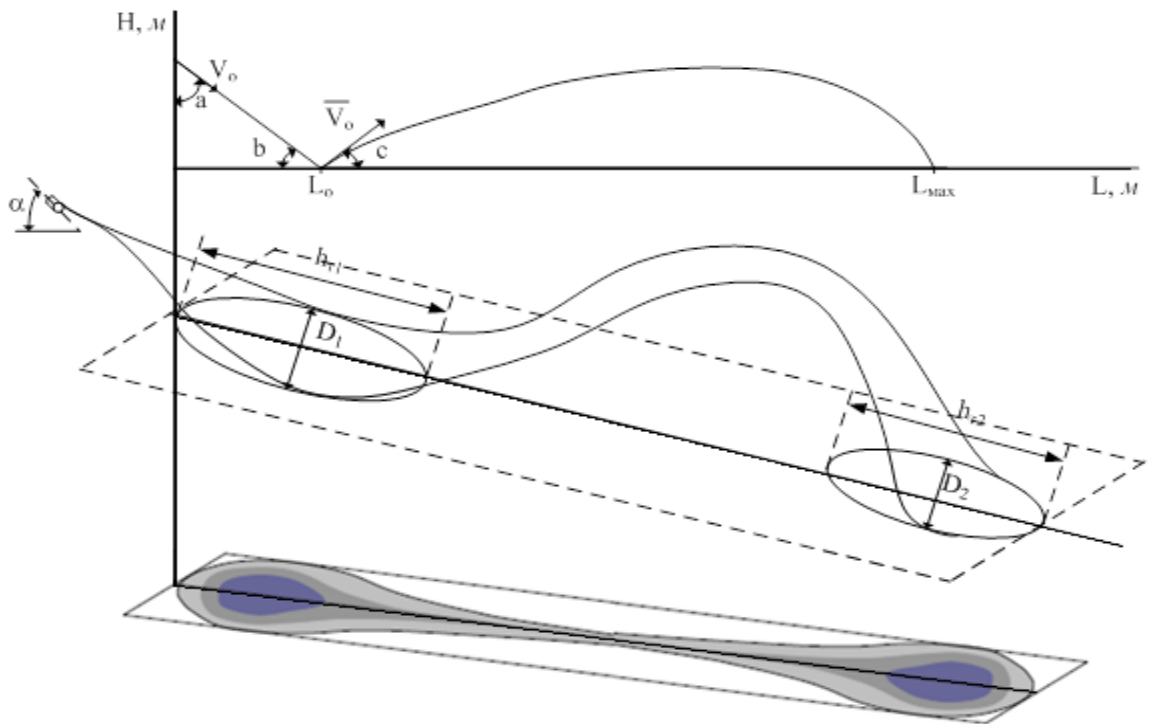


Рисунок 1.13 – Схематичная траектория струи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола:  $a$  – угол расположения ручного пожарного ствола, град;  $b$  – угол падения струи воды на плоскость, град;  $c$  – угол отражения струи воды от поверхности:  $c = \frac{b}{k}$ , град;  $k$  – коэффициент потери энергии при ударе воды о плоскость:  $k = \frac{V_0}{V_0}$ ;  $V_0$  – скорость истечения огнетушащего вещества из насадка пожарного ствола,  $m \cdot c^{-1}$ ;  $\bar{V}_0$  – скорость струи огнетушащего вещества после удара о поверхность,  $m \cdot c^{-1}$ ; взаимосвязь углов  $a = 90^\circ - b$

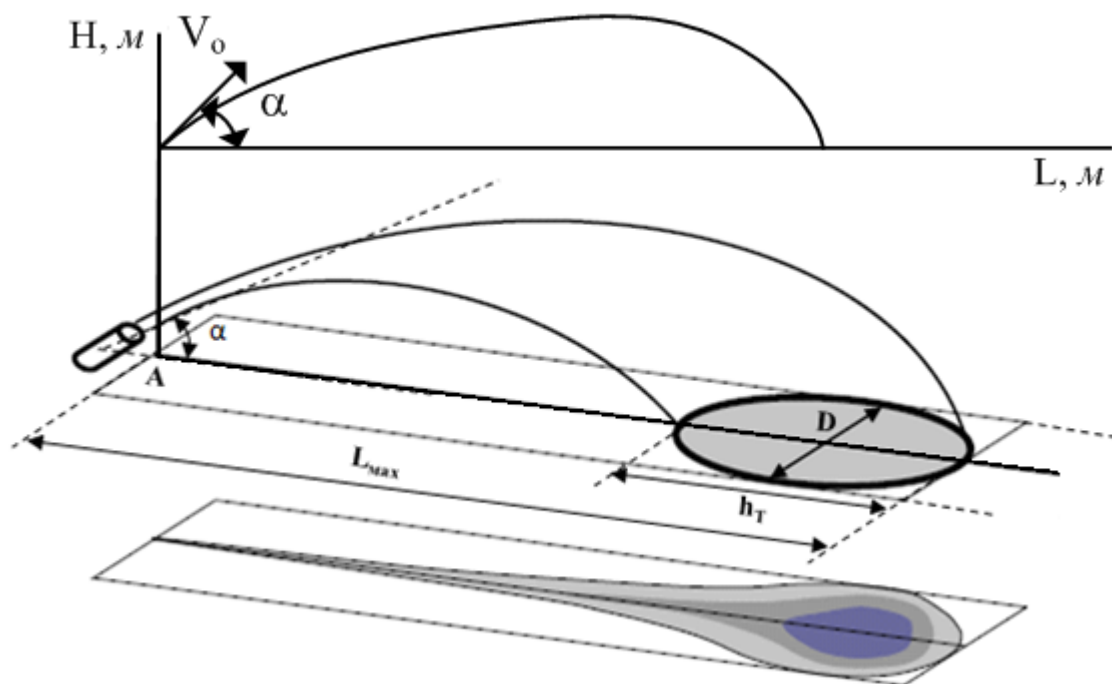


Рисунок 1.14 – Глубина и ширина полосы тушения пожарным стволом (навесная струя):  $A$  – место размещения пожарного ствола;  $\alpha$  – угол наклона пожарного ствола, град;  $L_{\text{MAX}}$  – наибольшая дальность струи, м

Независимо от вышеприведенных нормативных требований, наличия достаточного количества сил и средств, характера развития пожара и природно-климатических условий, оперативно-тактические действия пожарно-спасательных подразделений в период локализации пожара должны быть направлены на выполнение принятых управленческих решений РТП, достижение необходимых и достаточных условий локализации пожара, реализация которых на пожаре – обязанность ствольщика.

Функцию задачи управления РТП по подаче струи огнетушащих веществ ствольщиком в очаг пожара представим в следующем виде [318, 319]:

$$POV(x,t) = I_{\phi}(t) \times \phi(x - x_o(t), p(t)), \quad t \geq t_o, \quad x \in X, \quad (1.7)$$

где  $I_{\phi}$  – фактическая интенсивность подачи огнетушащих веществ;  $\phi(x, p)$  – форма пятна орошения струей огнетушащих веществ (круг, эллипс, составная фигура и др.);  $t$  – время;  $x_o(t)$  – координаты центра пятна орошения струей огнетушащих веществ;  $p(t)$  – параметр формы пятна орошения струей

огнетушащих веществ, в том числе определяющий степень концентрации огнетушащих веществ.

Координаты центра пятна орошения струёй огнетушащих веществ ( $x_o(t)$ ) соответствуют максимальному значению функции формы пятна орошения струёй огнетушащих веществ ( $\phi(x, t)$ ) (рис. 1.15, [242, 243, 253, 306, 318, 320–322]) или вычисляются аналитическим, а также статистическими методами. Так как функция “форма пятна орошения струёй огнетушащих веществ” ( $\phi(x, p)$ ) является неотрицательной (в случае её подачи) и нормируемой таким образом, что интеграл от неё равен единице.

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

$$I_\phi(t) \leq I_{mp}(t), \quad A \leq x_o(t) \leq B, \quad C \leq p(t) \leq D, \quad (1.8)$$

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

Решение задачи управления ствольщиком при подаче им огнетушащего вещества заключается в том, чтобы определить такие значения функций ( $I_\phi, x_o(t), p(t)$ ), благодаря которым равенство выполнялось:

$$POV_{mp}(x, t) = POV(x, t), \quad \text{при } t \geq 0 \text{ и } x \in X. \quad (1.9)$$

В общем случае решение задачи управления ствольщиком при подаче им огнетушащего вещества (1.9) не существует. В связи с этим рационально определять задачу управления ствольщиком при подаче им огнетушащего вещества как вариационную задачу и для этого найти такие значения функций ( $I_\phi, x_o(t), p(t)$ ) для некоторого промежутка, что разница между решением требуемой и фактической задачи управления была бы минимальной:

$$\|POV_{mp}(x) - POV_\phi(x)\| \rightarrow \min. \quad (1.10)$$

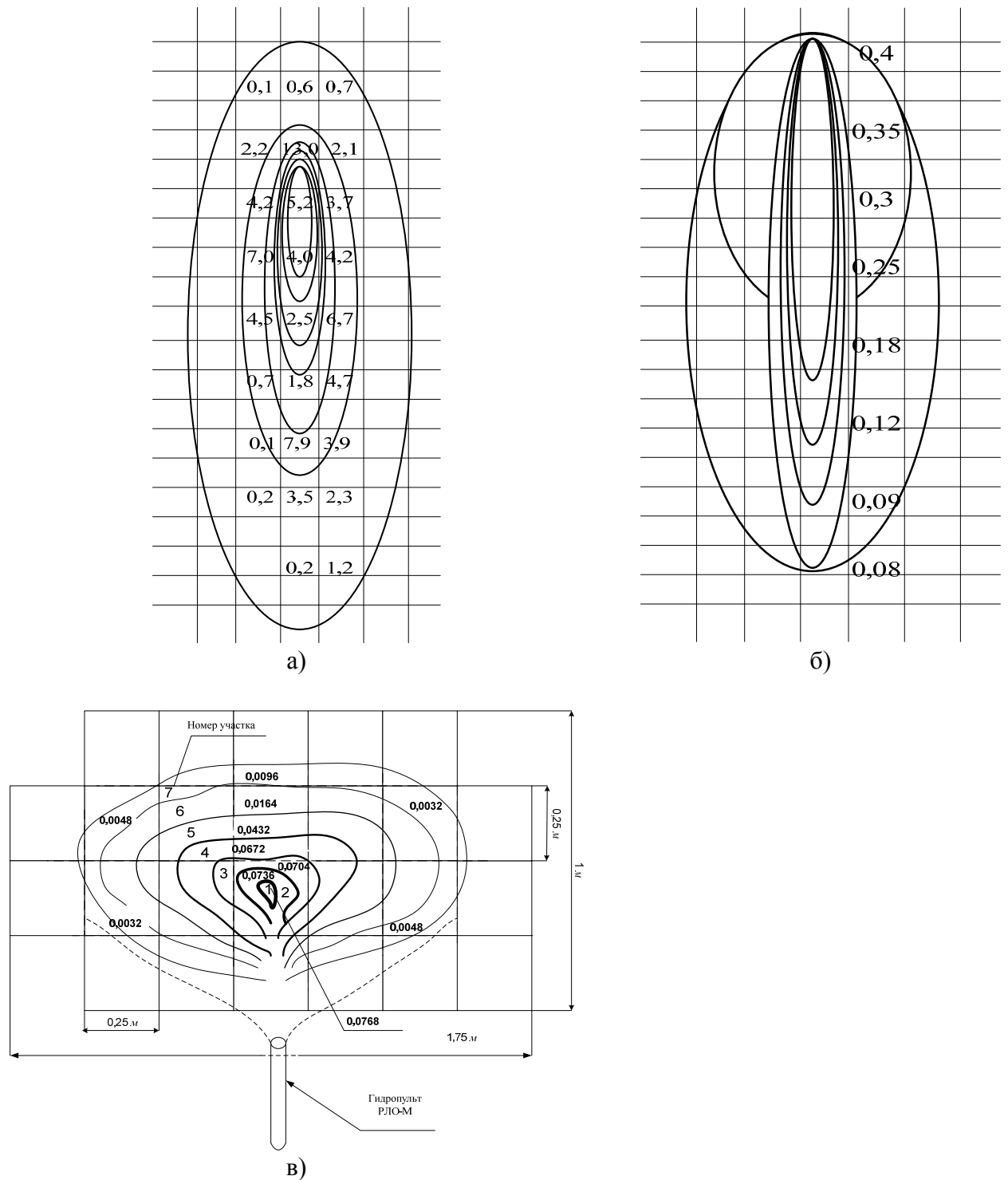


Рисунок 1.15 – Распределение интенсивности при подаче огнетушащего вещества из пожарного ствола: а – компактной водяной струей с насадком 25 мм; б – компактной водяной струей с насадком 13 мм; в – водяной струей из ранцевого лесного огнетушителя (модифицированного)



Чем меньше будут значения промежутков, тем будет выше точность решения задачи управления ствольщиком по подаче им огнетушащего вещества при тушении пожара.

Зададим траекторию движения пятна орошения струёй огнетушащих веществ ( $Tr$ ) и её интенсивность ( $I$ ). Необходимо определить управление ствольщиком ( $y(t)$ ), при котором вариационная задача (1.10) достигнет минимума.

Решим задачу для случая “построчной” траектории перемещения пятна орошения струёй огнетушащих веществ. 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 [320]:  $a_l = A_l(l)$ ,  $b_l = B_l(l)$ , при  $l = [a, b]$ , допустив, что центр пятна орошения струёй огнетушащих веществ совпадает с некоторой точкой ( $z \in [a, b]$ ). Тогда найдём функцию движения центра пятна орошения струёй огнетушащих веществ.

В этом случае параметрические уравнения траектории движения центра пятна орошения струёй огнетушащих веществ и его закон движения в полном объёме определяют местоположение центра пятна орошения струёй огнетушащих веществ 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 двумя параметрами, работаем с одним ( $l(t)$ ).

Выражение (1.10) позволяет сформулировать оценку эффективности управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре:

$$\Pi_a - \Pi_{до} \rightarrow \min, \quad (1.11)$$

где  $\Pi_a$  – исследуемый показатель (расход, интенсивность, затраты, стоимость, ущерб и т.п.) после тушения пожара (его анализа);  $\Pi_{до}$  – исследуемый

показатель (расход, интенсивности, затраты, стоимость, ущерб и т.п.) при планировании ведения оперативно-тактических действий.

Определимся с параметрами пятна орошения струёй огнетушащих веществ и рассмотрим тактический потенциал ствольщиков по подаче ОВ на горящие поверхности – площадь и ширину (фронт).

### **Граничные условия функции подачи струи огнетушащего вещества ствольщиками в очаг пожара на фиксированную площадь**

В случае подачи ОВ на фиксированную площадь ( $S_{\text{ств}}, \text{м}^2$ ) её величина обусловлена производительностью пожарного ствола и требуемой интенсивностью подачи ОВ на единицу площади [202, 321–325]:

$$S_{\text{ств}} = \frac{q_{\text{ств}}}{I_{\text{ТР}}}, \quad (1.12)$$

где  $q_{\text{ств}}$  – расход ОВ из пожарного ствола, л/с;  $I_{\text{ТР}}$  – требуемая интенсивность ( $I_{\text{с}}$  – поверхностная) подачи ОС, л/( $\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ):

$$I_{\text{ТР}} = I_{\text{с}} \cdot h_{\text{Т}}. \quad (1.13)$$

### **Граничные условия функции подачи струи огнетушащего вещества ствольщиками в очаг пожара на фиксированную ширину (фронт)**

В случае подачи ОВ на фиксированную ширину (фронт) ( $F_{\text{ств}}, \text{м}$ ), её величина зависит от расхода ОВ из пожарного ствола и требуемой интенсивности подачи ОВ на погонный метр периметра пожара [202, 203, 325–330]:

$$F_{\text{ств}} = \frac{q_{\text{ств}}}{I_{\text{л}}}, \quad (1.14)$$

где  $I_{\text{л}}$  – интенсивность (линейная) подачи ОС на погонный метр периметра пожара, л/( $\text{м} \cdot \text{с}$ ) [203].

При подаче ОС при тушении пожаров примерно третья часть длины струи используется эффективно, т. е. прорабатывает площадь пожара, что

составляет для ручных пожарных стволов (А и Б) 5–7 м, для лафетных 10–15 м (из-за невозможности подойти близко к очагу пожара в связи с воздействием лучистой теплоты, потери огнегасительного вещества при соприкосновении с пламенем и горячей поверхностью и т. д.). В расчете сил и средств на тушение обычно принимают меньшую величину – 5 и 10 м. Такое обоснование количественной характеристики как глубина тушения для пожарных водяных пожарных стволов приводилось ранее [202]. В настоящее время при выполнении пожарно-тактических расчетов для прогнозирования обстановки на месте пожара применяются следующие количественные характеристики глубины тушения: ручные водяные стволы – 5 метров; лафетные водяные стволы – 10 метров; гидромониторы и «пушки» – 15 метров.

Обоснованность данной характеристики в данный момент влечет аксиоматический принцип ее применения, поэтому на основе анализа публикаций [182, 203, 319, 323–326] и собственных исследований автора глубины орошения горячей поверхности (горизонтальной и вертикальной) водяными пожарными стволами как функции от основных гидравлических характеристик (расхода и напора перед насадком пожарного ствола) [253, 318, 327–330] предлагаются следующие значения (таблица 1.6, приложение Б).

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.

Таблица 1.6 – Зависимость глубины тушения пожарного ствола от типа здания и сооружения

Здания и сооружения	Глубина тушения, м
1	2
Административные здания I–III степени огнестойкости, жилые дома и подсобные постройки I–III степени огнестойкости, самолёты и вертолёты, сгораемые покрытия больших площадей в производственных зданиях (при тушении снаружи со стороны покрытия)	6–10
Административные здания (IV степени огнестойкости, подвальные помещения, чердачные помещения), животноводческие здания I–III степени огнестойкости, жилые дома и подсобные постройки IV степени огнестойкости, электростанции и подстанции (трансформаторы, реакторы, масляные выключатели (подача тонкораспыленной воды), щепы в кучах с влажностью 30–50 %)	5–10
Автомобили, трамваи, троллейбусы на открытых стоянках, административные здания V степени огнестойкости, больницы, животноводческие здания IV степени огнестойкости, жилые дома и подсобные постройки (V степени огнестойкости, подвальные помещения, чердачные помещения), культурно-зрелищные учреждения (зрительный зал, подсобные помещения), мельницы и элеваторы, производственные здания (I–III степени огнестойкости, чердачные помещения), сгораемые покрытия больших площадей в производственных зданиях (при тушении снизу внутри здания и при тушении снаружи при развившемся пожаре), самолёты и вертолёты (конструкции с наличием магниевых сплавов корпус), строящиеся здания, холодильники, термопласты	4–10
Производственные здания IV–V степени огнестойкости, самолёты и вертолёты (внутренняя отделка (при подаче тонкораспыленной воды), льнотреста (скирды, тюки)	4–8
Производственные здания (подвальные помещения), пиломатериалы в штабелях в пределах одной группы при влажности 8–14 %, каучук (натуральный или искусственный), резина и резинотехнические изделия, круглый лес в штабелях в пределах одной группы, текстолит, карболит, отходы пластмасс, триацетатная плёнка, хлопок и другие волокнистые материалы на закрытых складах	3–7
Ацетон, целлулоид и изделия из него	1–6
Древесина балансовая при влажности менее 40 %, пиломатериалы в штабелях в пределах одной группы при влажности 20–30 %	1–5

окончание таблицы 1.6

1	2
Древесина балансовая при влажности 40–50 %, культурно-зрелищные учреждения (сцена), производственные здания (IV степени огнестойкости, окрасочные цехи), суда сухогрузные и пассажирские, торговые предприятия и склады товарно-материальных ценностей, трамвайные и троллейбусные депо, гаражи, ангары, мастерские, животноводческие здания V степени огнестойкости, электростанции и подстанции (кабельные туннели и полуэтажи (подача тонкораспыленной воды), машинные залы и котельные отделения), пиломатериалы в штабелях в пределах одной группы при влажности свыше 30 %, льнокостра в отвалах (подача тонкораспыленной воды), полимерные материалы и изделия из них, хлопок и другие волокнистые материалы на открытых складах, ядохимикаты и удобрения	4–9

### **Правила управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров**

Спасение жизни людей осуществляется раньше спасения имущества или окружающей среды, это основное правило управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров. Это также относится и к безопасности самих пожарных. Причин, по которым можно подвергать опасности жизнь и здоровье пожарных, очень мало, и их, вероятно, можно устранить, если есть исправное оборудование, приняты превентивные меры пожарной безопасности, высокая степень профессионализма.

Но могут быть более необоснованные причины для начала оперативно-тактических действий – в ситуацию вмешиваются представители общества, эмоционально требующие тушить пожар. В этом случае от руководителя тушения пожара требуется сохранять уверенность в себе, быть способным объяснить людям и (или) представителям средств массовой информации, почему в конкретной ситуации пожарно-спасательное подразделение оставляет здание гореть, что его невозможно спасти и есть возможность хотя бы сохранить окружающую среду от загрязнения огнетушащими веществами.

Определение 1.5. Основное требование первого правила управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров – управляющее воздействие и постановка задач управления при ведении оперативно-тактических действий 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 ситуацией [181, 199, 331].

Это определение необходимо для формализации постановки задач управления, основанных на расчете способности пожарно-спасательного подразделения к оперативно-тактическим действиям при пожаре.

В соответствии с этим утверждением каждая ситуация принятия управленческого решения при тушении пожара должна оцениваться как единое целое, включая горючий материал, потребности в силах и средствах, резерве, вентиляции, рубежах защиты и т. д. Ситуацию нужно оценивать в отношении к времени и месту, для каждого помещения или отсека, отделённого противопожарными стенами. Также требуется определить, перекрывает ли способность к тушению пожара (тактические возможности привлеченных сил и средств) необходимость, вызванную распространением огня.

Наглядный пример идеального оперативного управленческого решения – 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 окажутся напрасными.

Таким образом, следующее правило управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров может быть сформулировано следующим образом.

Определение 1.6. Второе правило управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров – силы и средства пожарно-

спасательного подразделения должны быть адекватны решаемой задаче в каждой точке времени и пространства.

Утверждение 1.2. Силы и средства пожарно-спасательного подразделения 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.

Доказательство.

Если сил и средств на позиции по тушению пожара достаточно, то спасение людей, тушение пожара или защита соседних с горящим объектов – будут успешными. Если нет, тушение будет сорвано и руководитель тушения пожара должен с самого начала выбрать другую цель, вместо того чтобы начинать тушение пожара [181, 199, 331].

Имеющиеся в распоряжении руководителя тушения пожара силы и средства должны быть привязаны к тактическому замыслу оперативно-тактических действий (спасение, защита и (или) тушение). При сравнении требуемых огнетушащих веществ, исходя из скорости выделения тепла, и имеющихся СИС, определяется успешность исхода оперативно-тактических действий.

### **1.3. Модели управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров**

Моделирование как существенный аспект познавательного процесса широко используется в познании сложных систем, и оно становится одним из масштабно применяемых методов исследования, адекватно отображающих (воспроизводящих) различные стороны, свойства, характеристики изучаемой системы. Для устойчивого функционирования модели пожаротушения пожарно-спасательными подразделениями принципиальный смысл содержит

оперативное планирование применения ОС и ОВ, их расстановка и распределение (рис. 1.16). Кроме этого, для реализации максимальной достоверности этого планирования требуется исследование внешних условий и факторов, установление допустимых состояний и их исходов, получение одновариантных ответов на формализуемые запросы. Планирование постановки задачи управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров – “процесс творческий, ориентированный в большей степени на цели, чем на процессы” и осуществляемый для турбулентной среды, не способный спрогнозировать перспективу “с точностью  $X + Y = Z$ ” [332]. Так как будущее не является детерминированным, то в связи с этим управление силами и средствами пожарно-спасательного гарнизона является многоплановой задачей.



Рисунок 1.16 – Модель системы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров

Сложность и проблематичность моделирования управления пожарно-



спасательными подразделениями при тушении пожаров заключаются в том, что: изменение оперативно-тактической ситуации на месте пожара, а также прилегающей к нему территории, характеризуется вариативностью и нечёткостью исходных данных; план тушения пожара не догма, так как возможны иные альтернативные варианты возникновения, развития и тушения пожара; недопустимо осуществлять моделирование, исходными данными которого являются исключительно данные тренировок, практических занятий и состязаний (соревнований по профессии).

РТП должен располагать потенциально допустимыми управленческими решениями для возможных исходов, выходящими за рамки требований плана тушения пожара, для ответа на различные вопросы перед и во время пожаротушения. Архитектоника такой модели предоставляет возможность вскрыть резервы, незадействованные элементы системы пожаротушения и неэкономичные пути реализации управленческого решения.

### **Формализация поддержки управления силами и средствами пожарно–спасательного гарнизона при тушении пожара**

Ниже формализованы отображения сложной социальной и экономической системы оперативного управления силами и средствами при пожаротушении в формальные структуры – математические модели.

Рассмотрим помещение, в котором развивается пожар в условиях отсутствия газообмена (практически герметичном помещении), тактические возможности первичного тактического подразделения – караула (отделения) позволяют его потушить. В рамках данного раздела для анализа системы пожаротушения мы рассмотрим только временную динамику и её состояние опишем площадью пожара ( $S_p$ ), температурой ( $T$ ), количеством личного состава, задействованного в тушении ( $N_{лс}$ ), расходом огнетушащего вещества ( $Q$ ) и т.п. Модели, не учитывающие пространственную организацию пожаротушения (позиции, участки, сектора тушения пожара), назовём

локальными. В терминах пожарной тактики это означает: во-первых, горячая нагрузка находится в помещении одного типа и распределена равномерно, во-вторых, развитие пожара во все стороны равновероятно.

Для формализации и анализа математических моделей определимся с единицами измерения. Так как площадь (тушения или пожара) не может быть отрицательной, поэтому пространство состояний запишем:  $S_T = \mathbf{R}_+$ , где  $\mathbf{R}_+ = \{S \in \mathbf{R}: S > 0\}$ . Трактуем площадь тушения как функцию времени:  $S_T(t) \in \{S \in \mathbf{Z}: S > 0\}$ .

Величина  $\frac{S_T(t + \Delta t) - S_T(t)}{\Delta t}$ , отображает среднюю скорость роста площади тушения на промежутке времени  $(t, t + \Delta t]$ . В том случае, если величина площади тушения пожара велика, то скачки пожара, вызванные неравномерностью горячей нагрузки, выглядят незначительными на графике функции  $S(t)$ . Следовательно, принимаем существование производной по времени:

$$\frac{dS_T(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{(S_T(t + \Delta t) - S_T(t))}{\Delta t}.$$

Производную по времени будем обозначать точкой, размещённой сверху переменной  $\frac{dS_T(t)}{dt} \equiv \dot{S}_T$  и тогда отношение  $\frac{\dot{S}_T}{S_T}$  отражает усреднённый вклад позиции по тушению в уменьшение площади пожара.

Анализ описаний пожаров позволяет сделать вывод о том, что скорость роста площади пожара пропорциональна её площади. Поэтому динамику рассматриваемой системы опишем простейшим дифференциальным уравнением:

$$\dot{S}_T = k \cdot S_T, \quad k > 0, \quad (1.15)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий темп роста площади пожара.

Граничные условия, в которых осуществляется тушение пожара (горячая нагрузка, находящаяся в помещении одного типа и распределена равномерно) являются упрощением действительности. Для более правильного описания развития пожара в помещении во времени необходимо знать не только общую

горючую нагрузку и её распределение, а также другие признаки, оказывающие влияние на развитие и тушение пожара.

Введя обозначение пространства признаков –  $PP$ , опишем состояние системы функцией  $S(vt, t)$ , где  $vt \in PP$ .

Существуют два основных класса признаков, предопределяющих неоднородность развития пожара: структурные признаки, такие как пространство и горючая нагрузка, которые для конкретного объекта меняются со временем; неизменные признаки, например, категория по пожарной и взрывопожарной опасности, которая, как правило, неизменна в течение всего срока эксплуатации.

Решением уравнения (1.15) является функция  $S_n(t) = S_0 \cdot e^{k \cdot t}$ , где  $S_0$  – площадь пожара в момент его обнаружения. Эта функция описывает изменение площади при «стандартном» пожаре (рис. 1.8) [251, 333].

Из уравнения (1.15) следует, что если в любой момент времени начать наблюдение за распространением горения и продолжать его в течение короткого периода  $\Delta t$ , то часть площади, пройденной огнем в течение этого периода, будет равна  $k \Delta t$ , где  $k$  – постоянная величина. Уравнение (1.15) справедливо для ограниченного периода развития горения, так как, в конечном счете, пожар прекратит распространяться. Горение может иногда стабилизироваться на некотором устойчивом значении, а также испытывать регулярные или нерегулярные колебания, или может уменьшаться в зависимости от горючей нагрузки, газообмена и других факторов. Изменение площади пожара, стабилизируемой на некотором устойчивом уровне (рис. 1.8,  $\tau_{\text{лок}}$ ), опишем с помощью логистического уравнения (П. Ферхюльста) (рис. 1.17):

$$\dot{S} = k \cdot S_n - b \cdot S_n^2, \quad (1.16)$$

Второй член уравнения ограничивает возможность горения и называется «демпфирующим».

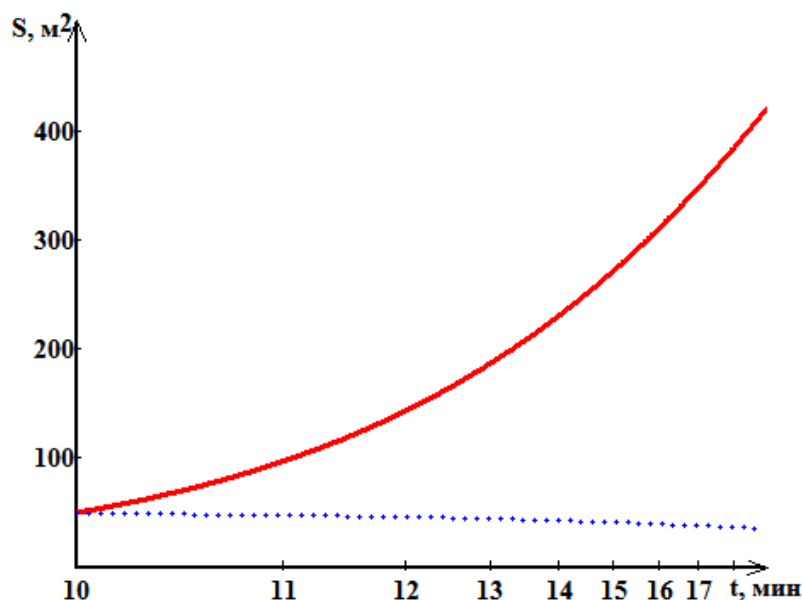


Рисунок 1.17 – Изменение площади пожара: +++ – скорость роста площади пожара; — – площадь пожара

Осуществив преобразования уравнения (1.15):  $\dot{S} = S_n \cdot (k - b \cdot S_n)$ ;

$\dot{S} = S_n \cdot k \cdot \left(1 - S_n \left(\frac{b}{k}\right)\right)$ , введём обозначения  $\frac{b}{k} = \frac{1}{S_r}$ , тогда:

$$\dot{S} = S_n \cdot k \cdot \left(1 - \left(\frac{S_n}{S_r}\right)\right), \quad (1.17)$$

где  $b$  – коэффициент, характеризующий темп уменьшения площади пожара;  $S_r$  – доступная для горения площадь,  $m^2$ .

Аналитическим решением этих уравнений являются функции:

$$S(t) = S_0 \cdot S_r \cdot e^{k \cdot t} \text{ или } S(t) = S_r - S_0 + S_0 \cdot e^{k \cdot t}. \quad (1.18)$$

Продифференцировав, например выражение (1.18) два раза по  $t$  и проанализировав полученный результат, делаем вывод о том, что кривая  $S(t)$  имеет точку перегиба, с координатами  $\left(\frac{1}{k} \ln \frac{(S_r - S_0)}{S_0}, \frac{S_r}{2}\right)$  (рис. 1.18).

На рис. 1.18 в плоскости площадь–время  $(S_n, t)$  приведены графики интегральных кривых для различных начальных значений  $S_0$ . Положения равновесия отображены на оси  $S_n$  – точками, а стрелками – направления движения фазового потока. Фазовое пространство в данном примере

одномерно, а траектории системы управления отображены в виде отрезков прямой площади пожара, движение по которым осуществляется в направлении верхней точки (в данном примере – 420).

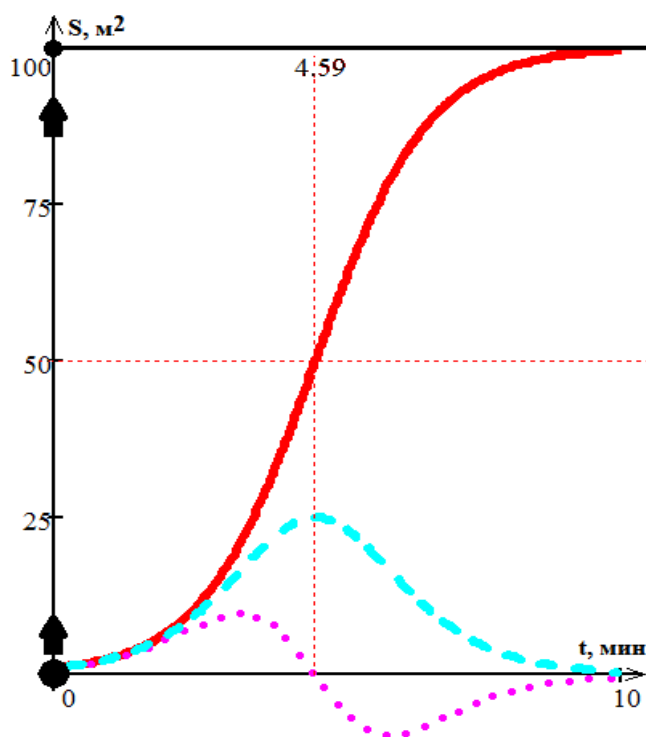


Рисунок 1.18 – Изменение площади пожара: --- – скорость роста площади пожара; — — площадь пожара; ... – ускорение роста площади пожара

Видоизменим уравнения Вольтерра в уравнениях, описывающих тушение пожара пожарно-спасательным подразделением (взаимодействие огнетушащего вещества ( $Q_{\phi} > Q_{тр}$  и  $I_{\phi} > I_{тр}$ )  $S_{т}$  с горячей поверхностью  $S_{п}$ ) (рис. 1.19):

$$\begin{cases} \frac{dS_{п}}{dt} = k \cdot S_{п} - b \cdot S_{п}^2 - c \cdot S_{п} \cdot S_{т} \\ \frac{dS_{т}}{dt} = v \cdot S_{т} + e \cdot S_{п} \cdot S_{т} \end{cases}, \quad (1.19)$$

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

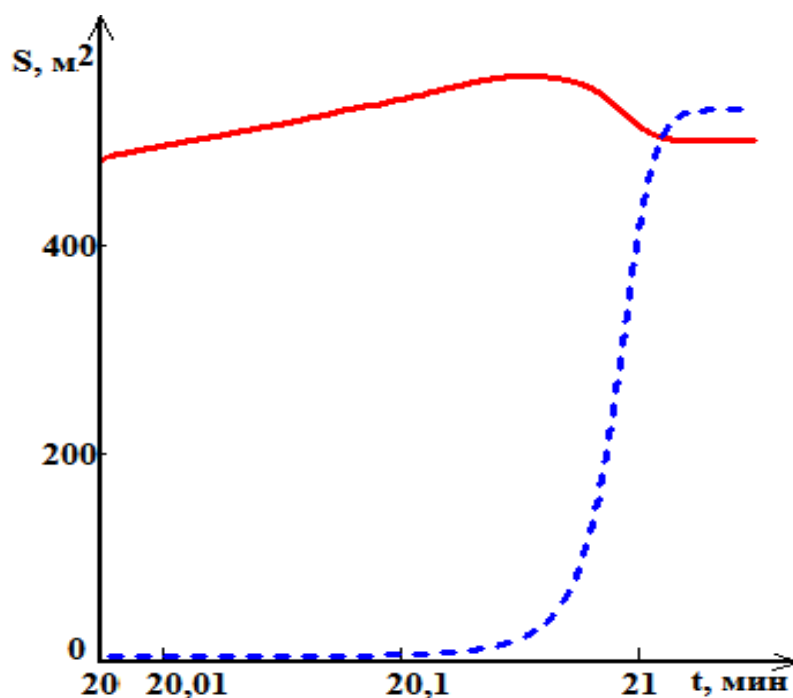


Рисунок 1.19 – Изменение площади пожара: — — площадь пожара на момент ввода пожарных стволов; - - - - площадь тушения

В основе уравнений (1.19) лежит ещё одно допущение: при отсутствии подачи огнетушащих веществ рост площади пожара будет происходить в соответствии с уравнением (1.16), с линейной скоростью распространения пламени  $k$  и по доступной для горения площади  $k / b$ . Также в (1.19), а именно в уравнение для развития пожара включен демпфирующий член  $(- b S_{п}^2)$ , при этом уравнение описывающее воздействие на горение огнетушащих веществ такого члена не содержит, так как предполагается, что количество подаваемых огнетушащих веществ будет соответствовать нормативному значению.

С целью исследования непосредственной реализации управленческого воздействия РТП завершающим этапом, которого является подача огнетушащих веществ в очаг пожара, модифицируем уравнение (1.19) с учётом исследований [333, 334]:

$$\begin{cases} \frac{dS_{п}}{dt} = f_1(S_{п}) - f_2(S_{п}, S_{т}) \\ \frac{dS_{т}}{dt} = v \cdot S_{т} + ep \cdot f_2(S_{п}, S_{т}) \end{cases} \quad (1.20)$$

где  $f_1(S_{\text{п}})$  – скорость изменения площади пожара, огнетушащие вещества не подаются;  $f_2(S_{\text{п}}, S_{\text{т}})$  – интенсивность пожаротушения;  $ep$  – эффективность пожаротушения.

С учётом допущений, изложенных в начале подраздела и с учётом того, что тактические возможности пожарно–спасательного подразделения соответствуют рангу пожара и скорость тушения соответствует плотности горючей нагрузки, уравнение (1.20) можно упростить:

$$\begin{cases} \frac{dS_{\text{п}}}{dt} = f_1(S_{\text{п}}) - S_{\text{т}} \cdot f_2(S_{\text{п}}), \\ \frac{dS_{\text{т}}}{dt} = v \cdot S_{\text{т}} + ep \cdot S_{\text{т}} \cdot f_2(S_{\text{п}}) \end{cases} \quad (1.21)$$

Ряд выводов, которые можно сделать, анализируя эти уравнения: реализация управленческого решения РТП на подачу огнетушащих средств пожарно–спасательным подразделением при недостаточном объёме огнетушащих веществ, может приводить к изменениям площади пожара (регулярным колебаниям системы); в том случае, если площадь пожара ограничивается пространством и горючей нагрузкой, а не огнетушащими средствами, это приводит к прекращению пожара (к затуханию колебаний системы); управленческое решение будет эффективно, в том случае, если интенсивность пожаротушения соответствует кривой 1 (рис. 1.20); устойчивость системы «тушение–пожар» зависит от вида кривой  $f_1(S_{\text{п}})$ , отображающей реализацию того или иного метода управления при тушении пожара [181, 333].

Определение 1.7. Динамической системой управления силами и средствами при пожаротушении мобильными средствами назовём элементы  $\{S_{\text{п}}, YR_t\}$ , где  $S_{\text{п}}$  – возможная площадь пожара (пространство состояний),  $YR_t$  – однопараметрическая подгруппа модификационных операторов, удовлетворяющих свойствам [333]:

$$YR_0 = id(YR). \quad (1.22)$$

$$YR_{t_1+t_2} = YR_{t_1} \circ YR_{t_2}, \quad (1.23)$$

где  $id$  – тождественное отображение решения управленческих задач РТП при пожаре пожарно–спасательными подразделениями,  $YR$ .

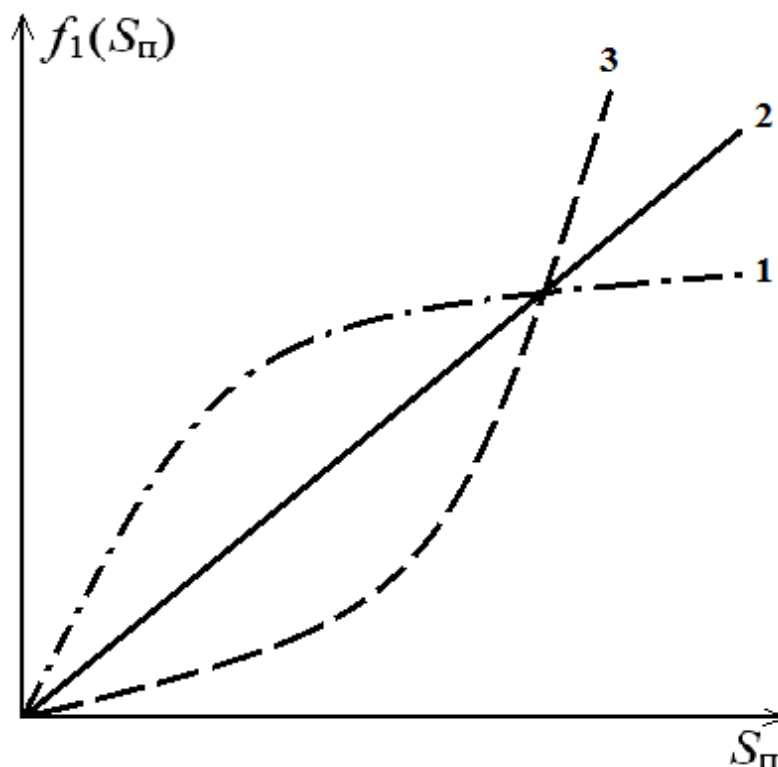


Рисунок 1.20 – Виды реализации управленческого решения РТП на подачу огнетушащих средств пожарно–спасательным подразделением: кривые 1 – эффективное тушение, 2 – идеализированное, соответствии с (1.19), 3 – неэффективное тушение

Эти свойства означают, что динамическая система не меняет своего состояния самопроизвольно и она автономна.

Формализуем закон изменения в виде дифференциальных уравнений. Для этого допустим, что пространство состояний динамической системы представлено подмножеством  $S = S_T \subseteq \mathbf{R}_n$ , с позициями  $s_T = (s_1, \dots, s_n)$ , закон изменения задается неявно:

$$\dot{s}_T = f(s_T), s_T \in S_T \subseteq \mathbf{R}_n, \quad (1.24)$$

$$f: S_T \rightarrow \mathbf{R}_n,$$

и является системой автономных обыкновенных дифференциальных уравнений.



Если определено начальное состояние  $s_T(0) = s_0 \in S_T$ , то, в случае выполнения требований “теоремы существования и единственности решения задачи Коши (если кроме дифференциального уравнения задано начальное условие)” [333, 335], трансформационный оператор принимает вид:  $YR_t s_0 = s_T(s_0, t)$ .

Правая часть - это есть решение задачи (1.24) при начальном условии  $s_T(0) = s_0$ .

Определение динамической системы управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий при пожаре представляет математическую формализацию общего научного представления детерминированного процесса, включает множество возможных состояний системы (фазовое пространство) и закон трансформации системы управления во времени.

Существенным признаком динамической системы управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий при пожаре является размерность пространства состояний, подразделяющегося на конечномерные и бесконечномерные.

Вышеизложенное позволяет представить (1.15) для динамической системы с дискретным временем в следующем виде:

$$S_{n, t+1} = kp \cdot S_{n, t}, \quad kp > 0,$$

где  $kp$  – коэффициент пропорциональности.

Определение 1.8. Множество возможных позиций  $s_T = (s_1, \dots, s_n)$ , назовём “пространством состояний или фазовым пространством системы (1.24)” [333, 335].

Пространство состояний динамической системы (1.24) охватывается множеством  $\mathbf{R}_n = \{s_T : s_T > 0\}$ .

Определение 1.9. Кривую  $vt(s_0)$  назовём фазовой кривой (траекторией), системы управления (1.24). График функции  $s_i = s_i(t; s_0)$ , для всех  $i = 1, 2, \dots, n$

на множестве  $s_T = (s_1, \dots, s_n, t)$ , назовём интегральной кривой системы управления (1.24).

Определение 1.10. Положениями равновесия динамической системы (1.21) назовём те точки фазового пространства  $s_*$ , для которых  $f(s_*) = 0$ . То есть  $s_*$  это решение, так как  $\dot{s}_* = 0$ .

Прямая, параллельная оси  $t$  (рис. 1.18) с координатами  $(0, 100)$  (для данного примера) это интегральная кривая (прямая в пространстве  $\mathbf{R} \times \mathbf{R}_n$ ), соответствующая положению равновесия.

Определение 1.11. Фазовым портретом назовём семейство фазовых траекторий, полученное в результате разбиения фазового пространства на траектории.

Отобразить семейство фазовых траекторий на рисунке не представляется возможным, поэтому отображаются только опорные траектории, в результате получается фазовый портрет.

Утверждение 1.3. Решения уравнения (1.24) являются монотонными функциями времени.

Доказательство. Зафиксируем некоторое начальное условие  $s_0$ , при этом  $f(s_0) \neq 0$ , а графическое отображение решения  $s(t; s_0)$  в некоторый момент времени  $t_*$  содержит локальный максимум/минимум, эквивалентный  $s_*$ .

Тогда,  $s_0(t_*) = f(s_*) = 0$ , а это означает, что  $s_*$  – положение равновесия, т.е. уравнение (1.24) обладает решением, тождественно равным  $s_*$ , а это не согласуется с утверждением теоремы существования и единственности решения.

Семантически утверждение свидетельствует о том, что в одномерных динамических системах с непрерывным временем невозможны периодические решения. Фазовый портрет этих систем сводится к совокупности отрезков (ориентированных) прямых, стремящихся к равновесному положению или в противном случае стремящихся в бесконечность. В том случае если траектория одномерной динамической системы ограничена, как например, в случае

тушения стандартного пожара, то ее асимптотические состояния находятся всегда в положении равновесия.

Абстрагируясь, разбиваем горючую нагрузку, по которой развивается пожар на три непересекающихся множества:  $S_n$  – огонь ещё не дошел,  $S_o$  – охвачена огнём,  $S_{но}$  – созданы условия для перехода на неё огня. В этом случае пространство состояний:  $S \in (S_n, S_o, S_{но})$ , тогда в любой момент времени (пока не вводятся огнетушащие вещества) должно выполняться  $S_n + S_o + S_{но} = S$ , если наша система замкнута (взрыва не будет, ограждения не сгорят).

Наложение ограничения равенства, на состояние рассматриваемой системы означает, что фазовое пространство двумерно.

Замена локальной модели (процессы пространственно однородны) на распределённую модель (процессы пространственно неоднородны), позволяет уточнить описание протекающих процессов в системе управления. Для этого необходимо учитывать  $S_n = S_n(x, t)$  и  $S_{но} = S_{но}(x, t)$  – пространственное распределение параметров, т.е. двумерное фазовое пространство замещается бесконечномерным.

С учётом (1.15, 1.16) и SIR модели [333, 336], математическая модель распространения пожара, с учётом равномерности горючей нагрузки и постоянной скорости тушения  $vt$  имеет вид

$$\begin{cases} \dot{S}_n = -vp \cdot S_n \cdot S_o, \\ \dot{S}_o = vp \cdot S_n \cdot S_o - vt \cdot S_o, \\ \dot{S}_{но} = vp \cdot S_o, \end{cases}$$

где  $vp$ ,  $vt$  – скорости распространения пламени и тушения, соответственно.

Обстановка с пожаротушением в пределах определенной области (объекте, помещении, территории)  $O$  опишем вектором с неотрицательными компонентами  $S = (S_1, S_2, \dots, S_n) \in \mathbf{R}_{+n}$ , где  $S_n$  — площадь тушения на  $n$ -й позиции. Тогда,  $\mathbf{R}_{+n} = \{S \in \mathbf{R}_n : S > 0\}$ , где:  $S > 0$  для вектора  $S$  означает, что  $S_n > 0$  для всех  $n$ .

Состояние системы «тушение–пожар» опишем двумя значениями:  $T$  – характеристика пожаротушения в рассматриваемой области (объекте, помещении, территории);  $P$  – характеристика пожара (горючая нагрузка, опасные факторы пожара, геометрические параметры). Тогда фазовое пространство:  $S = \mathbf{R}^2_+$ .

Пространственные характеристики пожаротушения и развития пожара обладают свойством неоднородности и, следовательно, пространства вектор–функций запишем:  $T(x, t)$ ,  $P(x, t)$ , где  $x \in O \subset \mathbf{R}^2$ , в том случае если рассматривается процесс пожаротушения на плоскости;  $x \in O \subset \mathbf{R}^3$  – в объёме (фазовое пространство становится бесконечномерным, равно как и пространство функций).

Эволюция динамической системы пожаротушения определяет трансформацию состояния системы во времени  $t \in T$ , где  $T$  – упорядоченное множество. Теории управления пожарно–спасательными подразделениями оперирует двумя типами динамических систем (дискретные, непрерывные), когда:  $T = \mathbf{R}$  – с непрерывным временем;  $T = \mathbf{Z}$  – с дискретным временем.

Ключевой составляющей любой динамической системы является закон её изменения, определяющий состояние системы в момент времени  $t$  -  $S_t$  при условии, что её начальное состояние известно –  $S_0$ . В общем виде формализуем закон изменения:  $YR_t : S \rightarrow S$ .

Т.е. для любого времени  $t$  определено отображение  $S$  на  $S$ , которое транслирует начальное состояние в следующее:  $S_t = YR_t \cdot S_0$ .

Трансформация динамической системы происходит в условиях воздействия на входящие в неё элементы. Пусть на пожар воздействуют огнетушащие вещества с фактическим расходом  $Q_{\phi t}$  и фактической интенсивностью  $I_{\phi t}$ , так что локализация не происходит. Т.е. окружающая среда (пожар) способна перерабатывать, поглощать до определенного предела внешнее воздействие (огнетушащие вещества):

$$Q_{\phi t} < Q_{\text{тp} t} ,$$

$$I_{\text{ф т}} < I_{\text{тр т}},$$

где  $Q_{\text{тр т}}$  – требуемый расход огнетушащих веществ, л/с;  $Q_{\text{ф т}}$  – фактический расход огнетушащих веществ, л/с;  $I_{\text{ф т}}$  – фактическая интенсивность подачи огнетушащих веществ (линейная, поверхностная, объемная);  $I_{\text{тр т}}$  – требуемая интенсивность подачи огнетушащих веществ (линейная, поверхностная, объемная).

В этом случае изменение системы «тушение–пожар» опишем системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{T} = \mu - trT - f(\Pi, T) \\ \dot{\Pi} = g(\Pi) - h(\Pi, T) \end{cases},$$

где  $\mu$  – мощность пожаротушения в единицу времени;  $tr$  – коэффициент, характеризующий темп роста (относительная скорость) площади пожара;  $f(\Pi, T) \geq 0$  – функциональная переменная, описывающая взаимодействие огнетушащих веществ и пожара;  $g(\Pi)$  – функциональная переменная, описывающая динамику пожара при отсутствии подачи огнетушащих веществ;  $h(\Pi, T) \geq 0$  – функциональная переменная, описывающая влияние пожаротушения на пожар [333].

Предлагается следующий обобщённый алгоритм математического моделирования сложной социальной и экономической системы управления силами и средствами при пожаротушении:

- A1. Замена множества дискретных объектов системами уравнений.
- A2. Анализ решения систем уравнений (при всех возможных параметрах).
- A3. Интерпретация в терминах пожарной тактики.

### **Динамическая модель**

Для разработки модели системы управления пожаротушением мобильными средствами воспользуемся опытом фактического использования целенаправленных иерархических моделей [337–340], так как в них одновременно применяются три ключевые группы ресурсов:

- информационный (семантический – идентифицирует и гарантирует структурную надёжность модели и прагматический – идентифицирует сущностное направление процессов её жизнедеятельности);
- материальный (мобильные средства и вещества пожаротушения, личный состав участников тушения пожара);
- энергетический (идентифицирует интенсивность моделируемых процессов).

Учитывая вышесказанное, обобщенную динамическую модель системы управления пожаротушением мобильными средствами можно представить в виде системы трех алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} I(t, P, T) = I_0 + Y_I(t, P, T) + R_{IM}(t, P, T) + R_{IE}(t, P, T) + O_I(t, P, T) \\ M(t, P, T) = M_0 + Y_M(t, P) \pm R_{MI}(t, P, T) \pm R_{ME}(t, P) \pm O_M(t, P) \\ E(t, P, T) = E_0 + Y_E(t, P) + R_{EI}(t, P, T) \pm R_{EM}(t, P) \pm O_E(t, P), \end{cases} \quad (1.25)$$

где  $I_0$ ,  $I$  – минимально необходимый и максимально допустимый исследуемый информационный ресурс;  $M_0$ ,  $M$  – минимально необходимый и максимально допустимый исследуемый материальный ресурс;  $E_0$ ,  $E$  – минимально необходимый и максимально допустимый исследуемый энергетический ресурс;  $P$  – функционально-организационные и технико-топологические параметры исследуемых ресурсов;  $t$  – время моделирования;  $T$  – тезаурус модели пожаротушения мобильными средствами;  $Y_I$ ,  $Y_M$ ,  $Y_E$  – параметры конкретной модели пожаротушения мобильными средствами, идентифицирующие внутрисистемные потери информационного, материального и энергетического ресурсов соответственно, происходящие в результате функционирования модели;  $R_{IM}$ ,  $R_{IE}$  – параметры конкретной модели пожаротушения мобильными средствами, идентифицирующие допустимые внутрисистемные модификации материального и энергетических ресурсов в информационный ресурс;  $R_{MI}$ ,  $R_{ME}$  – параметры конкретной модели управления пожаротушением мобильными средствами, идентифицирующие допустимые внутрисистемные модификации информационного и энергетических ресурсов в материальный ресурс;  $R_{EI}$ ,  $R_{EM}$

– параметры конкретной модели управления пожаротушением мобильными средствами, идентифицирующие допустимые внутрисистемные модификации информационного и материальных ресурсов в энергетический ресурс;  $O_I$ ,  $O_M$ ,  $O_E$  – величины обмена ресурсами модели управления пожаротушением мобильными средствами с внешними системами (обеспечения пожарной безопасности, тушения автоматическими и (или) автоматизированными установками и т. п.) и средой функционирования (внешнеэкономическая), формирующие вектор преобразований, идентифицирующий ресурсы, воздействующие на модель управления пожаротушением снаружи (положительное воздействие) или исходящие из модели наружу (отрицательное воздействие).

Воздействие значения параметра модели управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре на совместно используемые ресурсы обуславливает назначение системы.

Ключевыми атрибутами моделей со структурой (1.25), учитывающей только исследуемые ресурсы модели управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре, являются следующие:

1) выражение (1.25), описывает процесс функционирования модели управления пожаротушением с заданной точностью и определяет закономерность изменения любого аргумента во времени, описывающей поведение модели и/или ее отдельных подмодулей;

2) “в общем случае первое и третье уравнения в (1.25) можно задать с точностью лишь до постоянного слагаемого, вторые соотношения, как правило, можно задать точно” [337];

3) возможность как сохранения исследуемого обобщённого ресурса, так и его расходования при осуществлении процессов обмена значениями аргумента.

Фундаментальная база (материальная, энергетическая, информационная) модели управления пожаротушением состоит из поддерживающего и расчётного компонентов, которые сопряжены потоками обмена управляющими

данными (энерго-информационное взаимодействие).

На основе вышеизложенного можно заключить, что целостная формализация задачи управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре в пространстве состояний оперативно-тактических действий предопределяется атрибутами отображения целевого состояния, инициализации начального состояния и воздействия на атрибуты состояния.

### Алгебраическая модель

С целью формализации управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре применим алгебраические модели, в основе которых лежат понятия и представления общей алгебры [16, 254, 331, 340].

Предмет общей алгебры оперирует множествами элементов и операциями над ними. “Алгебраические свойства таких множеств удобны для описания системных свойств и процесса функционирования объектов моделирования. В алгебраических системах информация об объекте представляется в виде совокупности связей” [16, 254, 341, 342]. Следовательно, алгебраическую модель поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре относительно структурных и функциональных связей возможно формализовать как систему управления, скоординированную по предопределённым принципам объединения гомоморфизма и универсальных алгебр (1.17, 1.18):

$$\left\{ \begin{array}{l} P = \{SiS, BC, ООП, Пв\} \\ \gamma = Пв \rightarrow F \end{array} \right. , \quad (1.26)$$

где  $SiS = \{S, R\}$  – ключевое множество, состоящее из подмножеств структурно-функциональных компонентов системы управления пожаротушением содержащих: основные средства материальных ресурсов  $S = \{s_i\}$ ,  $i = \overline{1, I}$  (пожарно-спасательных и аварийных подразделений); дополнительных средств (энергетических, информационных и других ресурсов)  $R = \{r_k\}$ ,  $k = \overline{1, K}$ ;  $BC = \{bc_i\}$ ,  $i = \overline{1, I}$  – множество бинарных связей (дистрибутивная решетка), в



котором зафиксированы в соответствии с процедурами:  $\cup$  и  $\cap$  – операции объединения и пересечения соответственно, множества допустимых действий (перестановки и/или заимствования и т. п.) и/или пар действий, таких что  $\{bc_1, bc_2\} \in BC$ , между структурно-функциональными компонентами системы управления пожаротушением; подмножество допустимых действий, таких что  $bc_3 = bc_1 \cup bc_2$ ; подмножество допустимых действий, таких что  $bc_4 = bc_1 \cap bc_2$ . Так как оперативно-тактические действия, реализуемые пожарными (спасателями), на практике оцениваются различными показателями, но при этом воздействующими на результативность всего пожаротушения, то любому отдельному действию ( $bc$ ) при пожаротушении ( $BC$ ) допустимо определить некоторый количественный аргумент  $\lambda$ . Тогда процедура объединения связей  $bc_1 \cup bc_2 = bc'$  инициализирует процедуру сложения аргументов  $\lambda_1 + \lambda_2$  для действий с минимально допустимой интенсивностью –  $bc'$ , а процедура пересечения связей  $bc_1 \cap bc_2 = bc''$  инициализирует процедуру перемножения аргументов  $\lambda_1 \times \lambda_2$  для действий с максимально возможной интенсивностью –  $bc''$ ;

$ООП \subseteq O(S, BC)$  – подрешетка дистрибутивной решетки  $O(S, BC)$

$$O(S, BC) = \{ \text{ооп} \mid \text{ооп} : S^2 \rightarrow BC \}, \quad (1.27)$$

где  $O(S, BC)$  – фрагментально-ориентированное множество возможных проекций декартова квадрата  $S \times S = S^2$  на дистрибутивную решетку  $BC$ , причём соответствует условиям для любого  $s_1, s_2 \in S$ :

$$(\text{ооп}_1 \cup \text{ооп}_2)(s_1, s_2) = \text{ооп}_1(s_1, s_2) \cup \text{ооп}_2(s_1, s_2), \quad (1.28)$$

$$(\text{ооп}_1 \cap \text{ооп}_2)(s_1, s_2) = \text{ооп}_1(s_1, s_2) \cap \text{ооп}_2(s_1, s_2), \quad (1.29)$$

и множество возможных проекций, инициализирующих соответствующие упорядоченно-распределённые конструкции, задаётся матрицей

$$\text{ооп} = M_{\text{ооп}} = \{ bc_{ij}(s_1, s_2) \}, \quad i, j = \overline{I, I}, \quad s_1 = i, \quad s_2 = j. \quad (1.30)$$

При этом подмножество возможных проекций  $\text{ооп}_i \in ООП$ ,  $i = \overline{I, I}$ , определяет возможные пары материальных ресурсов  $\{s_1, s_2\} \in S$  ключевого множества  $SiS$ ,

допустимые между ними действия, вида:  $bc = \text{ооп}(s_1, s_2)$ ,  $bc \in BC$ ;  $\text{ооп}_1 \cup \text{ооп}_2$  – процедура, соотнесения этих компонентов с такой, в которой реализуются допустимые действия, выполняемые хотя бы в одной из соотнесённых  $\text{ооп}_1$ ,  $\text{ооп}_2$ ;  $\text{ооп}_1 \cap \text{ооп}_2$  – процедура, маркирующая в компонентах  $\text{ооп}_1$ ,  $\text{ооп}_2$  общее ядро. “Иерархичность структуры, в которой все действующие на множестве элементов отношения являются отношениями частичного порядка, обеспечивается выполнением следующих условий” [342]:

$$\text{ооп}(s_1, s_3) \geq \text{ооп}(s_1, s_2) \cap \text{ооп}(s_2, s_3), \quad (1.31)$$

$$\text{ооп}(s_1, s_2) \cap \text{ооп}(s_2, s_1) = \emptyset, \forall s_1, s_2, s_3 \in S; \quad (1.32)$$

$\text{Пв} = [P^{(r)}, B]$ ,  $r=1, 6$  – дистрибутивная решетка (мультирешетка), с дополнениями: операция композиции  $*$ ; связь предшествования  $\leq$  задаётся выражением:

$$z_{T_1} \cdot z_T \leq z_{T_2} \cdot z_T; z_T \cdot z_{T_1} \leq z_T \cdot z_{T_2} \mid z_{T_1} \leq z_{T_2}, \forall z_{T_1}, z_{T_2}, z_T \in P^{(r)} \quad (1.33)$$

и концентрируется в себе разнообразные задачи  $z_T \in P^{(r)}$ , которые могут возникнуть перед пожарно-спасательным подразделением при прибытии на место пожара и содержит ориентированный граф управленческих задач на тушение без контуров и петель с массивом вершин  $P^{(r)} = \{z_{T_1}, z_{T_2}, \dots, z_{T_{np}}\}$ , очерчивающих определённое инициированное многообразие задач на месте пожара, а также прилегающей к нему территории и массивом ребер  $B \subseteq P^{(r)} \times P^{(r)}$ , отражающих отдельные элементы процесса пожаротушения. Связи предшествования (1.31) устанавливают реализацию допустимого многообразия задач при пожаротушении  $z_{T_2}$  и прогнозируют исполнение управленческой задачи пожаротушения мобильными средствами  $z_{T_1}$  в том случае, если: предопределённый массив задач, необходимых для исполнения  $z_{T_1}, z_{T_2}$  при пожаротушении описывается выражением  $z_{T_1} \cup z_{T_2}$  или предопределённый массив задач  $z_{T_1} \cap z_{T_2}$ , исполнение которых осуществляется параллельно.

Введение ограничения для проекции (1.27) расценивается как соотнесение  $\{z_{T_1}, \text{ооп}_j\}$  (задача при ведении оперативно-тактических действий

$z_{T_1} \in G$  и сложившаяся (текущая) конфигурация сил и средств пожаротушения  $ооп_1 \in ООП$ ) идентичной структуре ведения оперативно-тактических действий:

$$ооп' = \gamma(z_{T_1})ооп_j, \quad ооп' \in ООП, \quad i = \overline{I, N_p}, \quad j = \overline{I, l}, \quad (1.34)$$

которая формализует изменение направления оперативно-тактических действий  $z_{T_i}$  в результате смены решающего направления, но с учётом гомоморфности  $\gamma$  устанавливает то, что это изменение характеризуется инерционностью (не происходит кардинального изменения взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями) и скоординирована с порядком связей.

Ключевыми атрибутами модели поддержки управления пожаротушением (1.26) являются:

сравнительная многофункциональность (если  $ООП = O$ , то архитектура модели (1.27) абсолютно многофункциональна);

содержание всеобъемлющего представления структуры определённого оперативно-тактического действия («дискретного слепка») как части подмассива, массива  $ООП$ . Работа составных элементов модели выражается в преобразовании её структуры.

С целью подтверждения соответствия определённых аргументов алгебраической модели реальным действиям пожарно-спасательных подразделений при пожаротушении необходимо принимать в расчёт то, что:

от избранной степени изучения модели зависит формализация множества  $S_i S = \{S, R\}$  ее параметров;

формализация дистрибутивной решетки  $C$  и ее параметров реализуется при исследовании составляющих пожаротушения посредством фиксирования допустимых видов итераций между отдельными оперативно-тактическими действиями и их связями, составляющих множество  $S$ . Результат анализа упорядоченного множества значений связей между отдельными оперативно-тактическими действиями позволяет реализовать выбор схемы развёртывания пожарно-спасательного подразделения, метода управления, способа ведения разведки и т. д.;

формализация множества ООП и ее параметров, а также идентификация смены решающего направления в результате воздействия инициализированного для множества  $P$  упорядоченно-распределённых заданий при пожаротушении мобильными средствами реализуется вследствие детального анализа: корректировки процесса ведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями при пожаротушении с учётом реальной обстановки; экспертных заключений; допустимых схем развёртывания и правил пожаротушения.

### **Реляционная модель**

Цель управления при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями определяется частной задачей пожарной охраны. Вдобавок для реализации цели управления пожарно-спасательными подразделениями при пожаре всегда требуется выполнить комплекс взаимосвязанных оперативно-тактических действий, что обуславливает, в свою очередь, возникновение оперативных задач управления при пожаротушении, соответствующих различным подпроцессам и этапам локализации и ликвидации пожара. При этом решение оперативных задач управления пожаротушением осуществляется путем переработки содержащихся в них элементов оперативно-тактических действий. Тогда инвариантом ведения оперативно-тактических действий является смысл оперативной задачи управления. Из этого следует, что конкретная оперативная задача управления при ведении оперативно-тактических действий может иметь различный смысл для разных «потребителей услуг» (пострадавший, сторонний наблюдатель, участник тушения пожара) и противоречивый прагматический смысл из-за многообразия понятий модели управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара в соответствии с тезаурусом.

Для обеспечения возможности решения оперативной задачи управления (OZ) для реализации оперативно-тактических действий (ZT) должно существовать прямое однозначное отображение:

$$\begin{aligned} L_z &\rightarrow F, \\ D : ZT &\rightarrow F^c(T_i), i = \overline{1, I}, \end{aligned} \quad (1.35)$$

где  $L_z$  – количество и свойство содержательной информации для реализации ОТД;  $ZT$  – множество оперативно-тактических действий, возможных при тушении пожара, элементами которого являются операции (установка на водоисточник, разведка, подача ОВ и др.);  $F^c(T_i)$  – логическое множество (идентификатор  $\leftrightarrow$  содержание  $\leftrightarrow$  величина) уникальное для любого  $i$ -го участника пожаротушения мобильными средствами (тезаурус  $T_i$ );  $D$  – правило интерпретации оперативной задачи оперативно-тактических действий (общее или конфиденциальное в зависимости от объекта) в виде проекции достижения «соглашения» между старшим должностным лицом и участником тушения пожара  $F^c$ .

На основании вышеизложенного реляционную модель управления пожаротушением можно формализовать в виде сети Петри (рис. 1.21) с учётом объединения условий и описаний, модификации и интерпретации управления оперативно-тактическими действиями  $ZT$  участниками пожаротушения  $F^c$ , детализированную для поэтапного управленческого воздействия, где  $ZT_0$  – множество исходных оперативных управленческих задач;  $ZT_i$  – множество преобразованных управленческих задач на пожаре в ОТД;  $F^c_0$  – исходная уникальная интерпретация преобразованных оперативных управленческих задач из множества ОТД;  $F^c_i$  – текущая интерпретация преобразованных оперативных управленческих задач из множества ОТД;  $D_0(T)$  – проекция, реализующая принципы формализации исходных оперативных управленческих задач;  $D_i(T)$  – проекция, реализующая принципы формализации преобразованных оперативных управленческих задач;  $D_{ZT}(F^c, F^c')$  – проекция, реализующая принципы формализации оперативной

управленческой задачи при ОТД, идентифицирующая структурированными данными участников тушения пожара  $I^s$  и структурированными данными старшего должностного лица на пожаре  $I^s$ ;  $D_L(L_p, T)$  – проекция, реализующая принципы формализации оперативной управленческой задачи при ведении ОТД в том случае, если проекция  $D_0$  взаимно однозначна (элемент  $I^c_0(T)$  содержит одно отображение в  $ZT_0$ ), иначе – наличие в множествах  $I^c_0, I^c_i$  общего прообраза в  $ZT_0$ , не имеющегося в ОТД на конкретном объекте пожаротушения.

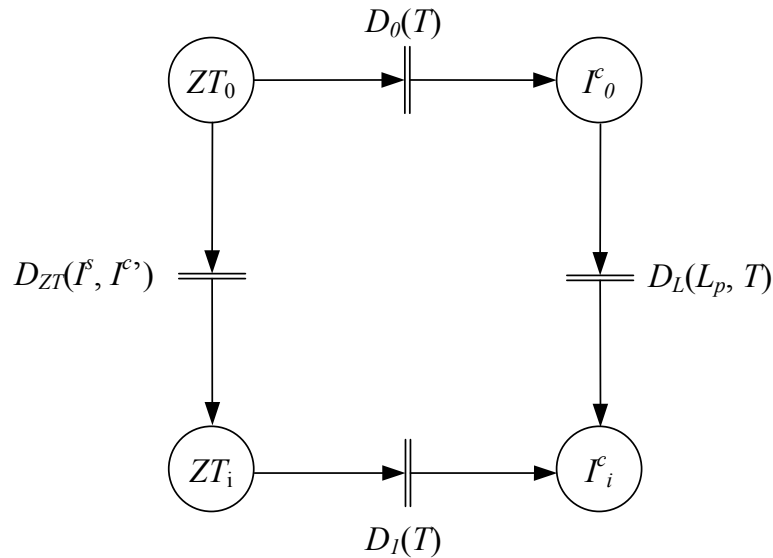


Рисунок 1.21 – Реляционная модель управления пожаротушением мобильными средствами в виде сети Петри

При этом модель управления пожаротушением имеет следующие свойства: каждой  $OZ_0 \in ZT_0$  поставлена в соответствие ровно одна оперативная управленческая задача при тушении  $D_0(OZ_0) \in I^c_0(T)$  и ровно одна задача  $D_1(D_{ZT}(OZ_0)) \in I^c_1(T)$ , так как  $D_{ZT}(OZ_0) = OZ_1 \in ZT_1$ , а  $D_1(OZ_1) \in I^c_1(T)$ ;

$D_0 D_L = D_{ZT} D_1$ , т. е. математическая структура (1.35) является коммутативной;

$D_L$  – определяющее правило интерпретации решения оперативной задачи управления оперативно-тактическими действиями, поэтому при выборе

решения поставленной задачи управления следует исходить из смысла и правила ведения ОТД в зависимости от объекта пожара.

Анализ возможных композиций решения оперативных управленческих задач при ведении ОТД позволяет определить основные виды их ведения (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Основные виды реализации оперативной управленческой задачи при ведении оперативно-тактических действий при пожаре

Взаимная однозначность		Тип ведения ОТД
$D_{ZT}(I^s, I^c)$	$D_L(I^s, T)$	
+	+	Без потери $I^c$
-	+	С потерей $I^s_{oz}$
-	-	С потерей $I^c$

Реализация оперативной управленческой задачи при ведении ОТД без снижения тактического потенциала при решении общей управленческой задачи пожаротушения имеет место в том случае если  $D_{ZT}$ ,  $D_L$  – взаимно однозначные отображения. Поэтому обеспечение взаимной однозначности  $D_{ZT}$  ( $|ZT_0| = |ZT_1|$ ) необходимо в случае, когда в процессе ведения ОТД осуществляется, например, замена личного состава на позиции по тушению или замена огнетушащего средства. Это возможно только при наличии избыточности личного состава и пожарной техники. В указанных случаях существует обратное однозначное отображение  $D_{ZT}^{-1}$ , позволяющее восстановить исходное состояние  $OZ_0$  по  $OZ_1 \in ZT_1$ .

Реализация оперативной задачи при ведении ОТД с недостатком сил и средств при пожаротушении  $OZ_0$ : если  $D_{ZT}$  – не взаимно однозначно ( $|ZT_0| > |ZT_1|$ ),  $D_L$  – взаимно однозначно (возможна точная интерпретация исходной задачи на тушение). При этом  $D_{ZT}$  – гомоморфное отображение, реализующее правило ведения ОТД при недостатке сил и средств по решению РТП на конкретном объекте.

Реализация оперативной управленческой задачи при ведении ОТД с частичным недостатком сил и средств при локализации и ликвидации пожара: если  $D_L$  – не взаимно однозначно, то  $D_{ZT}$  тоже не является взаимно однозначным и тогда происходит снижение тактического потенциала при конкретном варианте ведения ОТД  $OZ_1 \in ZT_1$  по сравнению с тем, который содержится в плане пожаротушения  $OZ_0 \in ZT_0$ .

Это свидетельствует о том, что реляционную модель (рис. 1.21) можно применять при анализе и исследовании общих и персонализированных атрибутов этапов управления при пожаротушении.

“Вопрос о выборе представления – общий для любого способа решения задач, но, к сожалению, в исследованиях не выработано универсальных методов для нахождения искусных формулировок задач” и в первую очередь при управлении пожаротушением [14, 184, 339, 343–346].

### **Выводы по 1 главе**

1. Анализ нормативно-распорядительных документов по учету пожаров и их последствий показал, что деятельность пожарных подразделений оценивается по темпу прироста статистических показателей оперативного реагирования относительно времени или сравнением между различными категориями (субъекты Российской Федерации, муниципальные образования, объекты, время реагирования и т. д.).

2. Анализ значений показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений позволил получить обобщенные показатели, характеризующие действия пожарно-спасательных подразделений при тушении тактически сложных пожаров, и концептуально определить перспективы повышения эффективности управления силами и средствами пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров.



3. Анализ статистических данных, проведенный на основе значений показателей федеральной государственной информационной системы «Федеральный банк данных «Пожары» и описаний пожаров выявил устойчивую тенденцию к снижению значений показателей оперативного реагирования на пожары как одного из направлений повышения эффективности деятельности оперативных пожарно-спасательных подразделений. В ближайшее время они должны достигнуть своего естественного предела.

4. Анализ взаимного влияния причинно-следственных связей и приоритетов в деятельности оперативных пожарно-спасательных подразделений выявил то, что при увеличении фактического количества сил и средств пожарно-спасательных подразделений, сосредоточенных для локализации пожара, снижается эффективность управления силами и средствами пожарно-спасательных подразделений. Это характерно для пожаров на сложных в пожарно-тактическом отношении объектах экономики и социальной инфраструктуры, характеризующихся наличием на них большого количества людей, сложной планировкой и т. п., а также привлечением пожарно-спасательных подразделений по повышенным номерам вызова, управление которыми на пожаре является сложным многоуровневым процессом управления и принятия решений при ведении ими оперативно-тактических действий.

5. Математически доказано утверждение об оптимальности процесса управления подачей огнетушащих веществ (необходимое и достаточное условие) с целью поиска минимальных значений функции управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре при существующих ограничениях по расходу и интенсивности подачи огнетушащих веществ.

6. Формализована функция задачи управления РТП по подаче струй огнетушащих веществ ствольщиками в очаг пожара обеспечивающая достижение необходимых и достаточных условий локализации пожара и

решена задача управления для случая “построчной” траектории перемещения пятна орошения очага пожара струёй огнетушащих веществ.

7. Обоснованы граничные условия (зависимость глубины тушения пожарным стволом от типа здания и сооружения) для функции задачи управления РТП по подаче струи огнетушащих веществ ствольщиком в очаг пожара на фиксированную площадь.

8. Определён коэффициент социальной эффективности, характеризующий квалификацию ствольщиков на пожаре – глубина тушения пожарным стволом.

9. Формализованы три вида реализации управленческого решения РТП по подаче огнетушащих средств пожарно-спасательным подразделением: эффективное, неэффективное, оптимальное. Формализация осуществлена с целью моделирования оценки эффективности управленческого решения.

10. Исследованы и формализованы относительно теории управления пожаротушением основные методологические понятия и принципы. Обоснованы: понятия (теоретические, технологические и элементарные), правила, принципы, методы, необходимые для разработки оценок эффективности и моделей решения задач управления и принятия решений на пожаре.

10.1. Среди основных введённых и формализованных понятий управление пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара и проведении аварийно-спасательных работ интерпретируется как управленческое воздействие с целью координации и регулирования связей сил и средств процесса оперативно-тактических действий, складывающихся в результате разделения функций и целей, реализуемых руководителем тушения пожара при различных внешних и внутренних изменениях обстановки на пожаре; система пожаротушения мобильными средствами – множество ресурсов (людских, материальных, энергетических) для тушения пожара и ликвидации чрезвычайной ситуации, находящихся в многообразных

соотношениях и взаимосвязях в соответствии с предназначением, составляющих определенную цельность и единство (пожарно-спасательный гарнизон, участок тушения пожара, позиция по тушению пожара и т. п.) в результате операции выделения (ведение оперативно-тактических действий), при этом не сводящаяся к свойствам элементов, входящих в это множество; система управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров – принятие РТП управленческих решений в отношении совокупности элементов (личный состав, пожарные автомобили, пожарно-техническое оборудование, огнетушащие вещества и средства и др.), «находящихся в отношениях и связях между собой, образующих определенную целостность и единство в» результате операции выделения, при этом не сводящейся к свойствам элементов, входящих в это множество, в реально складывающейся или сложившейся оперативной ситуации на пожаре.

10.2. В качестве основных методологических принципов теории управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров выделены 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.

11. Формализовано управление силами и средствами пожарно-спасательных подразделений при тушении пожара с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений. В качестве ключевых элементов используются площади пожара и тушения.

12. Разработаны динамическая, алгебраическая и реляционная в виде сети Петри модели системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров в которых СиС, используемые при ведении ОТД на пожаре, формализованы в виде ресурсов пожаротушения: информационный (семантический – определяет и обеспечивает структурную устойчивость

модели и прагматический – определяет содержательный характер процессов функционирования модели); материальный; энергетический (идентифицирует интенсивность моделируемых процессов).

## **Глава 2. Формализация при моделировании управления пожарно-спасательными подразделениями на месте пожара**

Применение теории графов, а именно сетей Петри для формализации управления оперативно-тактическими действиями на пожаре позволяет описать процедуры синтеза и анализа системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров относительно их структурных (узловых) характеристик. В главе 2 предлагается подход к формальному описанию функциональных (процессных) характеристик системы управления пожаротушением в виде сетей Петри.

### **2.1. Методологические вопросы синтеза и оптимизации структуры управления на пожаре**

Для моделирования системы управления пожаротушением, характеризующегося параллельно-последовательными взаимодействующими процессами, воспользуемся математическим аппаратом сетей Петри. Достоинством таких моделей является сходство их топологической структуры со схемой моделируемого процесса управления пожаротушением. Графическая модель управления пожаротушением, представленная в виде множества сетей Петри, отображает движение системы из одного состояния в другое, скажем, перемещение пожарного автомобиля с личным составом из пожарно-спасательного депо к месту вызова. По устройству сети Петри ассоциируются с автоматами Мура или Мили [347], при этом они характеризуются несравнимо большим уровнем наглядности; воссоздают динамические особенности модели управления пожаротушением мобильными средствами как процесса, к примеру, продолжительность задержки при движении объекта моделирования из одного положения в другое; воссоздают слаженность и скоординированность действий пожарно-спасательных подразделений, участков (секторов) тушения пожара,

номеров расчёта, возможные трудности (нормативно-управленческие); описывают параллельно-последовательные процессы оперативно-тактических действий и логические взаимосвязи.

Для нашей предметной области сеть Петри  $P$  представим в виде:

$$P = \langle Poz_p, D_t, F, H, \mu_0, Z \rangle, \quad (2.1)$$

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 одного места в другое), элемент оперативно-тактического действия;  $F: Poz_p \times D_t$  и  $H: D_t \times Poz_p$  – функции входных и выходных величин (задаются матрицами  $|D_{ti}, Poz_{pi}|$ );  $\mu_0$  – 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.

На рисунке 2.1 изображён граф управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров, где величины  $p \in Poz_p$  отмечены кружочками (вид оперативно-тактического действия) и пронумерованы 1–5, а вершины  $t \in D_t$  – параллельными линиями (барьер). Переходы отображены стрелками и соответствуют функциям инцидентности позиций и переходов. Кружочкам (позициям) в сети Петри присвоим (промаркируем) определённые натуральные числа. Отразим маркировку на графе наличием на позиции (в кружочках) точек – маркерами. Количество маркеров в конкретной позиции эквивалентно значению функции –  $\mu$ . Перемещение от одной маркировки к другой реализуется с помощью переключения перехода  $p \rightarrow 0, 1, 2, \dots$ .

Таким образом, переход  $t$  в состоянии переключиться при отметке  $\mu$ , когда он представляется возбужденным:

$$\mu(p) - F(p, t) \geq 0, p \in Poz_p. \quad (2.2)$$

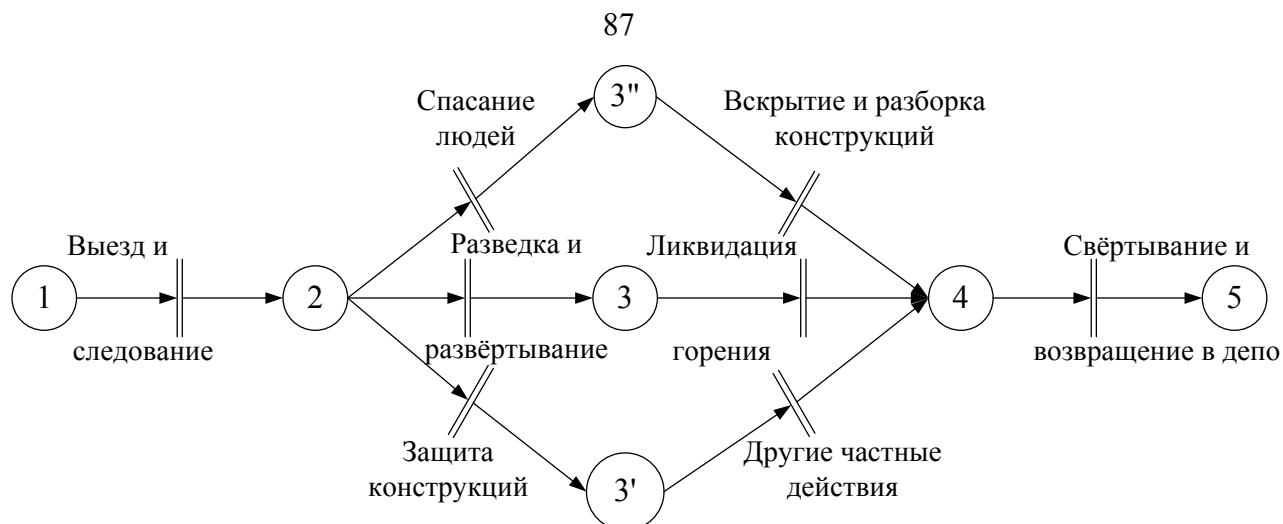


Рисунок 2.1 – Графическая интерпретация модели управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров (в виде сети Петри)

Процесс возбуждения означает нахождение в любой начальной позиции перехода  $t$  некоторого количества маркеров (меток), не менее чем вес ребра, связующей анализируемую позицию с переходом. Для отображения процесса срабатывания перехода  $D_t$  начальная маркировка позиции  $\mu$  сменяется на  $\mu'$  по условию:

$$\mu'(p) = \mu(p) - F(p, t) + H(t, p), p \in Poz_p. \quad (2.3)$$

Таким образом, вследствие переключения перехода из всех начальных позиций перехода отчуждаются маркеры ( $F(p, t)$ ), при этом все выпускные позиции дополняются маркерами ( $H(p, t)$ ). Другими словами, в сети Петри фиксируются результаты принятого управленческого решения – передвижения пожарно-спасательных подразделений, которые требуется использовать на этапах пожаротушения ( $i$ ), любое подобное передвижение получает цвет –  $w_1, w_2, \dots, w_i$ .

Граф, отображающий сеть Петри, может содержать в своей структуре более одного контура. Количество контуров эквивалентно числу осуществляемых оперативно-тактических действий на пожаре, а путь маркера в контуре эквивалентен применению пожарного оборудования и аварийно-спасательного инструмента одним из расчётов и/или членов пожарно-спасательного расчёта. Количество маркеров ( $\mu_0$ ) эквивалентно количеству

единиц пожарного оборудования, например, напорных или напорно-всасывающих рукавов.

Граф достижимости является важным элементом сети Петри. Он создаётся в соответствии с матрицами  $F$  и  $D_t$ . Поэтому он воспроизводит допустимые разновидности работы сетей Петри, например, предоставляет возможность установить потенциальные простои и перебои в ходе реализации операций в процессе развёртывания, то есть оценить эффективность решения задач управления и принятия решений на месте пожара, а также прилегающей к нему территории.

С целью регистрации динамичности и активности модели, всем позициям сети присваивается соответствующее значение времени останова маркера в определённой позиции  $t(Poz_p)$ , эквивалентное времени реализации операций оперативно-тактических действий. В описываемом варианте это промежуток времени, необходимый для следования пожарно-спасательного подразделения к месту пожара, выполнения необходимых работ на пожаре и возвращения в пожарное депо. Пожарный автомобиль и маркер имеют возможность оставить свою позицию  $Poz_p$  во время промежутка времени между фактом поступления  $t_p$  и фактом  $t_p + t(Poz_p)$ . Фактор времени исследуется при анализе сети Петри необходимым дополнительным условием срабатывания перехода для любого  $t \in P_t$ :

$$t - t(Poz_p) \geq [t(p) \cdot F(p, t)] / n_p, \quad (2.4)$$

где  $t$  – время, минувшее с начала работы модели пожаротушения мобильными средствами пожаротушения;  $n_p$  – максимально допустимая длина очереди оперативно-тактических действий.

Условие (2.4) означает, что маркер находится в позиции не меньше времени  $t(Poz_p)$  и лишь после этого может покинуть ее. Если в позиции  $Poz_p$  допускается очередь, условия (2.2) и (2.4) проверяются для первого элемента в очереди.



## 2.2. Метод формализации и постановки задач управления пожаротушением

Систему управления пожаротушением структурируем в виде модифицированной сети Петри (2.1), которая состоит из множества сетей, при этом каждая сеть моделирует отдельные этапы тушения пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры, прилегающей к ним территории и формализует соответствующую структуру управления (рис. 2.2) [348, 349]:

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

где  $P^v$  – сеть, моделирующая возникновение и процесс распространения ОФП между позициями на тушение пожара;  $P^{p1}$  – сеть, моделирующая исходное размещение сил и средств пожаротушения и процесс их перемещения на позиции для организации тушения пожара;  $P^{p2}$  – сеть, моделирующая исходное размещение и процесс перемещения между позициями на тушение пожара сил и средств ПП для ликвидации ОФП;  $P^t$  – сеть, моделирующая процесс перемещения сил и средств пожаротушения между позициями при тушение пожара;  $P^z$  – сеть, моделирующая влияния ОФП на объекты, силы и средства пожаротушения;  $P^l$  – сеть, моделирующая процесс локализации и ликвидации ОФП сосредоточенными силами и средствами на пожаре;  $P^y$  – сеть, моделирующая управление силами и средствами при локализации, ликвидации ОФП;  $P^r$  – сеть, моделирующая создание и использование резерва сил и средств пожаротушения;  $P^s$  – сеть, моделирующая исходное размещение сил и средств пожаротушения и процесс их перемещения к месту вызова и возвращения в места дислокации;  $P^i$  – сеть, моделирующая информационный обмен на месте пожара.

Для дальнейшего описания процесса формализации введём и опишем ряд терминов:

множество моделируемых позиций на тушение пожара ( $Poz_i$ ) в данном исследовании составляют: места, на которых возможно возникновение ОФП;

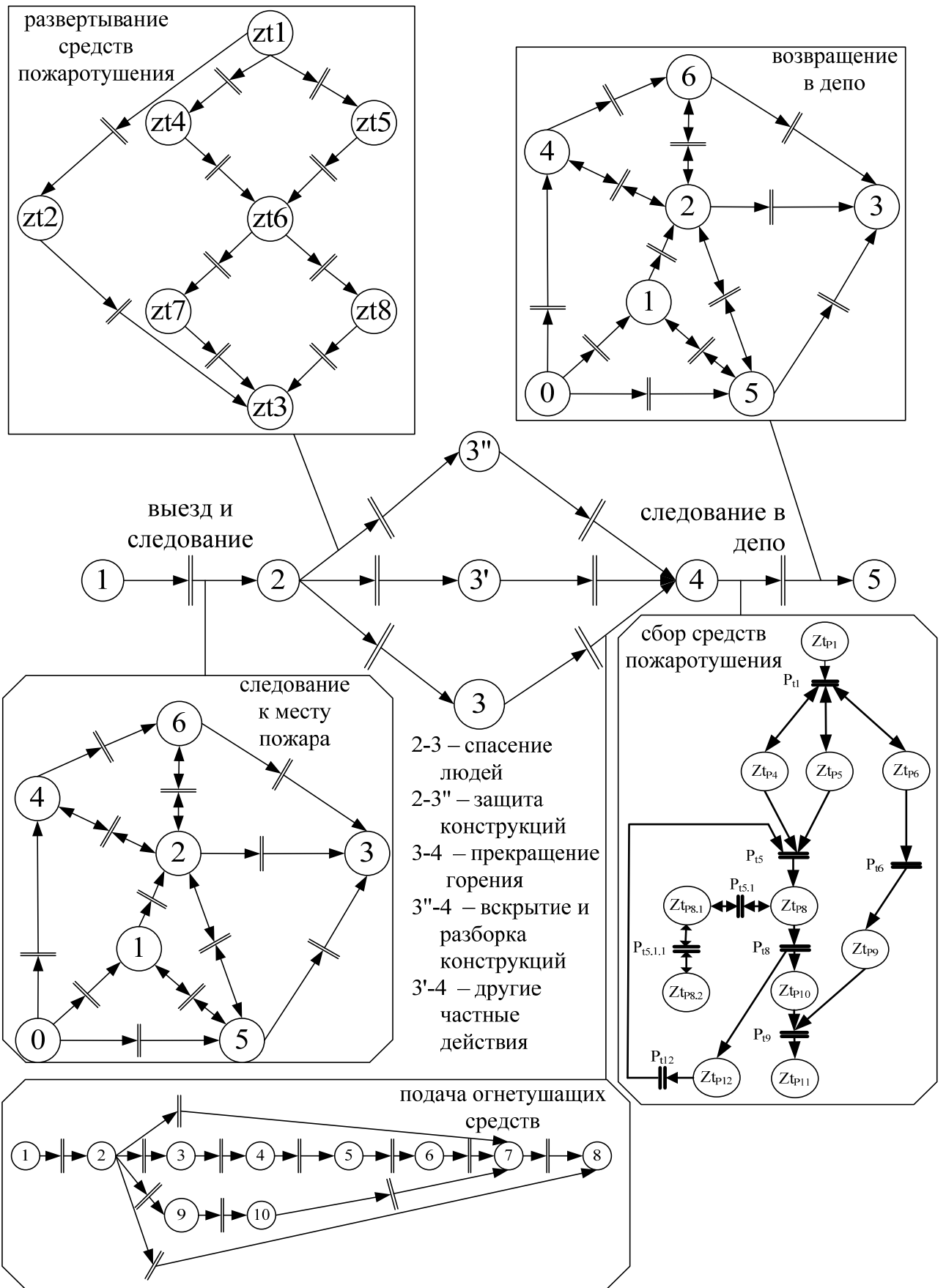


Рисунок 2.2 – Графическая интерпретация моделирования отдельных этапов управления при тушении пожаров в виде сети Петри

места размещения сил и средств пожаротушения. Каждая позиция  $Poz$ , описывается набором характеристик (его диспозиция, оперативная управленческая задача, количество задействованных на ней ресурсов и их место в структуре управления, и др.);

позиции и переходы модели управления пожаротушением ( $Pp_y^{x(z)}$  и  $Pt_y^{x(z)}$ ).

Граничные условия для моделируемых объектов, позиций на тушение, ОФП и т. п. задаются переменными  $X$  и  $Y$ , принадлежность вершины к описываемой сети –  $Z$ ;

моделируемые позиции ( $Poz_j, i = \overline{1, n_{poz}}$ ) на тушение пожара и ведение связанных с ним аварийно-спасательных работ;

связи (информационные, материальные, энергетические) между позициями ( $Tr_{ij}, i, j = \overline{1, n_{poz}}$ ) на тушение пожара и ведение связанных с ним аварийно-спасательных работ;

опасные факторы пожара ( $\Phi_k, k = \overline{1, n_f}$ );

защищаемые ресурсы ( $Zr_m, m = \overline{1, n_{Zr}}$ ) на месте пожара, а также прилегающей к нему территории;

силы и средства, используемые на месте пожара, а также прилегающей к нему территории ( $Sis_m, m = \overline{1, n_{Sia}}$ );

емкость моделируемого параметра (ресурса, ОФП и т. д.) (число маркеров в позиции) ( $k \in K^+, k = 0$  либо  $k > 0$ ).

Представленное формальное понимание функциональных элементов позволяет описать алгоритм создания сети  $P^v$ , моделирующей возникновение и процесс распространения ОФП между позициями на тушение пожара.

Эта сеть позволяет исследовать причинно-следственные связи показателей (индикаторов) опасности и их интенсивность на позициях по тушению пожара и между ними.

Показатели, влияющие на ведение оперативно-тактических действий ( $\Phi$ ), можно подразделить на первичные, возникновение которых на данной позиции

по тушению может произойти самопроизвольно, и вторичные, которые могут произойти на данной позиции только под влиянием других поражающих факторов на этой или другой территории [348–350].

Для формирования графа структуры сети ( $P^v$ ) воспользуемся подходом структурных матриц [351].

Сформируем матрицу ( $M_v$ ) размерности  $n_{poz} \times n_f$ , в строках матрицы расположены моделируемые позиции по тушению пожара ( $Poz_j$ ), а в столбцах – опасные факторы пожара ( $\Phi_k$ ):

$$M_v = \begin{pmatrix} & \Phi_1 & \dots & \Phi_{k_1} & \dots & \Phi_{k_2} & \dots & \Phi_{n_f} \\ Poz_1 & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & \\ Poz_{i_1} & & & |m_{i_1 k_1}| & & & & \\ \vdots & & & \dots & \dots & & & \\ Poz_{i_2} & & & & & & |m_{i_2 k_2}| & \\ \vdots & & & & & & & \\ Poz_{n_{poz}} & & & & & & & \end{pmatrix},$$

где  $n_{poz}$  – количество моделируемых позиций на тушение пожара;  $n_f$  – число возможных ОФП на данных позициях.

Наличие элемента матрицы на пересечении позиций по тушению пожара ( $Poz_j$ ) с опасными факторами пожара ( $\Phi_k$ ) свидетельствует о наличии одного из ОФП на определенной позиции по тушению пожара ( $m_{ik}$ ). Первичный поражающий фактор будем обозначать символом  $P_{fl}$ , а вторичный – символом  $S_{fl}$ .

Если событие  $m_{i_1 k_1}$  может вызвать возникновение события  $m_{i_2 k_2}$  (возникновение ОФП  $\Phi_{k_1}$  на позиции по тушению пожара  $Poz_{j_1}$  влечет за собой возникновение ОФП  $\Phi_{k_2}$  на позиции по тушению пожара  $Poz_{j_2}$ ), то эти пересечения соединяются направленным ребром, на которой обозначаются временные характеристики.

Если  $i_1 = i_2$ , то исследуется влияние между ОФП на одной позиции по тушению пожара; если  $i_1 = i_2$  и  $k_1 = k_2$ , то моделируется изменение интенсивности ОФП на одной позиции по тушению пожара.

Разработан алгоритм А1 формирования структурной матрицы, задающий структуру подсети ( $P^v$ ):

А1.1. Рассматриваются поочередно пересечения столбцов и строк матрицы. Если возможно наличие одного из первичного ОФП на ОФП позиции по тушению пожара, то на пересечении ( $m_{ik}$ ) записывается символ  $-P_{fl}$ .

А1.2. Для каждой клетки матрицы  $m_{ik}$ , в которой проставлен символ  $P_{fl}$ , выполняется подалгоритм:

А1.2.1. Это пересечение регистрируется (заносятся в память), и поочередно перебираются для анализа остальные пересечения матрицы  $m_{i2k2}$ .

А1.2.2. Если в пересечении ( $m_{i2k2}$ ) присутствует признак наличия вторичного ОФП под воздействием некоторого события  $m_{i1k1}$ , то на соответствующее пересечение записывается символ  $S_{fl}$  и эти промаркированные пересечения связываются направленным отрезком  $a_{i_2k_2}^{i_1k_1}$ .

А1.2.3. Этому отрезку присваивается массив характеристик:  $I_{\min_{i_2k_2}}^{i_1k_1}$  – наименьшая интенсивность ОФП ( $\Phi_{k1}$ ) на позиции по тушению пожара ( $Poz_{i1}$ ), способная вызвать возникновение ОФП ( $\Phi_{k2}$ ) на позиции по тушению пожара  $Poz_{i2}$ ;  $t_{\min_{i_2k_2}}^{i_1k_1}$ ,  $t_{\max_{i_2k_2}}^{i_1k_1}$  – минимальное и максимальное время, за которое ОФП ( $\Phi_{k1}$ ) на позиции по тушению пожара ( $Poz_{i1}$ ) вызовет возникновение поражающего фактора ( $\Phi_{k2}$ ) на позиции по тушению пожара ( $Poz_{i2}$ );  $I_{i_2k_2}^{i_1k_1}$  – интенсивность ОФП ( $\Phi_{k2}$ ), возникающего на позиции по тушению пожара ( $Poz_{i2}$ ), под воздействием ОФП ( $\Phi_{k1}$ ) интенсивности  $I_{\min_{i_2k_2}}^{i_1k_1}$  на позиции по тушению пожара за время  $t_{\min_{i_2k_2}}^{i_1k_1}$ .

А1.3. Реализация пп. А1.2.1–А1.2.3 осуществляется также и для пересечений столбцов и строк матрицы, обозначенных символом ( $Poz$ ), до тех пор, пока не закончатся строки и столбцы.

Представим структурную матрицу  $M_v$  в виде сети  $P^v$ . Для каждого проведенного отрезка  $a_{i_2k_2}^{i_1k_1}$ , соединяющего пересечения столбцов и строк  $m_{i1k1}$  и  $m_{i2k2}$ , введём соответствие с следующим элементарным фрагментом (рис. 2.3).

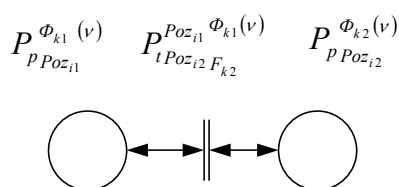


Рисунок 2.3 – Элементарный фрагмент подсети Петри, моделирующей возникновение и процесс распространения ОФП между позициями на тушение пожара ( $P^v$ )

Сопоставим характеристики всех направленных отрезков (ребер) временными показателями, содержащимися в структурной матрице ( $M_v$ ):

$$I\left(P_{Poz_{i1}}^{\Phi_{k1}(v)}, P_{tPoz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(v)}\right) = I\left(P_{tPoz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(v)}, P_{Poz_{i1}}^{\Phi_{k1}(v)}\right) = I_{i_1k_1}^{(\min)}, \quad I\left(P_{tPoz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(v)}, P_{Poz_{i1}}^{\Phi_{k1}(v)}\right) = I_{i_2k_2}^{i_1k_1}$$

и показателями, в частности, временных задержек для переходов  $P_{tPoz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(v)}$ :

$$t_{\min}\left(P_{tPoz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(v)}\right) = t_{Poz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(\min)}, \quad t_{\max}\left(P_{tPoz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(v)}\right) = t_{Poz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(\max)}.$$

Введём обозначение максимально допустимой величины  $\bar{I}\left(P_{Poz_{i1}}^{\Phi_{k1}(v)}, P_{tPoz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(v)}\right)$  для направленного отрезка, группирующего позицию  $P_{Poz_{i1}}^{\Phi_{k1}(v)}$  с переходом  $P_{tPoz_{i2}\Phi_{k2}}^{Poz_{i1}\Phi_{k1}(v)}$ , в зависимости от величины параметра начального и вторичного ОФП.

В том случае, если возникнет необходимость исследования большего количества ОФП, воздействующих на позиции по тушению пожара, в структурной матрице необходимо будет добавить необходимое количество строк. Рисунок 2.4 интерпретирует это условие для всех возможных комбинаций ПФ для сети, состоящей из двух элементов.

В соответствии с алгоритмом, изложенным выше, соединим ячейки сформированной матрицы направленными отрезками. Это позволит при необходимости дополнять сеть  $P^v$  элементарными фрагментами графа (рис. 2.4).

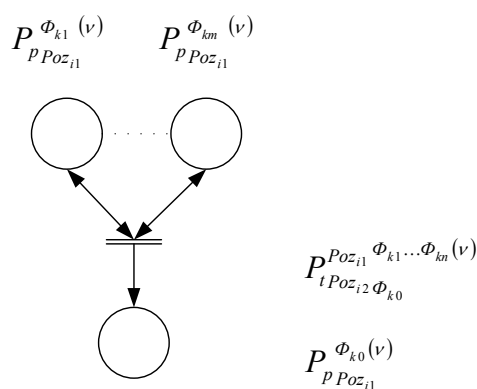


Рисунок 2.4 – Элементарный фрагмент подсети Петри, отображающий появление ОФП ( $\Phi_{k0}$ ) на позиции по тушению пожара ( $Poz_{i1}$ ), который вызывается одновременным наличием на позиции ОФП ( $\Phi_{k1}, \Phi_{k2}, \dots, \Phi_{kn}$ )

$$M_{v^2} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccccc} \Phi_1 \dots \Phi_{n_f} & \Phi_1 \Phi_2 \dots \Phi_1 \Phi_{n_f} & \Phi_2 \Phi_3 \dots \Phi_2 & \Phi_{n_f} \dots \Phi_{n_f-1} & \Phi_{n_f} & \\ Poz_1 & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ Poz_{i_1} & & |m_{i_1 k_1}| & & & \\ \vdots & & & \dots & & \\ Poz_{i_2} & & & & & |m_{i_2 k_2}| \\ \vdots & & & & & \\ Poz_{n_f} & & & & & \end{array} \right| \end{array}$$

Показатели кратности направленных отрезков и временных задержек для переходов сопоставляются параметрам массива рёбер структурной матрицы. В начальном состоянии системы (пожарно-спасательные подразделения прибыли на место пожара, но управленческая задача на тушение ещё не поставлена) позиции исследуемой сети не имеют маркеров. Поступление команды на тушение, выявление ОФП и изменение обстановки на месте пожара, а также прилегающей к нему территории отображается помещением (перестановкой) маркеров в необходимые позиции, соответствующие позициям на тушение пожара, ОФП и пр. Процессы распространения ОФП между позициями по тушению пожара и возникновения новых ОФП исследуются в соответствии со структурой сформированной системы временных показателей, сопоставленных с ее переходами.

Созданная подсистема позволяет исследовать: проявление ОФП на позициях по тушению пожара, принадлежащих к моделируемой обстановке на месте пожара, а также прилегающей к нему территории; изменение интенсивности ОФП в рамках одной позиции на тушение пожара; взаимосвязи между появлением ОФП в рамках одной позиции на тушение пожара; взаимосвязи между появлением ОФП в рамках нескольких позиций по тушению пожара.

Опишем последовательность построения следующих сетей  $P^{p1}$ ,  $P^{p2}$ ,  $P^t$ , моделирующих исходное размещение сил и средств пожаротушения и процесс его перемещения между позициями по тушению пожара [348–350, 352].

Для построения сети, описывающей оперативно-тактические действия на месте пожара, а также прилегающей к нему территории и связывающей моделируемые позиции по тушению пожара, также воспользуемся аппаратом структурных матриц.

Построим матрицу  $M_t$  размерности, ( $M_v$ ) размерности  $n_{\text{poz}} \times (n_z + n_{\text{sis}} + n_z + n_{\text{fsis}})$ , в которой  $n_z$  – числовое значение количества видов ресурсов, а  $n_{\text{sis}}$  – числовое значение количества видов ресурсов, сосредоточенных для ликвидации пожара. Строки этой матрицы последовательно отображают моделируемые позиции по тушению пожара, а в столбцы поместим: ресурсы ( $Zr_k$ ); силы и средства ( $Sis_m$ ); все возможные соответствия “ресурс – СиС” ( $Zr_k$ ,  $Sis_m$ ).

В том случае, если существует необходимость исследования процесса перемещения 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), для этого возможно 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 опишем следующим алгоритмом А2:

А2.1. Анализируются последовательно ячейки матрицы. В том случае, если в ней определяется наличие ресурса пожаротушения, вида СиС и (или) их сочетаний на позиции по тушению пожара ( $Poz_i$ ), ячейка матрицы маркируется.

А2.2. Для каждой ячейки матрицы  $m_{ik}$ , в которой проставлен символ  $Poz_i$ , выполняется подалгоритм:

А2.2.1. Это пересечение регистрируется (заноится в память), и поочередно в этом же столбце перебираются для анализа остальные пересечения матрицы  $m_{jk}$ .

А2.2.2. Если в пересечении ( $m_{jk}$ ) присутствует признак наличия перемещения ресурсов или СиС с позиции на тушение пожара ( $Poz_i$ ) на позицию ( $Poz_j$ ), то соответствующее пересечение регистрируется (заноится в память) и эти пересечения связываются направленным отрезком  $a_{ij}^k$ .

А2.2.3. Этому отрезку присваивается массив характеристик:  $t_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_k(\min)}$  и  $t_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_k(\max)}$  – минимально допустимое и максимально возможное нормативное (расчётное) время, за которое возможно перемещение ресурса ( $Zr_k$ ) с позиции на тушение пожара ( $Poz_i$ ) на другую позицию ( $Poz_j$ );  $t_{Poz_i, Poz_j}^{Sis_m(\min)}$  и  $t_{Poz_i, Poz_j}^{Sis_m(\max)}$  – минимально допустимое и максимально возможное нормативное (расчётное) время, за которое возможно перемещение СиС вида  $Sis_m$  с позиции на тушение пожара ( $Poz_i$ ) на позицию ( $Poz_j$ );  $t_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_k, Sis_m(\min)}$  и  $t_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_k, Sis_m(\max)}$  – минимально возможное и

максимально допустимое нормативное (расчётное) время, за которое возможно перемещение ресурса ( $Zr_k$ ) с позиции на тушение пожара ( $Poz_i$ ) на позицию ( $Poz_j$ ), используя для перемещения СиС вида  $Sis_m$ ;  $I_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_k(\max)}$  и  $I_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_m(\max)}$  – максимально возможная интенсивность перемещения (численность единиц ресурсов или СиС, которое может быть переброшено на необходимую позицию за обозначенное время). В том случае, если необходимо исследовать все возможные соответствия «ресурс – СиС», также необходимо отобразить значение  $I_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_k, Sis_m}$  – какое число единиц ресурсов ( $Zr_k$ ) может быть переброшено с использованием одной единицы СиС ( $Sis_m$ ).

А2.3. Реализация пп. А2.2.1–А2.2.3 осуществляется до тех пор, пока не закончатся строки и столбцы.

Вышеизложенное позволяет формализовать сети  $P^{p1}$ ,  $P^{p2}$  и  $P^t$ , взяв за основу структурную матрицу  $M_t$  с её группами столбцов.

Каждую группу столбцов, позволяющую исследовать перераспределение ресурсов, можно представить в виде следующего элементарного фрагмента (рис. 2.5):

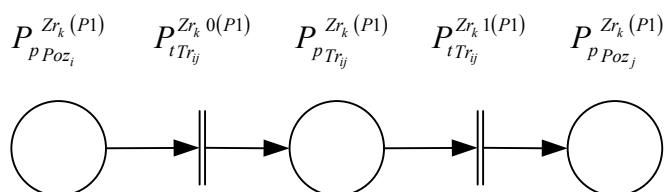


Рисунок 2.5 – Элементарный фрагмент подсети Петри, отображающий процесс перемещения ( $Tr_{ij}$ ) ресурсов ( $Zr_k$ ) между позициями на тушение пожара ( $Poz_i$ ,  $Poz_j$ )

В этом фрагменте подсети кратности ребер и задержки перехода имеют вид:

$$I\left(P_{Poz_i}^{Zr_k(P1)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 0(P1)}\right) = I\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 0(P1)}, P_{PTr_{ij}}^{Zr_k(P1)}\right) = I\left(P_{PTr_{ij}}^{Zr_k(P1)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 1(P1)}\right) = I\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 1(P1)}, P_{Poz_j}^{Zr_k(P1)}\right) = 1;$$

$$\bar{I}\left(P_{Poz_i}^{Zr_k(P1)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 0(P1)}\right) = \bar{I}\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 0(P1)}, P_{PTr_{ij}}^{Zr_k(P1)}\right) = I_{Tr_i Tr_j}^{Zr_k 1(P1)}; t_{\min}\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 0(P1)}\right) = 0; t_{\max}\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 1(P1)}\right) = +\infty;$$

$$t_{\min} \left( P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 1(P1)} \right) = t_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_k(\min)} ; t_{\max} \left( P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 1(P1)} \right) = t_{Poz_i, Poz_j}^{Zr_k(\max)} .$$

Каждую группу столбцов (отражающих перераспределение СиС) можно представить в виде следующего элементарного фрагмента подсети  $P^{P2}$  (рис. 2.6).

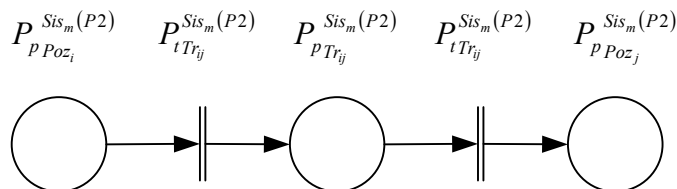


Рисунок 2.6 – Элементарный фрагмент подсети Петри, отображающий процесс перемещения между позициями на тушение пожара ( $Poz_i, Poz_j$ ) сил и средств пожарно-спасательных подразделений ( $Sis_m$ ) для ликвидации ОФП

В этом фрагменте подсети кратности ребер и задержки перехода имеют вид:

$$\begin{aligned} I \left( P_{Poz_i}^{Sis_m(P2)}, P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 0(P2)} \right) &= I \left( P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 0(P2)}, P_{Poz_j}^{Sis_m(P2)} \right) = \\ &= I \left( P_{Poz_j}^{Sis_m(P2)}, P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 1(P2)} \right) = I \left( P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 1(P2)}, P_{Poz_i}^{Sis_m(P2)} \right) = 1 ; \\ \bar{I} \left( P_{Poz_i}^{Sis_m(P2)}, P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 0(P2)} \right) &= \bar{I} \left( P_{tTr_{ij}}^{Sis_m(P2)}, P_{Poz_j}^{Sis_m 1(P2)} \right) = I_{Tr_i Tr_j}^{Sis_m(\max)} ; \\ t_{\min} \left( P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 0(P2)} \right) &= t_{\max} \left( P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 1(P2)} \right) = 0 ; t_{\min} \left( P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 1(P1)} \right) = t_{Poz_i, Poz_j}^{Sis_m(\min)} ; t_{\max} \left( P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 1(P1)} \right) = t_{Poz_i, Poz_j}^{Sis_m(\max)} . \end{aligned}$$

Различия в задании задержек для перехода ( $P_{tTr_{ij}}^{Zr_k 1(P1)}$ ) в подсети ( $P^{P1}$ ) и перехода ( $P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 1(P2)}$ ) в подсети ( $P^{P2}$ ) обусловлены тем, что переход имеет свойство управляемости, т. е. управляемый.

Каждую группу столбцов, отражающих перемещения ресурсов между позициями на тушение пожара, используя при этом имеющиеся СиС, можно представить в виде следующего элементарного фрагмента подсети  $P^t$  (рис. 2.7).

Сопоставим характеристики всех направленных отрезков (ребер) с временными показателями, содержащимися в структурной матрице, и показателями, в частности, временных задержек для переходов:

$$\begin{aligned}
 I\left(P_{p\text{Poz}_i}^{Zr_k(P1)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 0(t)}\right) &= I\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k, \text{Sis}_m 0(t)}, P_{pTr_{ij}}^{Zr_k(P1)}\right) = & ; & I\left(P_{p\text{Poz}_i}^{\text{Sis}_m(P2)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 0(t)}\right) = I\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k, \text{Sis}_m 0(t)}, P_{pTr_{ij}}^{\text{Sis}_m(P2)}\right) = & ; \\
 = I\left(P_{pTr_{ij}}^{Zr_k(P1)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 1(t)}\right) &= I\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 1(t)}, P_{pTr_{ij}}^{Zr_k(P1)}\right) = I_{\text{Poz}_i\text{Poz}_j}^{Zr_k\text{Sis}_m} & = I\left(P_{pTr_{ij}}^{\text{Sis}_m(P2)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 1(t)}\right) = I\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 1(t)}, P_{pTr_{ij}}^{\text{Sis}_m(P2)}\right) = 1 \\
 \bar{I}\left(P_{p\text{Poz}_i}^{Zr_k(P1)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 0(t)}\right) &= \bar{I}\left(P_{pTr_{ij}}^{Zr_k(P1)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 1(t)}\right) = I_{Tr_iTr_j}^{Zr_k(\max)} ; \\
 \bar{I}\left(P_{p\text{Poz}_i}^{\text{Sis}_m(P2)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 0(t)}\right) &= \bar{I}\left(P_{pTr_{ij}}^{\text{Sis}_m(P2)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_k\text{Sis}_m 1(t)}\right) = I_{Tr_iTr_j}^{\text{Sis}_m(\max)} ; t_{\min}\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_m\text{Sis}_m 0(t)}\right) = t_{\max}\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_m\text{Sis}_m 0(t)}\right) = 0 ; \\
 t_{\min}\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_m\text{Sis}_m 1(t)}\right) &= t_{\text{Poz}_i\text{Poz}_j}^{Zr_m\text{Sis}_m(\min)} ; t_{\max}\left(P_{tTr_{ij}}^{Zr_m\text{Sis}_m 1(t)}\right) = t_{\text{Poz}_i\text{Poz}_j}^{Zr_m\text{Sis}_m(\max)} .
 \end{aligned}$$

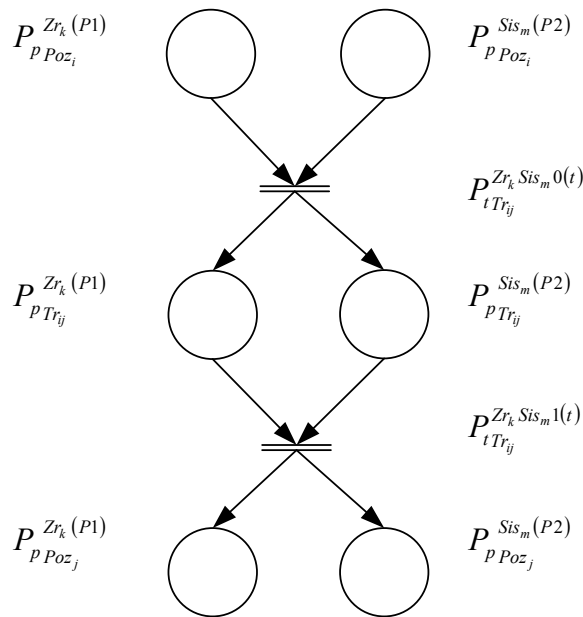


Рисунок 2.7 – Элементарный фрагмент подсети Петри, отображающий процесс перемещения между позициями на тушение пожара ( $Poz_i, Poz_j$ ) ресурсов ( $Zr_k$ ), с использованием имеющихся сил и средств пожарно-спасательных подразделений ( $Sis_m$ )

Начальная дислокация сил и средств пожаротушения по позициям тушения пожара в подсети инициализируется исходной маркировкой, а процесс перераспределения СиС на позиции пожаротушения исследуем, используя структуру сформированной сети, оперируя временными показателями, сопоставляя их с ее переходами и кратностями направленных отрезков.

Одним из элементов подсети, моделирующих исходное размещение и процесс перемещения СиС на (между) позиции(-ями) по тушению пожара, является развёртывание пожарного оборудования, поэтому на этом примере детально рассмотрим процесс моделирования (рис. 2.8) (приложение В).

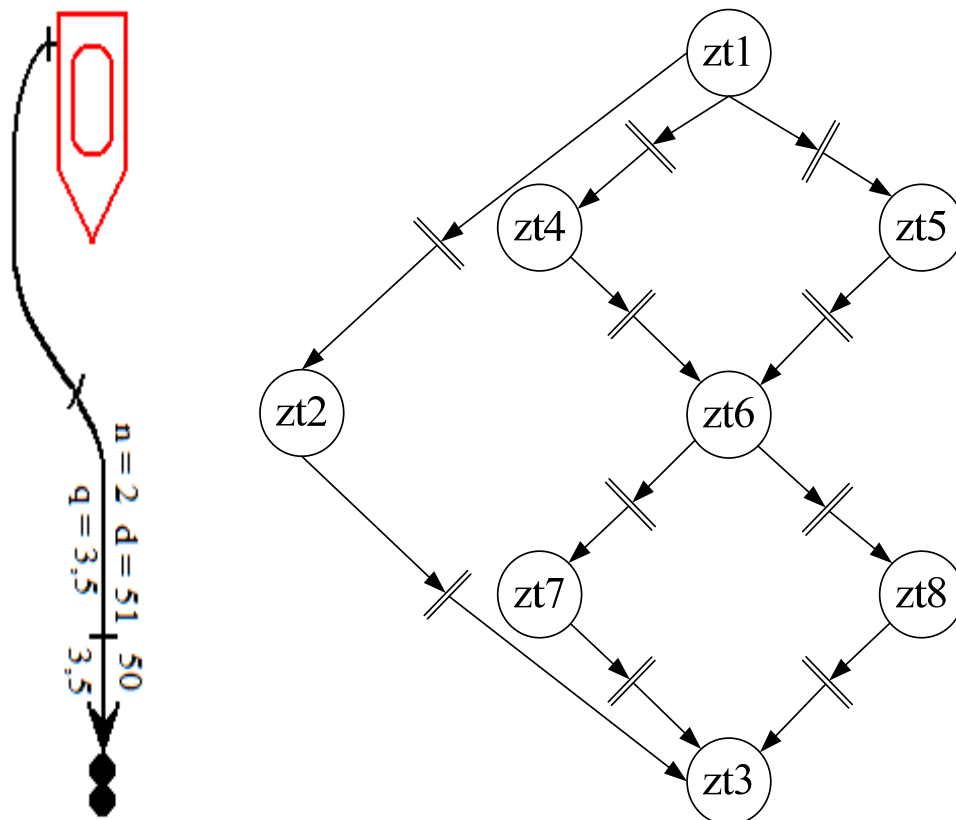


Рисунок 2.8 – Графическая интерпретация модели управления этапа работы пожарного на пожаре

Сгенерированная подсеть позволяет исследовать разнообразные показатели расположения и перемещения СиС между позициями при тушении пожара.

Опишем последовательность построения подсети  $P^z$ , моделирующей процесс воздействия ОФП на исследуемые ресурсы.

В первую очередь, анализируя структурную матрицу  $M_v$ , генерируем список позиций (позиции на тушение пожара, пожарная и приспособленная техника, участвующая в тушении пожара, здания и сооружения и т. п.), воздействие ОФП на которые может влиять на процесс пожаротушения.

После этого для всех элементов данного сгенерированного списка необходимо сформировать таблицу влияния ОФП на основании перебора значений матрицы  $M_v$ .

На примере позиций по тушению пожара ( $Poz_i$ ) опишем структуру этой таблицы. Из перечня ОФП формируем столбцы таблицы и строки, содержащие перечень ресурсов (из матрицы  $M_t$ ), находящихся на месте пожара, а также на прилегающей к нему территории, или которые могут находиться на нём.

На пересечении столбцов и строк вписываются значения показателей, относящихся к влиянию ОФП ( $F_k$ ) на ресурс ( $Zr_m$ ), находящийся на позиции по тушению пожара ( $Poz_i$ ):  $I_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k (\min)}$  – минимально возможная интенсивность ОФП, оказывающая отрицательное воздействие на исследуемый ресурс;  $I_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k}$  – численность рассматриваемых ресурсов, воздействие на которые может привести к повреждению ресурса при заданной интенсивности  $I_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k (\min)}$  ОФП;  $I_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k (net)}$  – интенсивность ОФП, влияние которой может быть нейтрализовано за определённое время имеющимися ресурсами (пассивными или активными способами);  $t_{\min Poz_i}^{Zr_m \Phi_k}$  и  $t_{\max Poz_i}^{Zr_m \Phi_k}$  – временные показатели этого влияния;  $I_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k (\max)}$  – максимально допустимая интенсивность ОФП, воздействие которой может привести к повреждению исследуемого ресурса.

Вышеописанные таблицы влияния позволяют интерпретировать сеть  $P^Z$ . Для каждой позиции по тушению пожара ( $Poz_i$ ) и каждой ячейки, описывающей воздействие ОФП ( $\Phi_k$ ) на ресурс ( $Zr_m$ ), построим следующий фрагмент подсети (рис. 2.9).

В этом фрагменте подсети кратности ребер и задержки перехода имеют вид:

$$I\left(P_{Poz_i}^{\Phi_k (v)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_m \Phi_k (z)}\right) = I_{Tr_{ij}}^{Zr_m \Phi_k (\min)}; \quad I\left(P_{Poz_i}^{Zr_k (p1)}, P_{tTr_{ij}}^{Zr_m \Phi_k (z)}\right) = I_{Tr_{ij}}^{Zr_k \Phi_k (\min)};$$

$$\bar{I}\left(P_{Poz_i}^{\Phi_k (v)}, P_{tPoz_i}^{Zr_m \Phi_k (z)}\right) = I_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k (\max)}; \quad \bar{I}\left(P_{Poz_i}^{Zr_k (p1)}, P_{tPoz_i}^{Zr_m \Phi_k (z)}\right) = +\infty;$$

$$I\left(P_{tPoz_i}^{Zr_m \Phi_k (z)}, P_{tPoz_i}^{\Phi_k (v)}\right) = I_{tPoz_i}^{Zr_m \Phi_k (\min)} - I_{tPoz_i}^{Zr_m \Phi_k (net)}; \quad t_{\min}\left(P_{tPoz_i}^{Zr_m \Phi_k (z)}\right) = t_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k (\min)}; \quad t_{\max}\left(P_{tPoz_i}^{Zr_m \Phi_k (z)}\right) = t_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k (\max)}.$$

Если  $I_{tPoz_i}^{Zr_m\Phi_k(\min)} - I_{tPoz_i}^{Zr_m\Phi_k(\max)}$ , то  $I(P_{tPoz_i}^{Zr_m\Phi_k(z)}, P_{tPoz_i}^{\Phi_k(v)}) = 0$ , т. е. после отрицательного влияния ОФП на исследуемый ресурс воздействие нейтрализовано (пассивными и/или активными способами). На элементарном фрагменте подсети это отображается невозвращением маркеров из позиции  $P_{pPoz_i}^{\Phi_k(v)}$ , после срабатывания перехода  $P_{tTr_{ij}}^{Zr_m\Phi_k(z)}$ .

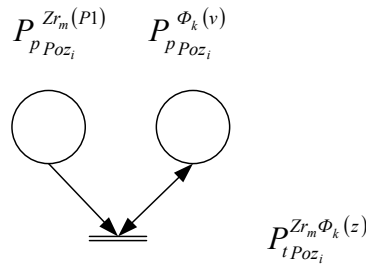


Рисунок 2.9 – Элементарный фрагмент подсети Петри, отображающий процесс воздействия ОФП ( $\Phi_k$ ) на защищаемые ресурсы ( $Zr_k$ )

Если в результате ведения оперативно-тактических действий на позиции с СиС по тушению пожара будут воздействовать ОФП (более  $I_{Poz_i}^{Zr_m\Phi_k(\min)}$ ), которые могут привести к повреждению СиС, то в этом случае на элементарном фрагменте подсети это отображается изъятием маркеров повреждённых СиС из перехода  $P_{tPoz_i}^{Zr_m\Phi_k(z)}$  при неизменном количестве маркеров ОФП в позиции  $P_{pPoz_i}^{\Phi_k(v)}$ . Скорость, с которой будет проходить корректировка количества маркеров СиС, находящихся на позиции  $P_{pPoz_i}^{Zr_k(p1)}$ , соразмерна ( $k$ ) количеству маркеров ОФП ( $P_{pPoz_i}^{\Phi_k(v)}$ ), воздействующих на исследуемые силы и средства, и может быть

выражена как  $k = \frac{I_{Poz_i}^{Zr_m\Phi_k}}{I_{Poz_i}^{Zr_m\Phi_k(\min)}}$ . Эта скорость (скорость извлечения маркеров из

позиции) будет возрастать до тех пор, пока количество маркеров ОФП, находящихся в позиции ( $P_{pPoz_i}^{\Phi_k(v)}$ ), не достигнет показателя –  $I_{Poz_i}^{Zr_m\Phi_k(\max)}$ .

Повреждения, причинённые силам и средствам, находящимся на позициях по тушению пожара ОФП, структурно входят в материальный и финансовый

ущерб, вызванный пожаром. Эти потери можно разъединить на два типа: первый – прямой и второй – косвенный. Прямые потери предопределены влиянием на повреждения, вызывающие разрушения и (или) выход из строя СИС пожаротушения, а также объектов социально-экономического назначения, травмирование людей, причинение ущерба геосфере. Из-за прекращения производственно-хозяйственной деятельности, недополучения прибыли и доходов, издержек, а также затрат на ликвидацию последствий пожара и его проявлений предопределяются косвенные потери. С помощью созданной модели в настоящее время исследуются прямые потери от пожара, при модификации и введении новых переменных можно будет также исследовать и косвенный ущерб.

Сущность метода формализации и постановки задач управления пожарно-спасательными подразделениям на месте пожара, а также на прилегающей к нему территории заключается в разбиении на взаимодействующие базовые элементы комплекса оперативно-тактических действий на пожаре, с целью представления процесса их функционирования в виде сети Петри и допускающем алгебраическое, матричное и графовое их исследование.

Методика применения метода заключается в разложении процесса управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара на дискретные элементарные взаимодействующие между собой части (подпроцессы) – системные события (постановка задач управления), за каждой из которых закреплен определенный вид оперативно-тактических действий и (или) операции оперативно-тактических действий и условия ведения оперативно-тактических действий при пожаротушении на конкретном объекте или территории. События и условия представляются в виде: строк математических символов и динамической составляющей оперативно-тактических действий, 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.

### 2.3. Модели и алгоритмы постановки задач управления пожаротушением

Последовательно рассмотрим локальные модели, входящие в модель управления СиС на пожаре.

Сначала рассмотрим модель  $P^l$  ликвидации пожара с использованием имеющихся СиС.

На основании структурной матрицы ( $M_v$ ) сформируем список объектов (позиций на тушение пожара, техники, участвующей в тушении пожара, зданий и сооружений и т. п.), потенциально зависимых от проявления ОФП. Из этого списка для всех объектов осуществим выборку показателей в таблицу, например, позиции по тушению пожара ( $Poz_i$ ) и назовём её “ликвидация”. Таблица будет иметь следующую структуру: столбцы содержат всё многообразие ОФП, которые могут возникнуть и/или проявиться на исследуемом объекте; строки таблицы состоят из перечня видов СиС из матрицы  $M_t$ , находящихся на месте пожара, а также прилегающей к нему территории и по тактическим возможностям готовы ликвидировать ОФП.

Заполним таблицу значениями, характеризующими ликвидацию ОФП ( $\Phi_k$ ) с использованием СиС ( $Sis_m$ ) на позиции по тушению пожара ( $Poz_i$ ):

$I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (\min)}$  – минимально возможное количество СиС, находящееся на позициях

по тушению пожара, готовое к ликвидации пожара;  $I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k}$  – ОФП, которые

могут быть устранены с участием минимального количества СиС ( $I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (\min)}$ );

$I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (net)}$  – то количество СиС, которое может быть выведено из строя после

ликвидации ОФП интенсивности ( $I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k}$ );  $t_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (\min)}$  – минимально возможное

время, через которое СиС, находящиеся на позиции по тушению пожара, будут

готовы начать ликвидацию ОФП;  $t_{Poz_i}^{Sis_m F_k}$  – время ликвидации ОФП объемом  $I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k}$ , минимально возможным количеством СиС  $I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (min)}$ ;  $I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (max)}$  – максимально возможное количество СиС, сосредоточенное на месте пожара, а также прилегающей к нему территории и позициях по тушению для ликвидации ОФП.

Вышеописанная таблица – «ликвидация» – позволяет интерпретировать сеть  $P^l$ . Для каждой позиции по тушению пожара ( $Poz_i$ ) и каждой ячейки, отображающей процесс ликвидации поражающего фактора  $F_k$ , СиС ( $Sis_m$ ), построим следующий фрагмент подсети (рис. 2.10).

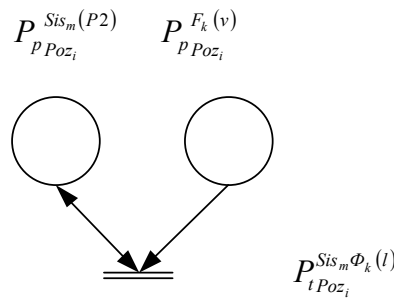


Рисунок 2.10 – Элементарный фрагмент подсети Петри, отображающий результат задачи управления – процесс перемещения между позициями на тушение пожара ( $Poz_i$ ) ресурсов ( $Zr_k$ ) с использованием имеющихся сил ПП ( $Sis_m$ )

В этом фрагменте подсети кратности ребер и задержки перехода имеют вид:

$$\begin{aligned}
 I\left(P_{Poz_i}^{Sis_m(p2)}, P_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k(l)}\right) &= I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (min)}; & I\left(P_{Poz_i}^{\Phi_k(v)}, P_{tPoz_i}^{Zr_m \Phi_k(l)}\right) &= I_{Poz_i}^{Zr_m \Phi_k (min)}; \\
 \bar{I}\left(P_{Poz_i}^{Sis_m(p2)}, P_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k(l)}\right) &= I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (max)}; & \bar{I}\left(P_{Poz_i}^{\Phi_k(v)}, P_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k(l)}\right) &= +\infty; \\
 I\left(P_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k(l)}, P_{tPoz_i}^{Sis_m(p2)}\right) &= I_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k (min)} - I_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k (net)}; \\
 t_{min}\left(P_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k(l)}\right) &= t_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (min)}; & t_{max}\left(P_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k(l)}\right) &= t_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (min)} + t_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k}.
 \end{aligned}$$

Если  $I_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k (min)} = I_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k (net)}$ , то  $I\left(P_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k(l)}, P_{tPoz_i}^{Sis_m(p2)}\right) = 0$ , т. е. после воздействия поражающего фактора на СиС они могут быть уничтожены (повреждены). На

элементарном фрагменте подсети это отображается невозвращением маркеров из позиции  $P_{pPoz_i}^{Sis_m(p2)}$  после срабатывания перехода  $P_{tPoz_i}^{Sis_m\Phi_k(l)}$ .

Если в результате реализации задачи управления – ведение оперативно-тактических действий на позициях по тушению пожара с СиС – на них будут воздействовать ОФП (более  $I_{tPoz_i}^{Sis_m\Phi_k(\min)}$ ), которые могут быть успешно ликвидированы этими СиС, то в этом случае на элементарном фрагменте подсети это отображается изъятием маркеров ОФП из перехода  $P_{tPoz_i}^{Sis_m\Phi_k(l)}$  при неизменном количестве маркеров СиС в позиции  $P_{pPoz_i}^{Sis_m(p2)}$ . Скорость, с которой будет проходить корректировка количества маркеров ОФП, находящихся на позиции  $P_{pPoz_i}^{\Phi_k(v)}$ , соразмерна ( $k$ ) количеству маркеров ОФП ( $P_{pPoz_i}^{\Phi_k(v)}$ ), воздействующих на исследуемый ресурс, и может быть выражена как 
$$k = \frac{I_{tPoz_i}^{Sis_mF_k}}{I_{tPoz_i}^{Sis_mF_k(\min)}}.$$
 Эта скорость (скорость извлечения маркеров из позиции) будет возрастать до тех пор, пока количество маркеров СиС, находящихся в позиции ( $P_{pPoz_i}^{Sis_m(p2)}$ ), не достигнет показателя  $I_{tPoz_i}^{Sis_m\Phi_k(\min)}$ .

Пожар считается ликвидированным, когда выполнена поставленная задача управления действиями СиС, направленными на прекращение горения, что исключает возможность его повторного возникновения [199]. Это определение в терминах сети Петри интерпретируем в следующее высказывание – ликвидация пожара будет продолжаться до тех пор, пока количество маркеров, моделирующих ОФП в позициях  $P_{pPoz_i}^{\Phi_k(v)}$ , не снизится до заданного уровня.

Определим общее время ликвидации ( $t_k^{лик}$ ) ОФП ( $\Phi_k$ ) интенсивности  $n_{fk}$  с позиции по тушению пожара ( $Poz_i$ ) с использованием СиС ( $Sis_{m1}, \dots, Sis_{mn}$ ) в количествах ( $N_{nm1}, \dots, N_{nmj}$ ).

Для этого обозначим количество СиС определённого вида ( $Sis_j$ ), необходимое для устранения одного из видов ОФП ( $Sis_j$ ) за единицу времени –

$n_{nSis_m}^{F_k} = \frac{I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (\min)}}{I_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k} \times t_{Poz_i}^{Sis_m \Phi_k (\min)}}$ , при этом количество СиС, находящихся на позициях по

тушению и предназначенных для ликвидации ОФП – ( $N_{nm}$ ). Тогда скорость ликвидации ОФП при использовании СиС только одного вида ( $Sis_j$ ) будет равна

$\frac{n_{nSis_m}^{\Phi_k}}{N_{nm_j}}$ , а с использованием нескольких видов СиС ( $\sum_{j=1}^r \frac{n_{nSis_m}^{\Phi_k}}{N_{nm_j}}$ ).

С учётом вышесказанного общее время ликвидации:  $t_k^{лик} = \frac{n_f \Phi_k}{\sum_{j=1}^r \frac{n_{nSis_m}^{\Phi_k}}{N_{nm_j}}}$ .

Как показывает анализ многочисленных публикаций, возможны три типа управления пожарной безопасностью на объекте: предотвращение причин возгорания, локализация и ликвидация пожара (создание условий для быстрого тушения пожара), максимальное ослабление последствий пожара.

Эти типы управления взаимосвязаны и более того при необходимости можно осуществить переход от одного типа управления к другому.

Так как разработка полного фрагмента сети Петри, формализующего процесс принятия управленческих решений для обеспечения пожарной безопасности объекта, не входит в задачи данной работы, формализуем только подсеть, моделирующую управление силами и средствами при тушении пожара на примере одного из пожаров (приложение Г).

Для этого построим фрагмент подсети, позволяющий моделировать управление силами и средствами при ликвидации пожара (рис. 2.11).

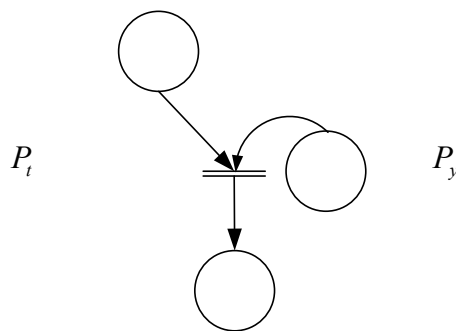


Рисунок 2.11 – Элементарный фрагмент подсети Петри, отображающий управляющую позицию ( $P_y$ ) и управляющий переход ( $P_t$ )

При этом позиция ( $P_y$ ) является управляющей для перехода ( $P_t$ ), имеет один вход и в терминах сети Петри имеет вид:  $I(P_y, P_t)=1$ .

Опишем управляемые переходы при моделировании управления силами и средствами при ликвидации пожара для формализации принятия управленческого решения:  $P_{tTr_{ij}}^{Sis_m 0(p2)}$  – моделирующий перемещение СиС вида ( $Sis_j$ ) между позициями на тушение пожара ( $Poz_i$ ) и ( $Poz_j$ );  $P_{tTr_{ij}}^{Zr_k Sis_m 0(p2)}$  – моделирующий передислокацию ресурсов типа ( $Zr_k$ ) с использованием СиС типа ( $Sis_j$ ) между позициями на тушение пожара ( $Poz_i$ ) и ( $Poz_j$ );  $P_{tPoz_i}^{Sis_m \Phi_k (l)}$  – моделирующий ликвидацию ОФП вида ( $\Phi_k$ ) с использованием СиС вида ( $Zr_k$ ) на позиции по тушению пожара ( $Poz_i$ ).

Для обозначения принятия управленческого решения о переброске СиС или начале локализации и ликвидации пожара необходимо дополнить каждый переход управляющей позицией и, поместив маркер в требуемую позицию, санкционировать соответствующий переход (выполнять поставленную управленческую задачу) (рис. 2.12).

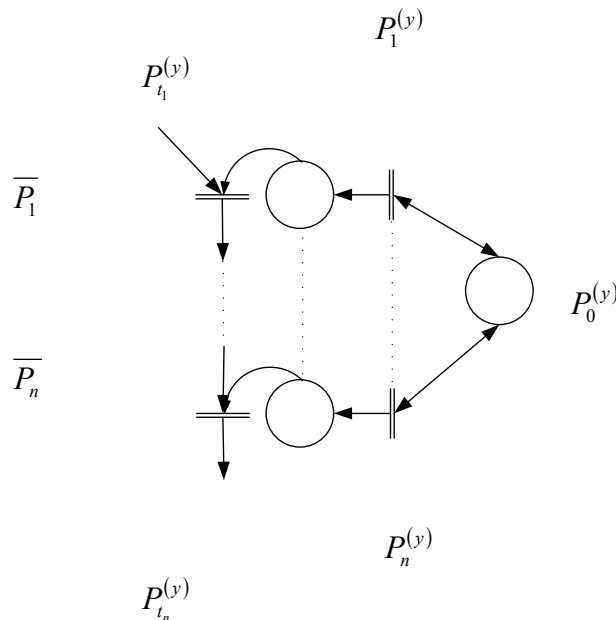


Рисунок 2.12 – Элементарный фрагмент управляющей подсети ( $P^y$ ), отображающий управляющие переходы (управляющие позиции ( $P_0^{(y)}, \dots, P_n^{(y)}$ ) и управляющие переходы ( $P_{t_1}^{(y)}, \dots, P_{t_n}^{(y)}$ )) (в виде сети Петри)

В этом фрагменте подсети кратности ребер и задержки перехода равны единице.

Факт принятия управляющего решения в подсети управления СиС будет моделироваться в момент времени  $T$  при срабатывании исследуемого управляющего перехода ( $P_i^{(y)}$ ) и перестановкой маркера в управляющую позицию ( $P_i^{(y)}$ ). Тип используемого канала связи ( $I_{\max}(P_i^{(y)}) = +\infty$ ) влияет на минимальное время, необходимое для передачи управляющего воздействия на управляющую позицию. В случае срабатывания несколько раз подряд управляющего перехода ( $P_i^{(y)}$ ), несколько маркеров будет переставлено в управляющую позицию ( $P_i^{(y)}$ ).

Количество переключений управляемого перехода ( $\bar{P}_i$ ) ограничивается количеством маркеров, находящихся в управляющей позиции, и соответствует числу задействованных на выполнение поставленной задачи СиС.

На основании вышеизложенного, управление ( $Y$ ) в модели системы пожаротушения, в которой отражаются процессы возникновения, развития, локализации и ликвидации пожара, формализуем:

$$Y = (P_i^{(y)}, k^s, \tau^s),$$

где  $P_i^{(y)}$  – управляющее решение о переброске СиС на (или с) позиции по тушению пожара (срабатывающий переход);  $k^s$  – количество перебрасываемых СиС на (или с) позиции по тушению пожара (кратность срабатывания перехода);  $\tau^s$  – время срабатывания управляющего перехода (время начала перемещения СиС).

Постановка и реализация задач планирования и управления СиС на пожаре заключается в нахождении управленческого воздействия  $Y$ , максимально приближенного к заданным критериям старшего должностного лица на пожаре:

$$Y = \begin{cases} \min_Y I(M_r(p)) \\ K(M_r(p), T, \tau_H) \leq 0, \end{cases}$$

где  $M_r(p)$  – число маркеров в позиции  $p$ ;  $\tau_H$  – нормативное (расчётное) время выполнения поставленной управленческой задачи на месте пожара, а также прилегающей к нему территории.

Если приложенное управляющее воздействие не может быть реализовано, то в данной работе по этим подразумевается дефицит СиС для выполнения операций по локализации и ликвидации пожара. Рациональное управление на основе вышеизложенного будет состоять в рассредоточении имеющихся СиС

для выполнения поставленной задачи в кратчайшие сроки: 
$$Y = \begin{cases} \overrightarrow{\tau}_H = \min_Y I \\ I(M_r(p)) \leq \vec{I} \\ K(M_r(p), T, \overrightarrow{\tau}_H) \leq 0 \end{cases},$$

где  $\overrightarrow{\tau}_H, \vec{I}$  – наилучшие допустимые значения.

Формализуем постановку оперативных задач для рационального управления СиС ПП на пожаре.

Опишем алгоритм А3 построения подсети  $P^r$ :

А3.1. Проведём начальную инициализацию подсистемы. Поставим в соответствие каждому событию переход  $P_{ij}$ , а каждой оперативной управленческой задаче – позицию  $P_{pj}$ .

А3.2. Введём в подсистему позиции  $P_{rij}$ , моделирующие СиС пожаротушения, выделенные старшим оперативным должностным лицом в резерв.

А3.3. Зададим начальную маркировку  $\mu$  (т. е. поместим маркер в исследуемую позицию ( $P_{pi}$ ), обозначив выполнение  $i$ -й операции оперативно-тактических действий в данный момент):

А3.3.1. Поместим один маркер ( $\mu_0(P_{p0}) = 1$ ) в начальную позицию.

А3.3.2. Поместим необходимое количество маркеров – равное объему ресурсов СиС определённого вида, распределённых на выполнение поставленной оперативной задачи ( $\mu_0(P_{ij}^r) = Tr_{ij}$ ).

А3.3.3. Иницилируем остальные позиции нулём ( $\mu_0(P_p) = 0$ ).

А3.3.4. Проведём модификацию сети – заместим все позиции  $P_{pj}$  и инцидентные этой позиции ребра (рис. 2.13) элементарным фрагментом подсети (рис. 2.14).

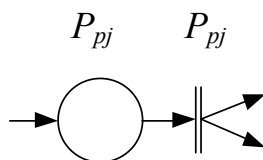


Рисунок 2.13 – Элементарный фрагмент подсети Петри

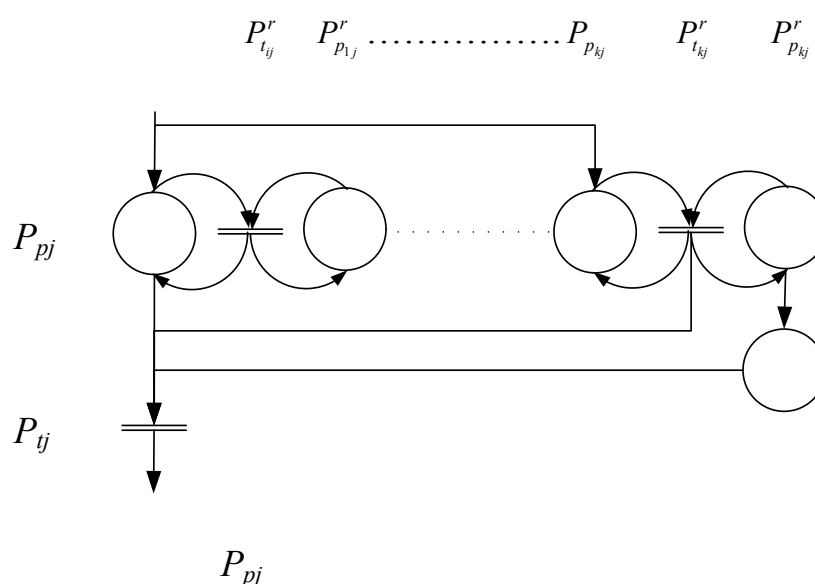


Рисунок 2.14 – Типовой фрагмент подсети Петри, позволяющей моделировать создание и использование резерва СиС

Другими словами, алгоритм А3 можно интерпретировать следующим образом: в начале выполнения операции оперативно-тактических действий ( $P_{pj}$ ), переходом ( $P_{tij}$ ), маркеры перемещаются в необходимые позиции ( $P_{pij}$ ). Общее число маркеров для исследования, выделенных на проведение оперативно-тактических действий на пожаре ресурсов СиС, ограничено и уменьшается при очередном срабатывании переходов ( $P_{tij}$ ).

После этой инициализации переходы ( $P_{tij}$ ) становятся готовыми к срабатыванию. В результате переключения этих переходов в позиции ( $P_{pj}$ )



перемещаются маркеры, совпадающие с выполненным объемом выполняемых работ на позиции по тушению пожара.

Вдобавок, с увеличением предназначенного для реализации оперативной управленческой задачи количества СиС, скорость доставки маркеров в эти позиции увеличивается. Скорость доставки маркеров также зависит от эффективности выполнения оперативной управленческой задачи на позиции по тушению пожара ( $P_{pj}$ ) ресурсом  $i$ -го вида ( $ef_{ik^s}$ ). Когда необходимая оперативная задача на позиции по тушению выполнена (т. е. число маркеров в позиции ( $P_{pj}$ ) достигло  $\theta_j$ ), срабатывает переход ( $P_{tj2}$ ), то маркеры из позиций ( $P_{pj}$ ) и ( $P_{pij}$ ) удаляются и помещаются в те позиции, которые соответствуют следующим реализуемым операциям оперативно-тактических действий на позициях по тушению пожара.

Задержки маркеров в переходах ( $P_{tj}$ ), а также кратности ребер данного элементарного фрагмента подсети примут вид:

$$I(P_{tj1}, P_{pij}) = I(P_{pij}, P_{tj2}) = Sis_{ij}^{\max}, I(P_{pij}, P_{tj}^r) = I(P_{tj}^r, P_{pij}) = 1, \bar{I}(P_{pij}, P_{tj}^r) = +\infty;$$

$$I(P_{pij}^r, P_{tj}^r) = I(P_{tj}^r, P_{pij}^r) = 1, \bar{I}(P_{pij}^r, P_{tj}^r) = +\infty; I(P_{tj}^r, P_{pj}) = ef_{ik^s}; I(P_{pij}, P_{tj2}) = \bar{I}(P_{pij}, P_{tj2}) = \theta_j.$$

При этом задержки маркеров в позициях ( $P_{pij}$ ) будут равны 0:

$$d(P_{j1}) = d(P_{j2}) = 0, d(P_{tj}^r) = 1, d(P_{pj}) = d(P_{pij}) = d(P_{pij}^r) = 0;$$

где  $Sis_{ij}^{\max}$  – наибольшее количество и объем ресурсов СиС  $i$ -го вида, предназначенный для реализации оперативной задачи на позиции тушения пожара ( $P_{pj}$ );  $ef_{ik^s}$  – эффективность выполнения оперативной задачи на позиции тушения пожара ( $P_{pj}$ ) ресурсом  $i$ -го вида;  $\theta_j$  – объем работ для выполнения оперативной задачи на позиции тушения пожара ( $P_{pj}$ ).

### Алгоритм снижения размерности моделей

Несмотря на то, что по статистике более 80 % пожаров тушится 1–3 пожарными водяными стволами и крупные пожары происходят редко (менее 0,05 % к общему числу пожаров), но на них сосредотачивается большое

количество СиС, тем самым возрастает размерность предлагаемой модели [167–170, 353–355]. Для снижения размерности приведённых моделей их необходимо модифицировать с целью уменьшения времени, затрачиваемого на моделирование ведения оперативно-тактических действий, что особенно важно в случае использования их непосредственно на месте пожара, а также прилегающей к нему территории.

Модификация заключается в определении оперативных управленческих задач и задач согласования таким образом, чтобы каждая из задач обладала размерностью максимально меньшей, чем исходная размерность. Возможность модификации общей сети Петри на разнообразные подсети существует из-за того, что: некоторые фрагменты любой сети управления при ведении оперативно-тактических действий целесообразно исследовать укрупненно (сектор, участок тушения), в виде объединённой позиции и/или перехода, а после, при необходимости, во всех подробностях; не все возможные ситуации на пожаре могут произойти и поэтому не все переходы будут пройдены (сработают).

Таким образом, при модификации сети ведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями, должны быть формализованы три вида задач: общая задача управления СиС на пожаре; оперативные задачи подсистем сети управления; задачи координации системы управления.

Формировать функциональные подсистемы сети управления можно по различным признакам, например, по временному признаку, величине интенсивности, структуре [248, 258, 276, 346, 353–359] и др. Этот процесс описывать в данном исследовании мы не будем, так как это достаточно полно описано в ряде источников [360–362], поэтому приведём только алгоритм (А4) для компьютерной модели принятия управленческих решений, построенный в соответствии с основными положениями структурных матриц связей [348, 349, 363]:

А4.1. Формируется матрица связей для сети  $S$ , отражающая связи между позициями и переходами, размер матрицы  $v \times v$ , где  $v$  – число вершин сети. Если позиция  $Pp_i$  (переход  $Pt_i$ ) связана ребром с переходом  $Pt_j$  (позицией  $Pt_j$ ), то соответствующие элементы матрицы  $S$  равны.

А4.2. Осуществляется возведение в степень матрицы  $S$ , пока число нулевых элементов не перестанет уменьшаться.

А4.3. Формируются столбцы матрицы  $S^n$ : в том случае если содержимое пересечений  $j$ -й позиции и  $i$ -й строки содержит нулевой элемент, то ячейка  $ij$  принадлежит к различным подсетям; в том случае если содержимое пересечений  $j$ -й позиции и  $i$ -й строки содержит ненулевой элемент, то ячейка  $ij$  принадлежит к одной подсети.

### **Выводы по 2 главе**

С целью описания и разработки процедур синтеза и анализа системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров относительно их структурных (узловых) характеристик в виде сетей Петри:

1. Предложена графическая интерпретация модели управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров, представленная в виде множества сетей Петри, имеющая топологическую структуру, аналогичную процессу управления пожаротушением при ведении оперативно-тактических действий.

2. Разработан метод формализации и постановки задач управления пожарно-спасательным подразделением на месте пожара при пожаре на объектах экономики, социальной инфраструктуры, а также прилегающей к ним территории, позволяющий исследовать оперативное управление пожаротушением тремя способами: алгебраически; матрично; на графах.

Алгебраический способ используется 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 воплощается в виде структурных матриц для полного отражения структуры (состав элементов и связей между ними) системы управления пожарно-спасательным подразделениям на месте пожара, а также прилегающей к нему территории.

Способ на графах предназначен для визуального отображения процесса управления пожаротушением и составных частей этого процесса, взаимного взаимодействия и функционирования этих частей, их внутренних и внешних связей.

3. Предложена модель системы управления пожаротушением в виде модифицированной сети Петри, включающую в себя множество подсетей (локальных моделей), описывающих изменение самодостаточных компонентов формализованных локальных моделей возникновения, развития, локализации и ликвидации пожара пожарно-спасательными подразделениями;

4. Разработаны алгоритмы формирования подсетей (локальных моделей) системы управления пожаротушением по исследуемым признакам, обеспечивающие автоматизацию моделирования и его реализацию на ЭВМ.

5. Предложены локальные модели постановки и реализации задач планирования и управления силами и средствами при пожаре, системы управления пожаротушением мобильными средствами, заключающейся в формировании управленческого воздействия, максимально приближенного к заданным критериям старшего должностного лица на пожаре (руководитель тушения пожара, начальник штаба, начальник тыла и др.);

6. Разработана локальная модель управления силами и средствами в виде сети Петри на примере тушения пожара в здании.

7. Проведено имитационное моделирование управляемых переходов сети Петри при оперативном управлении на этапе работы пожарного на пожаре,

закрывающееся в рассредоточении имеющихся сил и средств целью выполнения поставленной управленческой задачи в кратчайшие сроки.

8. Обоснован и разработан алгоритм модификации предложенных моделей управления пожарно-спасательными подразделениям при тушении пожара для снижения их размерности в целях уменьшения времени, затрачиваемого на моделирование, что особенно важно в случае использования их в реальном времени непосредственно на месте пожара.

### **Глава 3. Метод и алгоритмы распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий**

Сутью методологии управления пожарно-спасательными подразделениям при тушении пожаров является её внутренняя структура и логика управления процессом создания, развития пожарной охраны и реализации оперативно-тактических действий по тушению пожара и проведению связанных с ним первоочередных аварийно-спасательных работ. Методология управления пожаротушением при планировании и выработке организационно-технических решений на месте пожара, а также прилегающей к нему территории в иерархии обеспечения пожарной безопасности должна определить последовательность разработки и научный аппарат (методы) оперативно-тактических действий, их состав и структуру, технологию и средства применения на месте пожара, а также прилегающей к нему территории.

#### **3.1. Постановка задач управления и принятия решений на месте пожара**

Анализ публикаций [82, 83, 90–92, 96, 99, 101, 102, 112, 135, 136, 139, 143, 144, 152, 324, 364–372], посвященных задачам управления ПП, показывает, что в основном методы и алгоритмы их решения разработаны для предварительного планирования ведения оперативно-тактических действий, 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 пожарно-спасательными подразделениями и принятие решений при

пожаротушению в следующем виде (рис. 3.1).

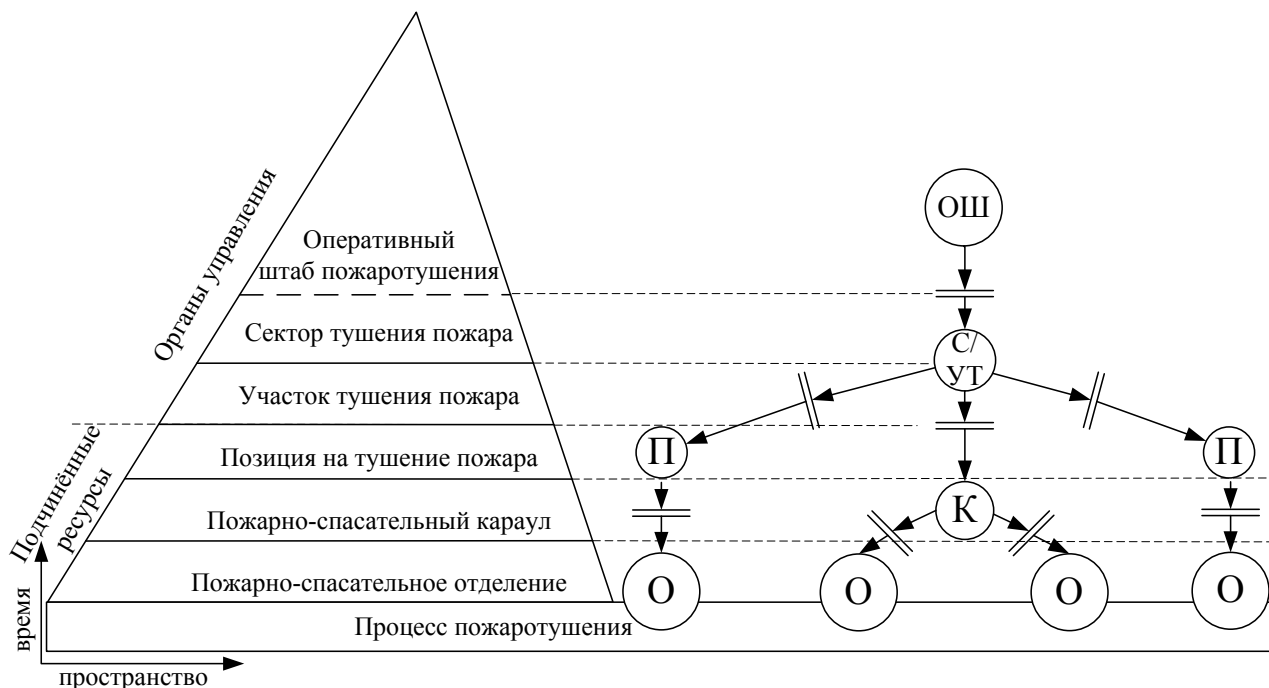


Рисунок 3.1 – Структура задач управления пожарно-спасательными подразделениями и принятие решений при пожаротушении по времени и месту

Представим систему управления пожаротушением в виде идеализированного процесса управления силами и средствами на пожаре и ведения связанных с ним аварийно-спасательных работ (рис. 2.2) ( $P^{(r)}$ ,  $r = \overline{1, 5}$  – ранг пожара); данный процесс представляет собой массив, состоящий из отдельных этапов – задач управления (оперативно-тактические задачи) и принятия решений ( $zt_1, zt_2, \dots, zt_n$ ):

$$P^{(r)} = P(zt_1, zt_2, \dots, zt_n), r = \overline{1, 5}, \quad (3.1)$$

где  $zt_n$  – наименьшая, логически законченная часть процесса управления силами и средствами на пожаре, реализуемая за определённое время (нормативное, расчётное) при помощи определённого состава сил и средств.

Некоторые задачи управления и принятия решений ( $zt_i, i = \overline{1, j}; 1 \leq i < j; j \leq n$ ) выполняются исключительно на обусловленном структурном уровне управления СиС на месте пожара (позиция, звено, подразделение), часть других задач ( $zt_i$ ) можно так перераспределить среди ресурсов пожаротушения в

зависимости от оперативно-тактической обстановки на определённых местах ведения оперативно-тактических действий, для достижения наибольшего значения показателя эффективности.

Комбинации управленческих воздействий (оперативные задачи), инициирующие необходимые оперативно-тактические действия пожарно-спасательными подразделениями, представляют собой взаимозависимые сочетания, адекватные условиям конкретного процесса управления пожаротушением мобильными средствами, формализованные выше (3.1). Некоторые управленческие воздействия обязаны вытекать из других и синхронизироваться по времени, другими словами, на допустимом многообразии оперативных, тактических, технических задач управления на тушение ( $\{z_{t_i}\}, i = \overline{1, n}$ ) установлено двоичное отношение предшествования ( $\langle \rangle$ ), являющееся в большинстве случаев транзитивным и антирефлексивным. Наряду с этим допустимое многообразие оперативных, тактических, технических задач управления на тушение упорядочено частично, т. е. сформировано определенное информационно-скоординированное упорядоченное множество задач, предназначенное для реализации, и расходует на себя допустимые силы и средства. Выполнение этого упорядоченного множества задач на пожаре в данной работе трактуется как процесс управления, смена состояний которого варьируется в установленных границах путём совершения определённых действий допустимыми ресурсами во времени, иначе говоря, последовательность применения сил и средств при пожаре задаётся управляющим воздействием процесса пожаротушения. Для его формализации необходимо, эффективно применяя допустимые во всех текущих состояниях органы управления, а также силы и средства пожаротушения, организовать последовательность реализации управленческих задач при пожаротушении во времени, для оптимизации конкретной для объекта тушения целевой функции с учётом определённых в нормативно-распорядительных документах уровней управления имеющихся в распоряжении СлС



пожаротушения каждого вида и типа. В зависимости от характера граничных условий, влияющих на последовательность реализации задач на пожаротушение, формализуются СиС на месте пожара, а также прилегающей к нему территории.

Из этого можно заключить, что обобщённое строение математической модели задачи управления ( $MZY$ ) пожарно-спасательными подразделениями для принятия управленческих решений в ситуативно подчинённой структуре управления на пожаре (рис. 3.1) складывается из нескольких компонентов: органов управления ( $OY$ ), подчинённых СиС ( $PR$ ), процесса локализации и ликвидации пожара (3.1):

$$MZY = \begin{cases} OY = \{oy_a\}, & a = \overline{1, A} \\ PR = \{pr_b\}, & b = \overline{1, B} \\ P^{(r)} = \{zt_c\}, & c = \overline{1, C}, \quad r = \overline{1, 5} \end{cases}, \quad (3.2)$$

где  $OY$  – логически законченный массив органов управления (штаб, сектор, участок, пост ГДЗС), разнесённых по  $A$  ситуативно подчинённым уровням структуры управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре

$$OY = \sum_{r=1}^5 \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B oy_a; \quad (3.3)$$

$PR$  – логически законченный массив СиС пожаротушения. Для любого типа (вида)  $B$  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  $[0 \leq oy_a \leq P^{(r)}]$ . В рамках развития динамической модели (1.13) представим подчинённые (материальные) силы и средства совокупным объемом категории “мощность” (пожарно-спасательная и приспособленная для пожаротушения техника и аварийно-спасательное оборудование, члены боевых расчётов, вычислительная техника, средства приёма и передачи информации и т. д.) и функции времени в виде непосредственно потребляемых (расходуемых) при проведении оперативно-тактических действий и непосредственно не потребляемые, но инициирующие

определённые предпосылки к их потреблению;  $P^{(r)}$  – логически законченный массив управленческих задач при тушении пожара, предназначенных к осуществлению на конкретном пожаре с учётом текущих  $[0 \leq oya \leq P^{(r)}]$  граничных условий:

продолжительность выполнения поставленной задачи при тушении пожара под управлением определенного органа управления  $ou_a$ :  
 $\tau_i^a > 0, a = \overline{1, A}, i = \overline{1, I}$ ;

интервалы продолжительности воздействия органа управления  $ou_a$  на пожарно-спасательное подразделение:  $\tau_i^{oy} \in [\tau_0^{oy}, \tau_r^{oy}]$ ,  $r = \overline{1, 5}, i = \overline{1, I}$ ;

интервалы продолжительности схем согласованности действий при тушении пожара, согласованные с этапами и подэтапами, отображёнными 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 разделе 1.3:

$$\forall (zt_i, zt_j) \in D \mid zt_i \langle zt_j, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}, \quad (3.4)$$

для любой 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 оперативно-тактических действий;

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 оперативно-тактических действий,  $\phi_{\Pi} \in \Phi_{\Pi}$  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 задачи управления и принятия решений на месте ведения оперативно-тактических действий необходимо придать определённый порядок отдельным управленческим подзадачам, задачам при тушении, в каждом подмассиве оперативно-тактических действий  $P_{otd}^{(r)}$ ,  $r = \overline{1, 5}$ ,  $otd = \overline{1, OTD}$  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:

$$AR^{\Pi}: P^{(r)} \rightarrow \{0, 1, \dots, [\tau_{n_{\min}} - 1]\}, \quad (3.5)$$

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

$$F_{\Pi}(AR^{\Pi}, \phi_{\Pi}) = \text{extr} \{F_{\Pi}(AR_i, \lambda_i, \phi_{\Pi}, \phi_i)\}, i = \overline{1, I}, \quad (3.6)$$

где  $\lambda_i = \lambda_i(r)$  – весовой показатель решения ( $AR_i$ )  $i$ -й задачи при тушении пожара и обусловленный номером пожара ( $r$ ), с учётом соответствия нижеприведённых состояний (задач управления), обуславливающих возможность реализации

плана тушения пожара ( $AR^H$ ):

$$\text{для каждой } ZT_i \in P^{(r)}, \tau_i^{(AR)} + \tau_i \leq D^{(r)}; \quad (3.7)$$

$$\text{для всех } (ZT_i, ZT_j) \in B, \text{ если } ZT_i \prec ZT_j, \text{ то } \tau_i^{(AR)} + \tau_i \leq \tau_j^{(AR)}; \quad (3.8)$$

$$\text{для каждого целого числа, } \tau \ 0 \leq \tau \leq D, \text{ множество } P^{(r)}(\tau) = \{P_i \in P^{(r)} \mid \tau_j^{(AR)} \leq \tau \leq \tau_j^{(AR)} + \tau_i\} \text{ удовлетворяет условию: } |P_{AR}^{(r)}(\tau)| < OY; \quad (3.9)$$

$$\text{и каждого } b, 1 \leq b \leq B: \sum_{i=1}^I PR_i^b \leq PR^b. \quad (3.10)$$

В связи с тем, что решения вышеперечисленных задач управления распределены в пространстве зоны пожара, во времени ликвидации пожара и принимаются в динамично изменяющихся обстоятельствах, то можно их классифицировать в виде управленческих задач иерархического многоэтапного стохастического программирования [373–377], а процедуры решения таким образом формализованной задачи управления СИС при пожаротушении мобильными средствами обязаны принимать в расчёт иерархичность их управления. Поэтому воспользуемся алгоритмами иерархического класса [375], поскольку их функционирование объединено с проверкой структур пожаротушения мобильными средствами и шире области применения традиционных переборных алгоритмов, реализующих числовое нахождение экстремумов, а также реализует научные достижения при изучении последних.

Алгоритм А5 реализации формализованной задачи управления (3.2–3.10) заключается [344] в следующем:

А5.1. Представление поставленной задачи управления в виде совокупности взаимосвязанных автономных подзадач (как минимум двух) – формирование массива, элементы которого соответствуют условию предшествования и (или) следования и разделения оперативно-тактических действий среди пожарно-спасательных подразделений, а также распределение решений членам боевых расчётов (консолидирующее формирование массива).

А5.2. Формализация интерактивных способов логико-лингвистической обработки предопределённой информации о влиянии опасных факторов ( $\phi_p$ ,

$\phi_i$ ), обуславливающих конкретные ситуации, складывающиеся в процессе управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара, для подготовки исходных данных необходимых для решения управленческих задач на этапе предварительного планирования оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями.

А5.3. Логико-лингвистическая модификация вышеприведенных подзадач управления для улучшения их эффективности:

А5.3.1. Интерактивное, последовательное прохождение (перебор) элементов массива (идеализированный процесс тушения пожара пожарно-спасательными подразделениями,  $P^{(r)}$ ) с учётом данных предварительного планирования на любом промежутке,  $\tau_r \subseteq \tau_{old}$  – типовых воздействий в зоне пожара (по объектам) способных внести изменение структуры ресурсов СиС, модели процесса управления пожаротушением и т. п., на начальном этапе;

А5.3.2. Интерактивное, последовательное прохождение (перебор) элементов массива (управленческих задач при тушении  $ZP^{(r)}$ ) на всех непересекающихся подмассивах, с учетом номера пожара ( $r = \overline{1, 5}$ ) и других факторов (граничных условий) для динамично изменяющихся целей, обусловленных многокритериальностью задачи разбиения – неопределенности целевых функций выбора управленческого решения [375, 378, 379] на следующем этапе.

Тем самым математическая задача управления СиС пожаротушения и принятия решений в системе управления пожарно-спасательными подразделениями формализована в виде задачи формирования оперативного сценария использования имеющихся на пожаре ресурсов СиС для обеспечения экстремальных показателей predetermined критериям пожаротушения, и содержит две ключевые взаимосвязанные автономные управленческие подзадачи: «нормализация» задач на тушение во времени и зоне пожара; распределение типизированных наборов управленческих решений по эшелонам управления СиС пожаротушения, для реализации которых требуется создать

специализированные методы и алгоритмы информационно-математического обеспечения (рис. 3.2).

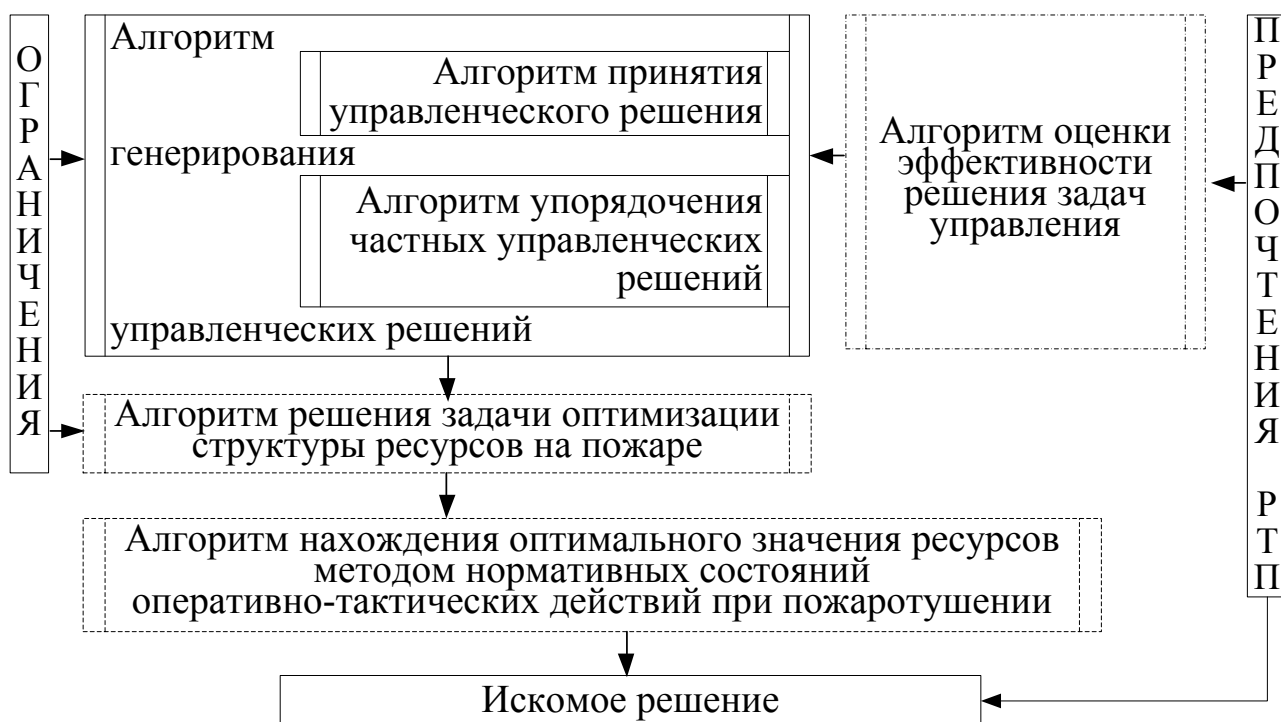


Рисунок 3.2 – Схема решения задач управления силами и средствами пожаротушения и принятия решений в системе управления пожарно-спасательными подразделениями с учётом ограничений и предпочтений руководителя тушения пожара

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

Распределение задач управления и принятия решений при осуществлении пожаротушения пожарно-спасательными подразделениями и модель идеализированного процесса пожаротушения по  $r$ -му номеру в развитие изложенного подхода в разделе 1.3.2 формализуем как ориентированный граф  $G = [P^{(r)}, D]$  (рис. 3.3) без контуров и петель, представленный совокупностью узлов процесс  $P^{(r)}$ , воспроизводящих predetermined совокупность управленческих задач при тушении пожаров, и совокупностью рёбер  $D \subseteq P^{(r)} \times$

$P^{(r)}$ , воспроизводящих предопределённое отношение предшествования управленческих задач при тушении пожара. Все задачи при тушении пожара описываются соотношением  $\langle \tau_i, pr_i \rangle$ , в котором  $\tau_i > 0$  – продолжительность задачи при тушении пожара, а  $pr_i = \{pr_i^{(r)}\}$  – совокупность необходимых СиС пожаротушения.

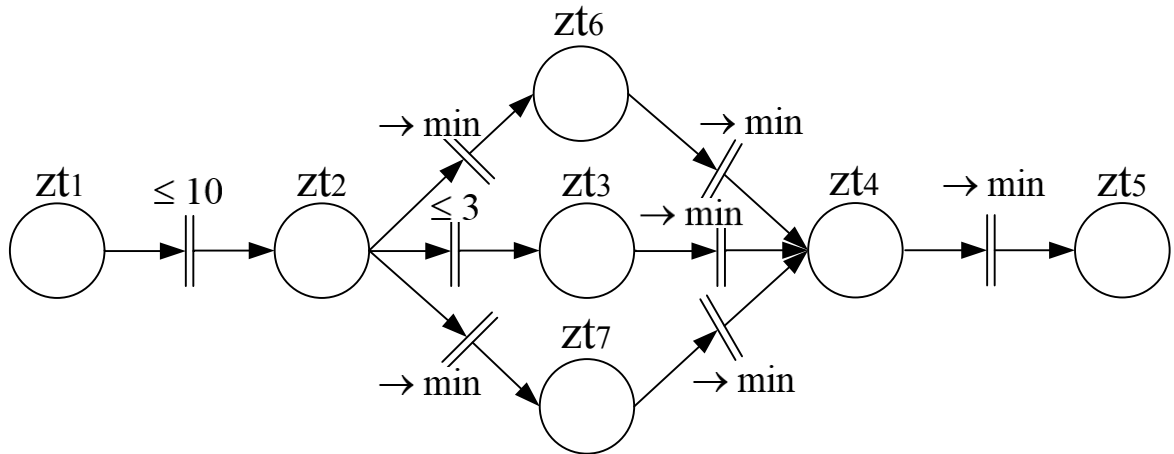


Рисунок 3.3 – Граф обобщенного процесса управления при тушении пожара в городе

Отображение решения управленческих задач при пожаре пожарно-спасательными подразделениями ( $YR$ ) формализуется в виде предельного набора количества управленческих задач при тушении пожара:

$$YR = \{\tau_i^{(AR)}\}, \tau_i^{(AR)} \in [0, \tau_j], i = \overline{1, I}, j = \overline{1, \tau_n}, \quad (3.11)$$

где  $[0, \tau_j]$  – временной промежуток реализации управленческой задачи при тушении пожара;  $\tau_n$  – расчётный (нормативный, директивный) срок окончания процесса локализации и ликвидации пожара мобильными средствами по  $r$ -му номеру.

### Постановка управленческой задачи при тушении пожара

С целью уточнения детализации представления обстоятельств принятия управленческого решения  $YR$  на месте пожара допустим следующее:

предопределены базовые уровни (номер (ранг) пожара) наличия СиС

пожаротушения каждого типа во времени  $pr_\tau = \{pr_b^\tau\}$ ,  $b = \overline{1, B}$ ,  $\tau \in [0, \tau_j]$ ,  $j = \overline{1, \tau_n}$ , причем  $pr^\tau = pr^0$ , т. е. не зависит от времени (первоначальная высылка СиС по вызову осуществляется по номеру пожара, а  $pr^0$  – это присутствие необходимых СиС в требуемый срок;  $\tau_n$  – составлен план привлечения сил и средств пожарно-спасательного гарнизона);

формализованные управленческие задачи при тушении пожара обладают неизменной во времени степенью расходования СиС каждого типа (вида);

формализована целевая функция:

$$F_u(YR) = \min_{YR} \left[ \max_{1 \leq i \leq I} \{\tau^{(r)} + \tau_i\} \right], \tau \in [0, \tau_j], \tau_j \leq \tau_n; \quad (3.12)$$

требуется принять управленческое решение:

$$YR = AR(\tau_{n \min}) = \text{Argmin } F(YR) \quad (3.13)$$

на реализацию задач при тушении пожара.

Трудоемкость известных методов решения подобных комбинаторных задач полиномиально зависит от их размерности, что снижает практическую значимость этих методов и может привести к невозможности получения оптимального решения с помощью имеющихся типовых средств автоматизации при тушении пожара и (или) за приемлемое время [46, 47, 51, 72, 91, 151, 139, 344, 374, 375].

Поэтому в представляемом методе распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий при тушении пожара с целью устранения этих слабых мест использованы правила специального назначения. Они оперируют сведениями: о длительностях, а также отношениях предшествования управленческих задач при пожаротушении; о необходимости определённых СиС для реализации управленческих задач при тушении пожара. Этот метод относится к методам динамического программирования и позволяет: значительно уменьшить количество рассматриваемых комбинаторных возможностей выбора управленческого решения  $YR$ ; организовать интерактивный режим



коммуникации «человек (РТП) – ЭВМ (база знаний)», обеспечивающий принятие рационального управленческого решения  $YR$  за «приемлемое время»  $\tau_n$  путём подсоединения к базе знаний.

На основе вышеизложенного формализуем метод распределения задач управления и принятия решений:

М1. Инициализация  $\tau_{min}$  (минимально допустимой величины (нормативной, расчётной) длительности выполнения этапа пожаротушения) из прогнозируемого интервала времени  $[\tau_{n_o}, \tau_{n_p}]$ .

М2. Компьютерный информационный поиск любым способом (золотого сечения, дихотомии, минимакса и пр. [344]) как минимум одного «удовлетворительного» решения  $YR^0 = YR(\tau_{n_{min}})$  данной длительности, а в случае его отсутствия – коррекция оператором (РТП) значения,  $\tau_{n_{min}}$ .

М3. Компьютерный информационный анализ «удовлетворительного» решения. Поставив задачу, в частности, нахождение значения показателя  $\tau_{n_{min}}$  в границах  $[\tau_{n_o}, \tau_{n_p}]$ , назначается определённое значение  $\tau_{n_o} < \tau_i < \tau_{n_p}$ . В том случае, когда определяется присутствие значения в границе  $\tau_1$ , при следующей

итерации назначается  $\tau_2 = \frac{\tau_{n_o} + \tau_1}{2}$ , в противном случае определяется

$\tau_2 = \frac{\tau_{n_o} + \tau_{n_p}}{2}$ , а этот цикл повторяется.

Приведем алгоритм определения  $\tau_{n_{min}}$  (минимально допустимой величины (нормативной, расчётной) длительности выполнения этапа пожаротушения), обладающий большей сходимостью, чем другие алгоритмы, основанные на методах золотого сечения и дихотомии. Для этого (как в [344]) сформулированную выше задачу генерации «быстрого» управленческого решения для  $YR^0$  представим в виде предельной задачи на реберно-связанном графе и для этого граф  $G = [T, D]$  нормализуем (рис. 3.4) в  $G^0 = [T^0, D^0]$ :

– любую управленческую задачу при тушении ( $zt_i \in P$ ) разбьём на задачи единичной длительности [372, 374, 380, 381] и (или) нагруженности [149, 276,

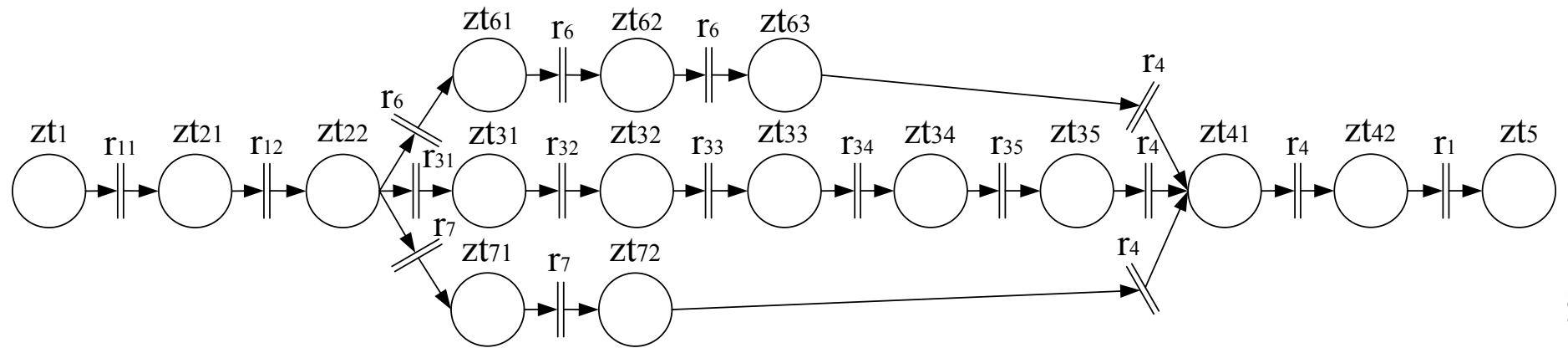


Рисунок 3.4 – Нормализованный граф идеализированного процесса управления пожаротушением мобильными средствами

286, 340, 341], т. е.  $zt_j^0 \in P^0$ , таким образом  $\tau_i = 1, i = \overline{1, \tau_i}$ ;

– отношение “глубины”  $D$  обозначим как  $D^0$ , тогда:

$$\{zt_i^0 \cdot D^0 \cdot zt_{(i+1)}^0, i = \overline{1, \tau_i - 1}, i = \overline{1, \tau_i}\} = D_1^0, \quad (3.14)$$

$$\{zt_i^0 \tau_i \cdot D^0 \cdot zt_j^0 \Leftrightarrow zt_i \cdot D \cdot zt_j^0, (zt_i, zt_j) \in D\} = D_2^0. \quad (3.15)$$

Из этого можно заключить, что  $G^0 = [T^0, D^0]$  в свою очередь представляет собой ациклический граф управленческих задач при тушении пожара с совокупным количеством узлов  $T_0 = \sum \tau_i, i = \overline{1, \tau_i}$ .

Задача построения наилучшего решения ( $YR^0$ ) на графе  $G^0 = [T^0, D^0]$  заключается в свою очередь в поиске некоторого количества непустых подмассивов,  $YR : T_1^0, T_2^0, \dots, T_{\tau}^0, \dots, T_{\tau G^0}^0$  при ограничениях:

$$\cup T_{\tau}^0 = T^0, \tau = \overline{1, T_{\tau G^0}^0}, \quad (3.16)$$

$$T_{\tau_1}^0 \cap T_{\tau_2}^0 = \emptyset, \tau_1, \tau_2 = \overline{1, T_{\tau G^0}^0}, \tau_1 \neq \tau_2, \quad (3.17)$$

$$pr^{(r)}(T_{\tau}^0) = \sum_{zt_i^0 \in T_{\tau}^0} pr_i^{(r)} \leq pr_0^{(r)}, r = \overline{1, 5}, \quad (3.18)$$

$$\left( zt_1^0 \in T_{\tau_1}^0, zt_2^0 \in T_{\tau_2}^0, zt_1^0 D_2^0 zt_2^0 \right) \mid \tau_1 \leq \tau_2, \quad (3.19)$$

$$\left( zt_1^0 \in T_{\tau}^0, zt_1^0 D_1^0 zt_2^0 \right) \mid zt_1^0 \leq T_{\tau+1}^0, \quad (3.20)$$

Задачу минимизации ( $T_{G^0}$ ) с учётом ограничений (3.16)–(3.20) можно представить как задачу определения наикратчайшего пути между двумя вычлененными узлами (стартового и финишного) графа  $\Gamma = [D, B]$  (рис. 3.3), тождественно идентифицируемую с помощью графа  $G^0 = [T^0, D^0]$ .

Узлами графа  $\Gamma$  обозначаются все возможные по нормативно-распорядительным документам [175, 178, 185, 205, 317, 382, 383] подмассивы  $zt_i$ ,  $i = \overline{1, \tau_i}$  ( $zt_0 = \emptyset, zt_i = T_o^{(r)}$ ) узлов (простейшие управленческие задачи при тушении пожара) графа  $G^0$ .

Подмассив  $zt_i \in T^0$  узлов графа  $G^0$  будем именовать допустимым, когда одновременно с каждым узлом  $zt_{in}^0$  он включает все узлы  $zt^0 \tau_i$ , предшествующие  $zt_{in}^0$  в  $G^0$ :

$$(zt_{jn}^0 \in T_i^0) \wedge [(zt_{jy}^0, zt_{jn}^0) \in D^0] \Rightarrow zt_{jy}^0 \in T_i^0. \quad (3.21)$$

С каждым допустимым подмассивом  $T_i$  связан вектор:

$$PR(zt_i) = \sum_{zt_{iy} \in \Theta_i} pr_{iy}, \quad (3.22)$$

равнозначный сумме требований СиС всех управленческих задач при тушении пожара, находящихся в  $zt_i$ . Два узла  $\langle zt_z, zt_q \rangle$  сопряжены вектором (ребро)  $(zt_z, zt_q)$ , когда узел  $zt_z$  оказывается “собственным” подмассива узла  $zt_q$ :

$$zt_z \in zt_q, \quad (3.23)$$

$$\forall \left[ (zt_{jn}^0 \in zt_q) \wedge (zt_{iy}^0 D_i^0 zt_m^0) \right] \mid zt_{jy}^0 \in zt_z. \quad (3.24)$$

По-другому, любые предшественники отдельной простейшей управленческой задачи при тушении пожара из подмассива  $(zt_q)$  должны находиться в подмассиве  $(zt_z)$ , для любого

$$\left[ (zt_{jy}^0 \in zt_z) \wedge (zt_{iy}^0 D_i^0 zt_{jn}^0) \right] \mid zt_{jn}^0 \in zt_q \quad (3.25)$$

(ограничение непрерывности реализации управленческих задач при тушении пожара на «настоящем» пожаре);

$$PR(zt_q) - PR(zt_z) \leq pr_0 \quad (3.26)$$

(ограничение конечности СиС пожаротушения).

Рёбра графа  $\Gamma$  обоюдно однозначно соотнесены двум подмассивам управленческих задач при тушении пожара, заканчиваемых в примыкающие промежутки времени «единичной длины». Таким образом, когда реализация простейших управленческих задач при тушении пожара из подмассива  $(zt_z)$  оканчивается в момент времени  $(\tau)$  и существует ребро  $(zt_z, zt_q) \in B$ , тогда простейшие операции из подмассива  $(zt_z - zt_q)$  могут совершаться на отрезке  $[\tau, \tau + 1]$  времени.

Рёбра графа  $\Gamma$  обоюдно однозначно соотнесены двум подмассивам управленческих задач при тушении пожара, заканчиваемых в примыкающие промежутки времени «единичной длины». Таким образом, когда реализация простейших управленческих задач при тушении пожара из подмассива  $(zt_z)$

оканчивается в момент времени ( $\tau$ ) и существует ребро  $(z_{t_z}, z_{t_q}) \in B$ , тогда простейшие операции из подмассива  $(z_{t_z} - z_{t_q})$  могут совершаться на отрезке  $[\tau, \tau + 1]$  времени.

Нахождение наилучшего решения ( $YR = \text{Argmin } F(YR)$ ) состоит в определении соответствующего пути из стартового узла графа  $\Gamma$  в финишный:

$$\emptyset = z_{t_0} \rightarrow z_{t_1} \rightarrow \dots \rightarrow z_{t_z} \rightarrow \dots \rightarrow z_{t_z} = P_0^{(r)}, \quad (3.27)$$

складывающегося из наименьшего количества рёбер.

Алгоритм А6 генерирования совокупности потенциально возможных подмассивов состоит из нескольких итераций:

А6.1. Инициализация переменных. Инициализация массива  $(P_0^0)$ , управленческих задач при тушении пожара, не располагающего значениями предшественников. Каждый подмассив массива  $(P_0^0)$  является допустимым и  $z_{t_y} \in P_0^0$ , расценивается как выделенный.

А6.2. Инициализация направления обхода (на вызов или в расположение). Указывается «непосредственный потомок» потенциально возможных подмассивов  $(z_{t_z})$  как задач на тушение пожара, который является «непосредственным потомком», по крайней мере, одной задачи на тушение пожара из подмассива  $(z_{t_z})$ . Для  $z_{t_z}$   $n$ -го этапа ( $n \geq 1$ ) его «непосредственные потомки» группируются в список  $C_2(n)$ .

Для каждого подмассива  $P_n^0 \in C_2(n)$ ,  $z_{t_{nz}} \cup P_n^0$  существует допустимый подмассив  $(n + 1)$ -й итерации.

А6.3. Анализ условий. Когда на  $n$ -й итерации все возможные подмассивы сгенерированы, тогда каждая управленческая задача при тушении пожара в  $C_1(n) \in C_2(n - 1)$ , становится выделенной:

А6.3.1. Анализ условий. Если все простейшие управленческие задачи при тушении пожара выделены, поиск и формирование возможных подмассивов завершается.

А6.3.2. Анализ условий. Конечное количество итераций не превышает число порций времени в последовательности оперативно-тактических действий,

обеспечивающих скорейшее завершение тушения пожара графа  $G^0 = (T^0, D^0)$ . Или по-другому, число узлов в максимальной по длине цепи:

$$zt_{i1} \rightarrow \dots \rightarrow zt_{iy} \rightarrow zt_{i(y+1)} \rightarrow \dots \dots \rightarrow zt_{in}, \quad (3.28)$$

причем,  $(zt_{iy}, zt_{i(y+1)}) \in D^0$ ;  $zt_{i1}$  не имеет предшественников, а  $zt_{in}$  не имеет потомков.

А6.4. Генерирование исходов. По достижении конца генерации создаются все допустимые, без дубля, возможные подмассивы.

А6.5. Завершение работы алгоритма.

Главной трудностью при создании алгоритмов на графе  $\Phi$  является то, что суммарное значение  $A$  возможных подмассивов в действительности может быть больше, чем возможности тех вычислительных средств, которые используются на месте пожара, ввиду этого центральной задачей становится бережливое отношение к вычислительным ресурсам и «четкий» анализ возможных значений в подмассивах.

Для этого, применяя динамическое упорядочение оперативных управленческих задач при тушении пожара, возможно исключение ряда показателей из возможных подмассивов в том случае, если:

использовать особые автономные правила, оперирующие сведения о продолжительности, а также «отношения предшествования» управленческих задач при тушении пожара (1 правило), а также о возможности затребования этими задачами СиС пожаротушения (2 правило);

достигнут параллелизм, насколько это возможно, операций формирования и исследования возможных подмассивов с функциями динамического программирования (3.31).

Применение правил заключается в принятии решения о допустимости применения значения ( $\tau$ ) из предложенного множества вариантов и обнаружение как минимум единственного решения ( $YR$ ) удовлетворяющей продолжительности. При этом при поиске изымаются из анализа некоторые допустимые значения из подмассива, не относящиеся к пути  $(zt_0 \rightarrow zt_z)$  с продолжительностью ( $P_{G0} \leq \tau$ ), и также они не могут быть предшественниками допустимого подмассива.

Правило 1 (рис. 3.5). Любым методом [384–386] вычисления необходимых параметров сетевых графов подсчитывают максимально возможные промежутки реализации отдельной простейшей управленческой задачи при тушении пожара ( $t_{\max}$ ), графа ( $G^0$ ), с учётом того, что они выполняются не позже чем ( $\tau$ ). Простейшие управленческие задачи при тушении пожара, у которых  $t_{\max} \leq \tau$ , объединяются в подмассив  $C_\tau$ .

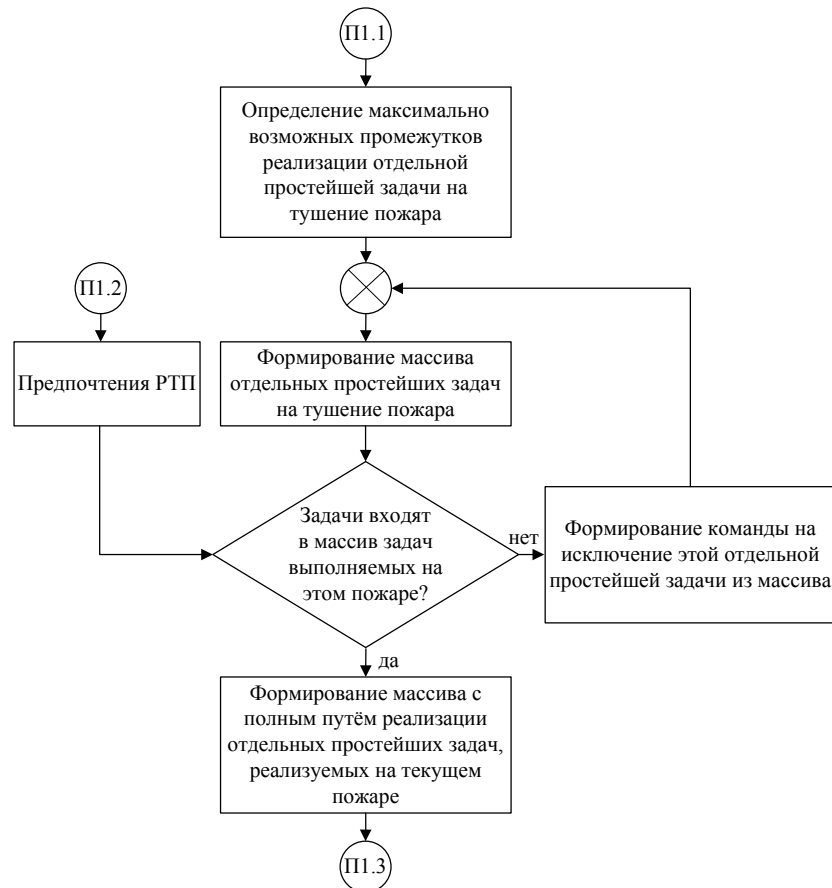


Рисунок 3.5 – Блок-схема алгоритма 1 правила

В связи с тем, что ребра графа соразмерны единицам времени, тогда содержимое допустимого подмассива  $z_t$   $n$ -й итерации соответствует управленческой задаче при тушении пожара из подмассива  $C_n$ . Иначе содержимое этого подмассива не может соотноситься к полному пути  $z_{t_0} \rightarrow z_t$  продолжительностью  $P_{G_0} \leq \tau$ , поэтому, когда  $C_n \notin z_t$ , то  $z_t$  можно удалить, с учётом того, что потомки  $z_t$  автоматически удаляются.

Примечание к правилу 1. В графе  $\Gamma$  количество рёбер в пути из узла  $z_{t_0}$  в

узел  $zt_z$ , определённое на  $n$ -й итерации формирования допустимого подмассива, не больше  $n$  (3.28).

Правило 2 (рис. 3.6). Обладая необходимым объёмом ресурсов пожаротушения мобильными средствами для реализации допустимых задач на пожаре  $G^0$ , возможно для каждого промежутка  $\tau \in [0, t]$  найти такое минимально возможное количество ресурсов каждого типа, что требуется потратить в допустимом промежутке времени  $[0, t]$ , для того чтобы общие объёмы СиС на нереализованные управленческие задачи при тушении ко времени  $(t)$  были бы способны в промежутке  $[t + 1, t]$  удовлетворить их.

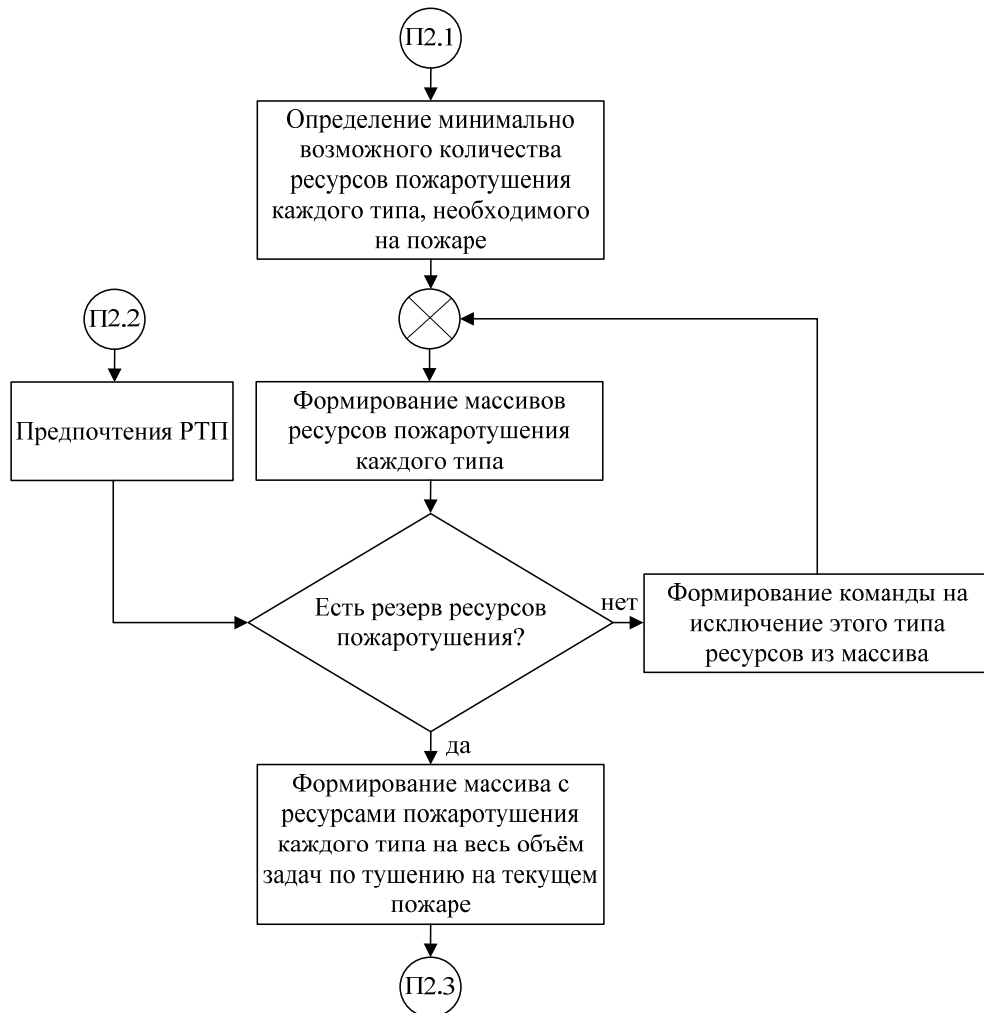


Рисунок 3.6 – Блок-схема алгоритма 2 правила

Когда  $PR^{(j)} = \sum_{zt_i^0 \in P^0} pr_i^{(j)}$ ,  $j = \overline{1, J}$  – это всё количество использования СиС



пожаротушения  $j$ -го типа на весь объём управленческих задач по тушению пожара графа ( $G^0$ ), тогда вектор, описывающий минимально необходимое количество применения ресурсов любого типа на единичном отрезке времени  $\tau$ ,  $\tau = \overline{1, T}$ , в том случае, если все управленческие задачи при тушении пожара ( $G^0$ ) будут заканчиваться не позднее  $\tau$ , и он примет вид:

$$PR_{\tau \min} = \{PR_{\tau \min}^{(j)}\} = \{\max[0, PR^{(j)} - (P^{(r)} - \tau)pr_0^{(j)}]\}, \quad j = \overline{1, J}. \quad (3.29)$$

Для программной реализации процесса динамического программирования, уравнение постановки управленческой задачи при тушении пожаров, состояния которого сформированы узлами ориентированного графа ( $\Gamma$ ) и управления сформированы рёбрами [344, 374, 376]:

$$P_n(q) = \min \left\{ \min_{zt_z \in A_{n-1}} [zt_{z^1q} + P_{n-1}(A^1)]; \min_{zt_z \in A_n} [zt_{a^2q} + P_{n-1}(A^2)] \right\}, \quad (3.30)$$

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

где  $P_n(q)$  – протяжённость наикратчайшего пути из узла  $zt_0$  в узел  $zt_q$ , определённая на  $n$ -м шаге;  $A_n$  – массив допустимых подмассивов  $zt_z$   $n$ -го шага, относящихся к наикратчайшему пути  $zt_0 \rightarrow zt_z$  и включающему не более чем  $\tau_{\min}$  ребер, сформированных в соответствии выполнения неравенства  $PR(zt_z) \geq PR_{n \min}$ ,  $C_n \subseteq zt_z$ , с учётом того, что  $n(a) = P_n(a)$ ;  $e$  – значение первого по расположению узла ( $n-1$ )-го шага;  $\partial$  – 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  $zt_q$ , при выполнении условий 3.23–3.26, принимает значение 1, а в противном случае  $\infty$ .

Таким образом, можно ограничиться узлами из перечня  $A_{n-1}$  и также уже сформированными узлами из перечня  $A_n$  для заново сформированного узла  $zt_q$  на  $n$ -м шаге поиска узлов  $zt_z$ , из которых выходят рёбра образца  $(zt_z, zt_q)$ .

Сущность метода распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий заключается в определении необходимости определённых сил и средств пожаротушения для реализации

конкретных управленческих задач при тушении пожара.

Методика его применения заключается в анализе комбинаторных возможностей выбора управленческого решения с использованием интерактивного режима коммуникации «человек (РТП) – ЭВМ (база знаний)» обеспечивающего принятие рационального управленческого решения за «приемлемое время» путём «диалога» с базой знаний.

### **3.3. Алгоритмы принятия решений при оперативном управлении пожаротушением**

#### **3.3.1. Алгоритм принятия управленческого решения**

С учетом структурно-функциональных особенностей управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара и специфики решения задач управления и принятия решений по ведению оперативно-тактических действий разработан алгоритм А7 принятия управленческого решения ( $\langle AR, YR \rangle$ ) (рис. 3.7):

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

А7.2. Инициализация параметров объекта управления. Выбор принципа предпочтения РТП ( $III$ ); значения целевой функции пожаротушения ( $F_u$ ).

А7.3. Предварительный расчёт. Генерация: массива возможных управляющих воздействий ( $B^C(\phi) \in B'$ ); возможных ситуаций в соответствии с воздействиями ( $\phi \in C_0$ ).

А7.4. Генерация первичного решения РТП. Начало перебора ( $N = 1$ ). Инициализация начального решения ( $YR^0 = YR^0(\phi_0) \in B^C(\phi_0)$ ).

А7.4.1. Условие (корректировки принципа предпочтения). Если не первый шаг ( $N > 1$ ), то частичное изменение решения РТП ( $YR^0 = YR^0(\phi_0) \in B^C(\phi_0)$ ).

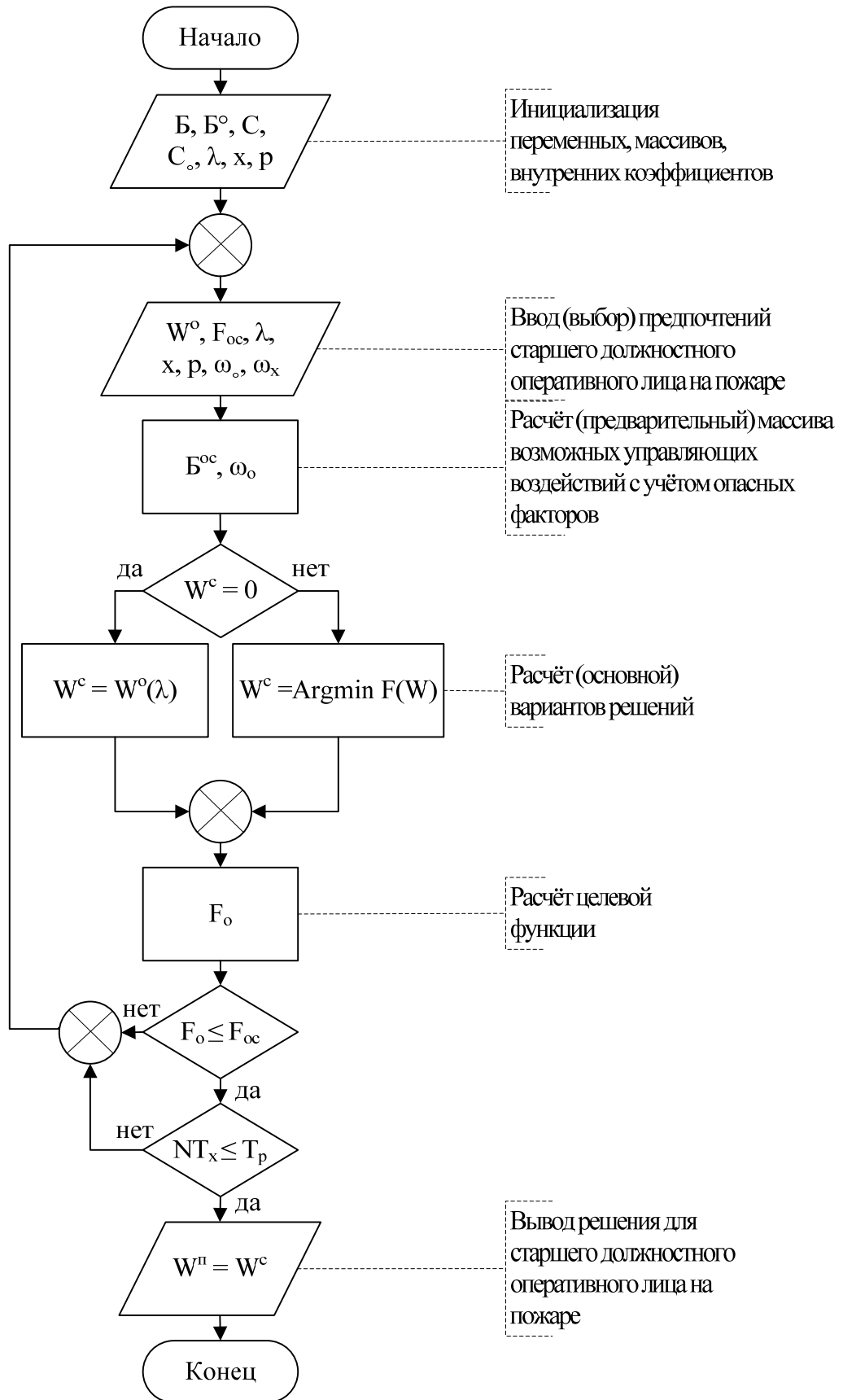


Рисунок 3.7 – Блок-схема алгоритма принятия решений при управлении пожарно-спасательными подразделениями на пожаре

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 ( $F = F_{\text{ц}}\{YR[\varphi(r_i)], \phi\}$ ).

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.

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.

Из вышеприведённого следует, что для алгебраической структурно-функциональной модели управления при ведении оперативно-тактических действий представлен алгоритм, определяющий пошаговую и циклическую процедуру выбора рационального решения на выработку управляющего воздействия на СиС пожарно-спасательных подразделений при тушении пожара.

В соответствии с описанием этой модели решение задач управления пожарно-спасательными подразделениями и принятия решений при тушении пожара необходимо реализовывать на двух уровнях управления, пошагово:

1 шаг. Старшее оперативное должностное лицо на пожаре управляет

действиями начальника участка тушения по принципу координации взаимодействий по преобразованию локальной целевой функции  $F_i(AR_i, YR_i, \phi_i)$ ,  $i = \overline{1, I}$ , используя результаты минимизации основной целевой функции  $F_y = F_i\{AR[\phi(r(i))], \phi\}$ , с учетом формирующейся обстановки на пожаре, через приоритетные коэффициенты  $\phi = \varphi(r_i)$ ,  $r = \overline{1, 5}$ ,  $i = \overline{1, I}$ .

2 шаг. Начальник участка тушения управляет действиями личного состава в соответствии внешним воздействием  $YR^o$  (команды руководителя тушения пожара).

Тем самым осуществляется дробление и упорядочение оперативно-тактических действий с учётом массива управленческих задач при тушении в зависимости от слоёв иерархии управления, при использовании результатов минимизации локальных целевых функций,  $F_i(AR_i, YR_i, \phi_i)$ ,  $i = \overline{1, I}$ , с учетом формирующейся обстановки на пожаре.

Реализуемая руководителем тушения пожара задача модификации и координации принадлежит к категории задач многокритериальной оптимизации. Эти задачи характеризуются расплывчатостью в выборе цели поиска наилучшего варианта при выбранных требованиях и ограничениях [387, 388]. Формализовать её можно несколькими алгоритмами, реализующими правила процесса нахождения некоторой цели, имеющей возможность принимать качественно различные состояния. Достижение цели осуществляется как при минимальной, так и при максимальной неопределенности в её выборе. Если в качестве исходных данных вводятся все данные граничных условий, выбирается принцип предпочтений и логика внесения поправок в принцип предпочтений, то алгоритмы реализуют систематически повторяющиеся циклы. Если в качестве исходных данных вводятся неполные данные граничных условий, выбирается некоторый типовой принцип предпочтений и логика внесения поправок в порядок принципов предпочтений, то алгоритмы реализуют циклические вычисления с возможностью корректировки исходных данных.

### 3.3.2. Алгоритм упорядочения частных управленческих решений

Формализуем алгоритм, реализующий начальную ступень неопределённости в нахождении цели управления (рис. 3.8).

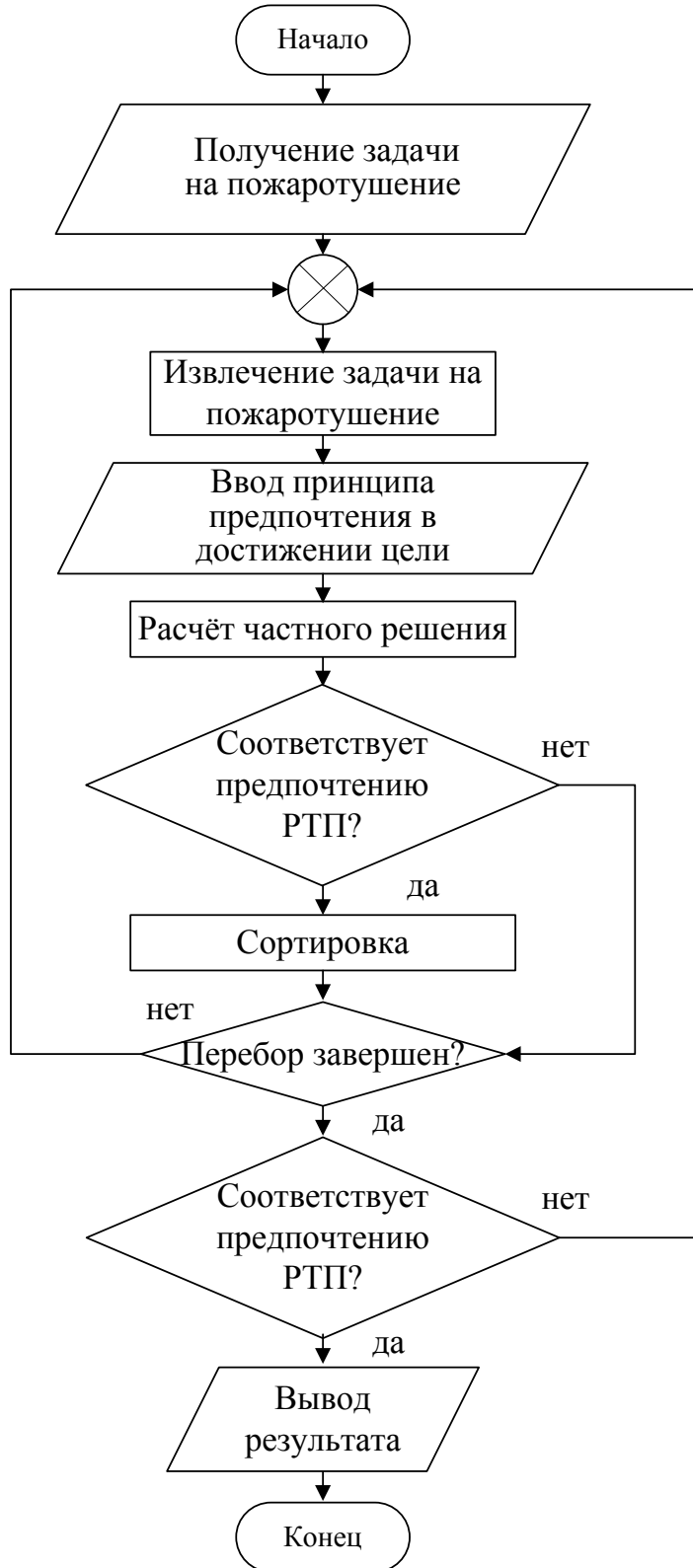


Рисунок 3.8 – Блок-схема упорядочения частных управленческих решений

Иными словами, исходные данные для расчётов содержат полную информацию, требуемую для решения выбранной управленческой задачи определения некоторой цели пожаротушения мобильными средствами, в том числе:

комплект частных целевых функций вида:

$$F_i[AR(YR)], \quad i = \overline{1, I}; \quad (3.31)$$

зону согласованных  $ZR$  и локализованных решений как условий:

$$F_i < F_i^u, \quad i = \overline{1, I}; \quad (3.32)$$

где  $F_i^u$  – предпочтительные показатели частных целевых функций, являющиеся результатом их минимизации на уровне пожарно-спасательного подразделения (караул, отделение, звено и т. п.), не включающие в себя значения других частных целевых функций;

условия преобразования показателей частных целевых функций:

$$\{F_i^u\} \longrightarrow \{F_i^u + 1\}, \quad i = \overline{1, I}, \quad (3.33)$$

(когда на  $n$ -м шаге генерации значений показатель ( $F_i^u$ ) не входил в зону согласованных и локализованных решений, т. е.  $ZR = \emptyset$ ).

Управленческая задача, решаемая алгоритмом. Поиск значения  $AR(YR^0)$ , гарантирующего определение вектора (заключительного элемента)  $F_o[AR(YR^0)] = \{F_1[AR_1(YR^0)], \dots, F_i[AR_i(YR^0)]\}$  в зону согласованных и локализованных управленческих решений ( $ZR$ ).

Исходные данные: набор коэффициентов ( $k_i$ ), выражающих уровень корреляции частных ( $F_i, i = \overline{1, I}$ ) целевых функций к максимально приближённым предпочтительным показателям частных целевых функций ( $F_i^u$ ) и уровень убывания при уменьшении показателей всех частных целевых функций с увеличением количества циклов определения экстремума,  $i$ . Уменьшение значений ( $k_{i, N}$ ) до крайних её показателей характеризует усиление условий ко всем частным целевым функциям, и различная скорость уменьшения  $Bk_i$

отдельных коэффициентов  $k_{i,N}$  осуществляет иницирование принципа предпочтения:

$$k_i^r : \lim_{N \rightarrow \infty} (k_{i,N}) = k_i^r, \quad i = \overline{1, I}. \quad (3.34)$$

То есть определённые (иницированные) принципы предпочтений осуществляются после инициализации: исходных значений коэффициентов ( $k_{i,1}$ ); шага ( $n = 1$ ); темпа убывания  $Bk_i$ ; максимальных величин параметров,  $k_i^r$ ; принципа предпочтения в виде матрицы предпочтений ( $M = [a \times b]$ ), где  $n$  – количество частных целевых функций и  $l$  – число показателей,  $Bk_i, k_i^r, Bk_{i,1}$ , воздействующих на решение.

С целью сокращения времени на внесение изменений при моделировании управления решением можно создать набор принципов предпочтения в виде матриц предпочтений ( $M_1, M_2, \dots, M_n$ ) или предопределённое выражение отношения  $F$ , позволяющее реализовать трансформацию из одного принципа предпочтения в другой:

$$M_{n+1} = F(M_n). \quad (3.35)$$

В том случае, когда выражение отношения  $F()$  отображает линейную модификацию, в том числе с использованием матрицы  $G = [n \times n]$ , из  $M_n$  в  $M_{n+1}$ , тогда, построив (разместив столбцы один под другим) на основе столбцов матриц  $M_n$  и  $M_{n+1}$  комбинированные векторы  $Y_{n+1}$  и  $Y_n$ , можно записать:

$$y_{n+1} = (G \times I) y_n = \bar{G} y_n, \quad (3.36)$$

где  $I$  – матрица (единичная);  $\times$  – символ прямого произведения матриц.

Выражение отношения  $X$  может осуществлять отображение не только линейно, но и комбинаторно [344, 378], например:

$$Y_{n+1} = G^n Y_n + G^{n-1} Y_n + \dots + Y_n. \quad (3.37)$$

При значительных величинах  $l$  и  $n$  только на формирование значения  $G$  из (3.36) необходимо извлечение немалого количества данных, в первую очередь от старшего оперативного должностного лица на пожаре, в связи с этим слишком многообразные выражения, наподобие (4.38), применять в действительности на пожарах пока нерационально.



На стадии решения поставленной задачи нет потребности в задействовании оператора ЭВМ, так как вся процедура решения целиком автоматизируется, при этом нечёткость в отборе из альтернатив цели решения поставленной задачи заключается в том, что план упорядочения в порядке решения может модифицироваться оператором ЭВМ (РТП, НШ, сотрудник штаба пожаротушения) по необходимости. Пространство условий трансформации цели включает ограниченную счетную или непрерывную несчётную совокупность возможных планов. В том случае, если  $n = 1$ , сформулированная задача перерождается в задачу с “абсолютной нечёткостью” [344] в принятии решения о цели.

Таким образом, в алгоритм, осуществляющий план нахождения управленческого решения  $|F_o - F_o^y| \leq \sigma$  с заданной точностью ( $\sigma$ ) решения задачи упорядочения частных управленческих решений по иерархии подчинённости пожарно-спасательного подразделения и (или) должностных лиц на месте пожара, а также прилегающей к нему территории, можно добавить следующее.

А8.1. Инициализация переменных. Весовых показателей  $k_i$  частной целевой функции  $F_i(YR^o = k, AR_i)$ ,  $i = 1, k_i \neq 0$ . Шага цикла ( $n = 1$ ).

А8.2. Выбор принципа предпочтения в достижении цели из набора.

А8.3. Сравнение. В том случае, если не первый шаг, возможно изменение условий (3.33) принципов предпочтений и изменение весовых показателей и коэффициентов:  $k_{i+1} \neq 0, k_i = 0$  до достижения  $i = n + 1$ .

А8.4. Тело цикла. «Свертка» вектора частной целевой функции с целью получения скалярной величины главной целевой функции:

$$F_o[AR(YR^o)] = F_o\{F_i, k_i\}, i = \overline{1, I}. \quad (3.38)$$

А8.5. Сравнение 1. При выполнении условия:

$$F_o[AR(YR^o)] = F_i, i = \overline{1, I}; \quad (3.39)$$

для всех частных целевых функций переходим на шаг А8.3.

В противном случае: А8.5.1. Происходит увеличение шага цикла и продолжится нахождение крайних значений (3.39) с помощью любых численных

оптимизационных методов («случайного поиска», «релаксационного», «градиентного» и др.), но с обеспечением условия дискретности допустимых альтернатив принятия решения  $AR$ .

A8.5.2. Осуществляем изменение значения  $i$  до достижения  $i = n + 1$ , для частных целевых функций,  $n = N$ .

A8.6. Сравнение 2. Если решение не найдено:  $ZR = \emptyset$ , то увеличивается значение шага цикла и переходим к п. A8.3, и изменяем весовые показатели с учётом (3.33).

В противном случае, решение найдено. Определены значения  $YR(AP) \in ZR$  и показатель  $F_o^u$ .

A8.7. Вывод результатов для его оценки оператору.

A8.8. Сравнение 3. Если решение найдено, но оно оказывается не соответствующим предпочтениям старшего оперативного должностного лица на пожаре, т. е. одной или несколькими частными целевыми функциями, то переходим к п. A8.2.

В противном случае, решение найдено. Завершение работы алгоритма.

Из-за сложности определения шага корректировки весовых показателей, в первую очередь, связанной нелинейными изменениями в поведении основной целевой функции, целесообразно в информационно-математическое обеспечение процесса упорядочения решений добавить алгоритмы генерации и обновления показателей значений  $k_i(F_i^u, \Delta F_i^u)$ . Это позволит старшему оперативному должностному лицу на пожаре или другому, управляющему процессом поиска решения определиться с требованиями к критериям решения в понятиях возможного дрейфа от наилучшего и их модифицировать.

Сходимость этого алгоритма осуществляется применением предельных массивов исходных данных, а массовость – допустимостью применения разного рода частных целевых функций, видов их сверток, а также численных оптимизационных методов.

Возможность циклически повторять этот алгоритм упорядочения частных управленческих решений с учётом предпочтений оператора, т. е. реализация «диалога «Человек – Персональный компьютер» позволяет более эффективно готовить документы предварительного планирования.

### 3.3.3. Алгоритм генерирования управленческих решений

Опишем следующую ступень нечёткости в определении цели управления пожаротушением мобильными средствами, точнее сказать при формулировке управленческой задачи не формализованы принципы предпочтения, содержащиеся в матрице предпочтений  $MP$ , в такой же мере не определено правило корректировки принципа предпочтения, как и условие преобразования  $MP_N$  в  $MP_{N+1}$ .

При условии ( $MP = MP_N$ ), когда на предшествующем шаге цикла решение, соответствующее принципам предпочтения  $MP_N$ , не найдено, в этом случае для поиска подобных управленческих задач требуется осуществить исследование, цель которого в результате общения с программой (компьютером) формализуется в набор предпочтения в виде матриц  $MP_1, MP_2, \dots, MP_j, \dots$ .

В связи с тем, что конечное решение задачи управления однозначно взаимосвязано с типом матрицы предпочтений, не обязательно при организации цикла запускать задачу оптимизации для регенерации хронологии предпочтений  $MP_1, MP_2, \dots, MP_j, \dots$  всякий раз. Поэтому целесообразно составить подфункцию генерирования стохастических ответов  $AR^{(1)}, AR^{(2)}, \dots, AR^{(j)}$ , содержащую очерёдность наборов частной целевой функции:  $F_1^{(1)}, \dots, F_n^{(1)}; F_1^{(2)}, \dots, F_n^{(2)}; F_1^{(j)}, \dots, F_n^{(j)}; \dots$ , а также соответствующую им очерёдность расположения матриц  $MP_1, MP_2, \dots, MP_j, \dots$ . Полученные ответы анализирует старшее оперативное должностное лицо на пожаре и изымает (не физически) совершенно недопустимые. Затем, если позволяет время, ранжирует результаты и составляет очерёдность расположения матриц  $MP_1, MP_2, \dots, MP_j, \dots$  в массиве. Как бы то ни было, получается массив предпочтений (объективных и субъективных)

лица, принимающего решение, содержимое которого при проверке на качество этим же лицом при определённых условиях может оказаться неудовлетворительным. Экспертное мнение также будет неоднозначно.

Для того чтобы этого избежать, необходимо сформировать ещё одну подфункцию начальной оценки предпочтений:

A1. Инициализация. Принятие из внешней функции начального набора предпочтений  $MP_1, MP_2, \dots, MP_j, \dots$  и решений. Задание точности расчёта  $\sigma$ .

A2. Расчёт.

A2.1. Формирование массива модифицированных наборов частной целевой функции:

$$F_l^{(1)} + \zeta_{ls}^{(1)}, \dots, F_n^{(1)} + \zeta_{ns}^{(1)}; F_l^{(2)} + \zeta_{ls}^{(2)}, \dots, F_n^{(2)} + \zeta_{ns}^{(2)}; F_l^{(j)} + \zeta_{ls}^{(j)}, \dots, F_n^{(j)} + \zeta_{ns}^{(j)}, \quad (3.40)$$

где  $\xi_{ns}^{(j)}$ ,  $n = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, J}$  – ряд несвязанных и несистематизированных значений.

Эти величины по своему абсолютному значению достаточно малы в сравнении с показателями частной целевой функции.

A2.2. Формирование массива наборов значений для A2.1. Индексация набора предпочтений  $MP_1^s, \dots, MP_n^s$ ,  $n = \overline{1, N}$ , значением  $s = \overline{1, S}$ . Параметр  $s$  извлекается из п. A1, т.е. определяет порядок предпочтений старшего оперативного должного лица на пожаре.

A3. Сортировка. Проиндексированный набор предпочтений  $MP_1^s, \dots, MP_n^s$  сортируется и аппроксимируется любым методом:

$$\overline{MP}_i^s = q \overline{MP}_i^{s-1} + (1-q) \overline{MP}^s, \quad i = \overline{1, I}. \quad (3.41)$$

A3.1. Создаётся массив аппроксимированных матриц предпочтений  $\overline{MP}_i^s$ ,  $i = \overline{1, I}$ .

В том случае, если существует ограничение в памяти компьютера, то можно для трансформации значения  $\overline{MP}_i^s$  в  $\overline{MP}_{i+1}^s$  использовать из (3.36)  $\overline{G}$ .

A4. Сравнение. Если достигнута заданная точность  $\sigma$  и  $MP \Rightarrow \overline{MP}_i^s$ , то завершение сортировки. В противном случае переходим к п. A3.

Результатом вычислений этой подфункции является массив, содержащий закономерность трансформации принципов предпочтения, который может быть использован при порождении главных правил предпочтения.

В частном случае, если при инициализации переменных определены принципы предпочтения, формализованы требования к принципам предпочтения, занесённые в матрицу предпочтений  $M$ , то эта матрица может применяться в качестве первообразной для формирования набора матриц  $MP_1^s, \dots, MP_n^s$ , содержащей последовательность трансформации принципов предпочтения. Подфункция, предназначенная для реконструкции последовательность трансформации матриц  $MP_1^s, \dots, MP_n^s$ , реализуется посредством пошаговой процедуры случайного выбора:

$$MP_j \rightarrow (MP_{j,i}), MP_{j,i} = MP_{j-1} + \sum_{j-1,i}, MP_{j=1} = MP, i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}, \quad (3.42)$$

где  $MP_j \rightarrow ( )$  – символ, определяющий принятие старшим оперативным должностным лицом на пожаре одного значения из массива матриц предпочтения  $MP_{j,i}$ , созданных матрицей случайного выбора  $\sum_{j-1,i}$ ;  $\sum_{j-1,i}$  – матрица случайного выбора, содержащая случайные значения;  $i$  – порядковый номер случайного воплощения матрицы.

Приведённые алгоритмы пошагового принятия управленческих решений характеризуются такими атрибутами, как результативность, массовость и сходимость на всём массиве задач упорядочения, устанавливаемые базовыми правилами (3.32, 3.33). Применение предельных значений показателей элементов матриц предпочтений обеспечивает сходимость, а неизменность типов частной целевой функции и подчинённости, организующей порядок модификации принципов предпочтения, гарантирует массовость алгоритма.

### 3.4. Модель достаточности сил и средств пожаротушения

В числе перспективных требующих реализации направлений по обеспечению пожарной безопасности выделяется снижение риска пожаров до экономического и социально-приемлемого уровня [389, 390].

Необходимость реализации этого направления ни при каких условиях невозможно считать неожиданной, так как в начале XXI века “предполагается завершить перевод страны на управление безопасностью по критериям риска, когда в основу системы управления безопасностью в целом и пожарной безопасности в частности должна быть положена концепция “ненулевого риска” [389].

Предполагается, что после этого перехода краеугольным камнем эффективной разработки первоочередных действий по обеспечению пожарной безопасности объектов экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории будут требования разумности и рациональности принимаемых мер с учетом экономических возможностей и социальных факторов. Разработка первоочередных действий и планирование мероприятий будут сопровождаться решением задачи поиска баланса между ожидаемой выгодой и затратами, а также уменьшения ущерба.

Общеизвестно, “что чем больше средств тратим на обеспечение безопасности, тем меньше потери. Однако эффективность затрат снижается с их увеличением. При больших затратах они начинают превышать потери” [390–392]. Безусловно, что разумность этих затрат можно поставить под сомнение. Правильнее употребить долю этой суммы для непосредственного покрытия потерь. Графическая интерпретация соотношения зависимости экономических затрат на обеспечение степени безопасности к её уровню приведена на рисунке 3.9 [393].

Следовательно, разрабатываемые модели и алгоритмы решения задач управления и принятия решений на обеспечение пожарной безопасности объектов экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории

должны обеспечивать рациональное соответствие материальных расходов потерям от пожаров и загораний с учетом экономических возможностей и социальных факторов. “Государственная политика в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов основывается, в частности, на соблюдении баланса экономических, экологических и социальных интересов” [394, 395], но анализ [168, 242, 359, 396–402] позволяет считать, что некоторые классы лесных пожаров на определённых территориях, а также ущерб от них ассоциируется с неполностью допустимым и исключённым лесопожарным риском, и при этом необходимо незамедлительно генерировать принятие управленческих решений при тушении соответственно индивидуальной “оценке ситуации и субъективному восприятию риска ответственными за решения лицами” [390].

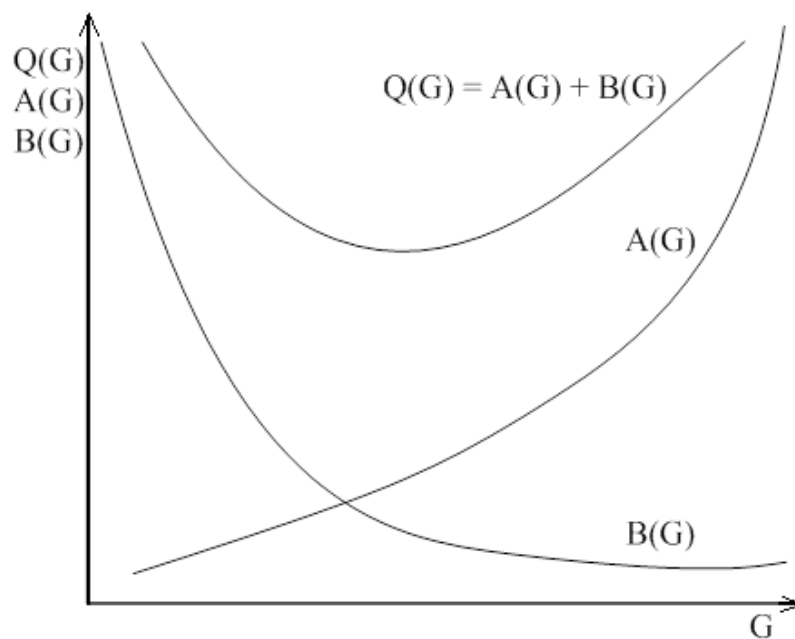


Рисунок 3.9 – Зависимость функций  $Q(G)$ ,  $A(G)$  и  $B(G)$  от  $G$ :  $A(G)$  – изменение экономических затрат на обеспечение определенной степени безопасности объектов экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории;  $B(G)$  – изменение экономического соответствия ущерба соразмерно увеличению степени безопасности объектов экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории;  $Q(G)$  – изменение обобщённых экономических расходов;  $G$  – уровень безопасности объектов экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории

Поэтому разработку модели и алгоритмов решения задач управления и принятия решений по достаточности сил и средств, проведём на примере решения задач управления пожарно-спасательными подразделениями и принятия решений по тушению пожаров на открытой местности (лесной пожар).

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, формируется решение об окончании и (или) перерыве в работах при тушении пожара.

Рассмотрим существующую организационную систему предупреждения, обнаружения, локализации и тушения пожаров на открытой местности, включающую ряд базовых положений: опасность возникновения пожаров на открытой местности; несвоевременность обнаружения пожаров на открытой местности; несвоевременность локализации и ликвидации пожаров на открытой местности; приемлемая пожароопасность; расчётное обоснование достаточности СиС для решения задач управления по локализации пожара на открытой местности.

### **3.4.1. Организационная система управления при пожаротушении на открытой местности**

#### **Опасность возникновения пожаров на открытой местности**

Опасность возникновения пожаров на открытой местности зависит от лесорастительных условий и условий погоды, антропогенной нагрузки и



количеством молниевых разрядов на единицу площади рассматриваемых территорий.

При этом “деятельность человека является причиной возникновения пожаров в 85...90 % случаев, молния в 10...15 % случаев. В целом более 75 % посетителей лесов выполняют правила пожарной безопасности в лесу. Остальная часть посетителей “халатно и безразлично относится к проблеме сбережения лесных богатств” [403]. Рассматриваемый вид пожаров, как правило, происходит около населенных пунктов, вдоль объектов транспортной инфраструктуры (автомобильные и железные дороги, берега судоходных рек и т.п.), при ведении хозяйственной деятельности в лесорекреационных зонах.

Адекватные приёмы и способы эффективного воздействия на посетителей лесов с целью снижения пагубного человеческого воздействия не установлены. “Не все граждане восприимчивы к противопожарной пропаганде. Нейтрализовать или минимизировать нарушения правил пожарной безопасности до безопасного уровня в настоящее время не удастся” [390]. Перекрытие дорог, ведущих к лесу, установкой различного вида шлагбаумов и информационных щитов, предостерегающих о пожарной опасности, организация кордонов и пикетов из работников лесного хозяйства и полиции не обеспечивают сохранность лесов.

Таким образом, возможность возникновения пожаров на открытой местности сохраняется в течение всего пожароопасного сезона, а по причине вероятностного характера распределения пожаров требуется держать под контролем большие территории, не зная, где произойдет пожар, поддерживая определённый уровень защиты.

### **Своевременность обнаружения пожаров на открытой местности**

На сегодняшний день охрану лесов от пожаров площадью в *млн га* осуществляют службы: наземной охраны лесов на 193,9 *млн га* (16,4 % площади лесов в России); наземной охраны лесов совместно с авиационной охраной лесов на 123,3 *млн га* (10,5 % площади лесов в России); авиационной охраной лесов на

557,8 млн га, (47,2 % площади лесов в России). При этом незащищаемая часть площади лесов составляет 15,9 % (305,6 млн га) площади лесов.

Для того чтобы стабилизировать состояние и динамику развития лесных пожаров на защищаемых лесных местностях, формируется и осуществляется наземное патрулирование, наблюдение с пожарно-наблюдательных пунктов и вышек, авиационное патрулирование и внедрение космических средств.

По имевшим силу в периоды 1998–2007 гг. и с 2008 г. по настоящее время требованиям [404, 405] формализуются порядок процедур по обнаружению лесных пожаров и последовательность их реализации в зависимости от уровня (класса) пожарной опасности в лесу, в соответствии с условиями погоды.

При I классе имеет место несвоевременное обнаружение и сопровождение как возникающих, так и действующих пожаров, которые до этого времени не были обнаружены. До 3 % случаев лесных пожаров (учёт нормального распределения пожаров) [403].

При II классе, при авиационном патрулировании допускается возможность обнаружения только спустя 1–2 дня возникших и ранее действующих пожаров. До 20 % случаев пожаров в лесах (учёт нормального распределения пожаров) [403].

При III классе, при авиационном патрулировании допускается возможность обнаружения пожаров на следующий день с момента их возникновения. До 45 % случаев пожаров в лесах (учёт нормального распределения пожаров) [403].

При IV классе, при авиационном патрулировании допускается обнаружение пожаров спустя 10 часов и более с момента их возникновения. До 75 % случаев пожаров в лесах (учёт нормального распределения пожаров) [403].

При V классе, при авиационном патрулировании допускается обнаружение пожаров спустя 5 часов и более с момента их возникновения в дневное время. До 100 % случаев всех лесных пожаров (учёт нормального распределения пожаров) [403].

Следовательно, действующий до 2008 г. и существующие в настоящее время порядок контроля над лесными пожарами допускает несвоевременность обнаружения пожаров.

### **Несвоевременность локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития**

Несвоевременные локализация и ликвидация пожаров на открытой местности на начальных этапах их развития в некоторых случаях допускаются рядом руководящих документов по тушению лесных пожаров. В соответствии с положением [406] основанием отнесения той или иной территории лесного фонда, а также не входящих в лесной фонд лесов к районам обслуживания наземными силами и средствами пожаротушения определено время, не превышающее 3-х часов прибытия их к месту пожара.

Вместе с тем согласно требованию [402, 407, 408]:

Если в районах, не обслуживаемых авиацией, пожар уже принял такие размеры и характер, что прибывших сил для быстрой его ликвидации явно недостаточно, руководитель тушения пожара немедленно ставит об этом в известность лесничество. После разведки пожара в лесничество передаются данные разведки и прогноз возможного распространения и развития пожара с указанием о необходимых дополнительных силах и средствах пожаротушения. При этом, как правило, следует планировать работы по тушению так, чтобы ликвидация (или, по крайней мере, локализация) пожара была закончена не позднее 10 часов утра следующего дня;

Если пожар действует днем в благоприятных для его распространения метеорологических условиях, а сил и средств пожаротушения недостаточно, необходимо перенести тушение на вечер.

Таким образом, руководящие документы в определенных случаях допускают возможность длительного развития лесного пожара до момента его локализации.

В случае недостатка имеющихся в лесничестве СиС локализации и ликвидации пожаров предусматривается привлечение дополнительных лесопожарных формирований, создаваемых из привлеченных сил и средств (работников лесного хозяйства и других организаций и учреждений, населения, транспортных средств местных предприятий, пожарной техники и т. п.).

Предопределённые дополнительные СиС лесопожарных формирований не пребывают в режиме постоянной готовности, и осуществить их оперативный выезд на пожаротушение не всегда удастся, поэтому процесс тушения пожара замедляется на неопределённое время.

В целом силами и средствами авиалесоохраны ликвидируется более 95 % лесных пожаров в районах авиационной охраны. В день обнаружения лесных пожаров парашютисты и десантники-пожарные обеспечивают тушение около 40 % пожаров, площадь которых составляет около 2 % площади всех пожаров. В течение двух дней обеспечивается тушение около 35 % лесных пожаров, площадь которых составляет около 3 % площади всех пожаров; в течение трех дней с момента обнаружения – 12 % лесных пожаров на площади, пройденной огнем, около 3...4 %; в период времени более трех дней – около 13 % обнаруженных пожаров, тушение которых обеспечивается на площади, пройденной огнем (около 92 %) [403].

Следовательно, в зоне авиационной охраны лесов тушение каждого 7...8 пожара продолжается более 3 дней с момента обнаружения.

Количество пожаров на открытой местности, вышедших из-под контроля, т. е. развитие лесных пожаров до стадии крупных ежегодно составляет более 3 % общего количества лесных пожаров. Относительная горимость лесов (отношение пройденной пожарами покрытой лесной растительностью площади, га, к охраняемой лесопокрытой площади, тыс. га) колеблется от 0,82 до 2,97. В северной тайге количество пожаров составляет около 20...25 % всего количества лесных пожаров, а по охваченной площади – 70...75 % всей площади, пройденной огнем [397].

Организационные причины, способствующие распространению пожаров на открытой местности, в большинстве случаев следующие [403]: несвоевременное обнаружение лесных пожаров (20 % пожаров обнаруживается в конце дня или на следующий день); несвоевременное начало тушения (к тушению 15 % пожаров приступают в конце дня или на следующий день); недостаточное количество сил и средств, направленных на тушение; непрофессиональное руководство организацией тушения.

Главными причинами неудовлетворительной организации работ по тушению пожаров на открытой местности являются [409, 410]:

- низкий уровень профессиональной подготовки руководителей тушения крупных лесных пожаров, отсутствие оперативности и недостаточная объективность принимаемых ими решений, слабый контроль над ходом работ по тушению, отсутствие особого внимания, уделяемого эффективности тушения огня на стыках участков структурных подразделений, отрядов привлеченных организаций и структур;

- не всегда корректная структурная организация сил и средств тушения, которая должна трансформироваться в зависимости от величины пожара, его сложности и наличия ресурсов пожаротушения;

- низкий уровень квалификации работников, занятых при тушении лесных пожаров, несоблюдение ими правил охраны труда и техники безопасности, когда на работу по тушению лесных пожаров привлекаются граждане, не прошедшие специальный инструктаж.

Таким образом, существующая система борьбы с пожарами на открытой местности допускает возможность несвоевременной локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития.

### **Приемлемая пожароопасность**

В связи с постоянной вероятностью возникновения пожаров на открытой местности, а также несвоевременного их обнаружения, локализации и ликвидации горения в лесу, требуется с научной точки зрения ответить на вопросы: каковы

должны быть приемлемые затраты на защиту лесов от пожаров и когда расходы на эти мероприятия не превысят потери? Решение задач управления и проводимые мероприятия обеспечат снижение возможности возникновения пожаров до экономического и социально-приемлемого уровня. Компромисс между затратами и ожидаемой выгодой реализует принцип разумной достаточности. Реализация любых мероприятий по охране объектов от пожаров требует затрат, которые не должны превышать получаемых в результате проводимых мер выгод и возможностей исполнителей.

Полагая, что обычный опыт тушения пожаров, накопленный как отдельными лицами, так и обществом в целом, отражает возможности лесопожарных формирований контролировать пожароопасную обстановку в лесу; рассмотрим в качестве примера основные итоги пожароопасных сезонов 2007 и 2015 годов [409, 410].

В 2007 году было зарегистрировано 17 812 пожаров, которыми пройдено 1036,1 *тыс га*. Ущерб от лесных пожаров в 2007 году составил 9,7 *млрд руб* или 9,4 *тыс руб* в расчете на гектар. В 2013 году – 9 744 пожара, которыми пройдено 1374,8 *тыс га*. Ущерб в 2013 году составил порядка 20 *млрд руб* или 14,5 *тыс руб* в расчёте на гектар. В 2014 году ущерб составил 23,6 *млрд руб* от 17 058 пожаров. В 2015 году огнем было пройдено 2,6 *млн га*. Предварительный ущерб за 2016 г., причиненный в результате 11 020 лесных пожаров, составил 21,8 *млрд руб*.

Конечный показатель результативности охраны лесов от пожаров – площадь лесов, сохраненных от пожаров. Это разница между фактической площадью лесов, пройденных огнем, и площадью, которая могла бы быть пройдена огнем, если бы меры по тушению не предпринимались. Размер предотвращенного ущерба определяют по разнице между потенциально возможным ущербом и фактическим ущербом от лесных пожаров. При расчете величины потенциального ущерба с определенным допуском можно использовать величину удельного ущерба на один *га* пройденной огнем площади (сумма убытков, деленная на площадь лесных пожаров).

Однако площадь, которая потенциально может быть пройдена лесными пожарами, не сообщается. Поэтому в работе оценка результативности охраны лесов от пожаров проведена по методике «от достигнутого уровня», полагаем, что эта методика отражает демографические, климатические, лесорастительные, социально-экономические условия жизни отдельных граждан и государства в целом, наш уклад, наши традиции, наш опыт восприятия риска, научно-технические, организационные и другие известные и малоизученные объективные и субъективные факторы, влияющие на обстановку с пожарами в лесу.

За последние годы из общей величины учитываемого ущерба (который можно оценить) от лесных пожаров 25–28 % приходится на стоимость сгоревшего и поврежденного на корню леса; 0,5–2 % – на стоимость сгоревших зданий, сооружений и заготовленной древесины; 31–33 % – на тушение; 27–29 % на очистку гарей и 11–14 % – на лесовосстановление. Ущерб, нанесенный пожарами экологии окружающей природной среды, не учитывается. По некоторым данным, прямой ущерб составляет не более 10–15 % ущерба, нанесённого экологии окружающей природной среды [403, 411].

Из этого следует, что средние фактические сложившиеся затраты на очистку гарей, лесовосстановление, восстановление зданий, сооружений и заготовление древесины (затраты на восстановление) составляют 39–44 % учитываемого ущерба, что в 1,5–1,7 раза превышает стоимость сгоревшего и повреждённого на корню леса.

Для оценки величины приемлемых затрат на защиту лесов от пожаров, по нашему мнению, необходимо учитывать:

– изъятие возобновляемых лесных ресурсов не должно превышать скорость их восстановления. Для древесины скорость восстановления – это ее ежегодный средний прирост, который в лесах России [411] оценивается в 892 млн м<sup>3</sup>. Если исходить из среднего запаса древесины, который составляет 104 м<sup>3</sup>/га, то запас древесины на площади, пройденной огнем в 2007 году, можно оценить в 107 млн м<sup>3</sup> (104 м<sup>3</sup>/га × 1,036 млн га), что составляет 12 % ежегодного среднего

прироста; в 2013 году – в 143 млн га ( $104 \text{ м}^3/\text{га} \times 1,375 \text{ млн га}$ ), что составляет 16 % ежегодного среднего прироста;

– разрушительные последствия пожара зависят от его вида и интенсивности. Низовые беглые пожары весной и осенью не оказывают существенного влияния на развитие лесов. В летний период от них погибает по числу стволов 15–27 % подроста и тонкомера хвойных пород, а при низовых пожарах высокой интенсивности может погибнуть от 5 до 15 % общего запаса древесины. Низовые устойчивые (подстилочные) пожары вызывают отпад деревьев до 15–65 % по числу стволов, потери древесины – 15–75 %. При этом погибшие тонкие деревья темнохвойных пород (ель, пихта, кедр с диаметром менее 16 см) составляют большинство. При торфяных и верховых пожарах древостой может погибнуть полностью в результате сгорания хвои в кронах, подгорания корней и выгорания почвы [410].

Для оценки указанных величин воспользуемся опытом функционирования лесного сектора в других странах. Например, в Финляндии используется 77 % годового прироста древесины, в Швеции и Чехии – 65 %, в Канаде – 54 %, в США и Польше – 52 %, в Венгрии – 48 % и т. д. В России ежегодно вырубается 13,3 % от общего годового прироста древесины [412], т. е. в несколько раз меньше.

В связи с тем, что часть лесных пожаров происходит в лесах, вовлечение которых в промышленное использование возможно в отдаленной на несколько десятилетий перспективе, а часть поврежденной огнем древесины вырубается для целей дальнейшего использования; приведенные данные по изъятию годового прироста древесины позволяют считать, что сегодня лесные пожары не наносят существенного урона лесозаготовкам.

Однако из этого не следует, что принимаемые управленческие решения и проводимые практические мероприятия обеспечивают снижение лесопожарного риска до приемлемого уровня, а расходы на охрану лесов от пожаров финансируют защиту самовосстанавливающихся богатств. Охрана лесов от пожаров способствует возобновлению леса, решает вопросы экологии и др.



В настоящее время у экологических и социальных благ, которые дает лес, нет рыночной цены, хотя есть спрос. Их нужно воспроизводить, рационально использовать и защищать от лесных пожаров. Источником финансирования служат бюджетные отчисления за счет налогоплательщиков, т. е. самих граждан, которые нуждаются и получают лесные ресурсы в том или ином виде.

Окружающая природная среда продолжает рассматриваться в качестве платного источника необходимых ресурсов и бесплатного места для сбрасывания отходов производства и всей хозяйственной деятельности. В итоге размеры природопользования и масштабы утилизации отходов в окружающую среду стали причиной изменения биосферы.

Неслучайно Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации до 2010 года [413] и Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года [394] предусматривают: осуществление районирования территории Российской Федерации по уровню требуемой противопожарной охраны с учетом экономической и экологической ценности лесов, а также степени хозяйственного освоения территории; разработку ряда нормативных правовых актов по оценке экономического и экологического потенциала лесных ресурсов; учёт социально-экономических, природно-климатических и экологических особенностей субъектов Российской Федерации; соблюдение баланса экономических, экологических и социальных интересов.

Это позволит получить стоимостное содержание экологических и социальных услуг леса, определить точные размеры ущерба (экономические, экологические и социальные) от неуправляемого огня в лесу. От этих показателей зависит организация производственных и оперативных (пожаротушение) мер противодействия пожарам на открытой местности, снижения возможности возникновения пожаров до экономического и социально-приемлемого уровня, а также перспективные направления их развития.

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

С учетом специфики решения задач управления и принятия решений по локализации пожаров пожарно-спасательными подразделениями ФПС МЧС России на открытой местности, стоимости сгоревшего и повреждённого на корню леса, затрат на восстановление и расходов на тушение, разработан алгоритм А9 поддержки принятия управленческого решения задействования достаточного количества СиС на его тушение (рис. 3.10):

А9.1. Инициализация переменных и ввод исходных данных: площадь лесного массива; тип преобладающих насаждений; запас древесины ( $D_{зан}$ ); цена древесины ( $D_{цен}$ ); объём древостоя ( $D_{ном}$ ); тип пожара; длина ( $a$ ) и ширина ( $b$ ) кромки пожара; коэффициенты: затрат на восстановление ( $K_{вос}$ ), использования рабочего времени ( $K$ ); скорости: распространения пламени ( $V_d$ ), тушения одним пожарным ( $V_{туш}$ ), передвижения пожарного в лесу ( $V_{пер}$ ); количества пожарных, занятых на тушении ( $N$ ); затраты на тушение: транспортировка одного пожарного к месту пожара и обратно ( $T_p$ ), питание одного пожарного ( $П_p$ ), оплата труда одного пожарного ( $O_p$ ) и др.

А9.2. Расчётная часть. Определение стоимости потерь древесины от пожара, затрат на её восстановление.

А9.3. Тело цикла. Расчёт расходов при тушении с учётом различной численности задействованных сил и средств.

Условие. Расчёт продолжается до тех пор, пока не будет найден экстремум затрат и ожидаемой выгоды.

А9.4. Принятие управленческого решения на привлечение достаточного количества СиС на тушение пожаров.

А9.5. Вывод результатов.

А9.6. Завершение работы алгоритма.

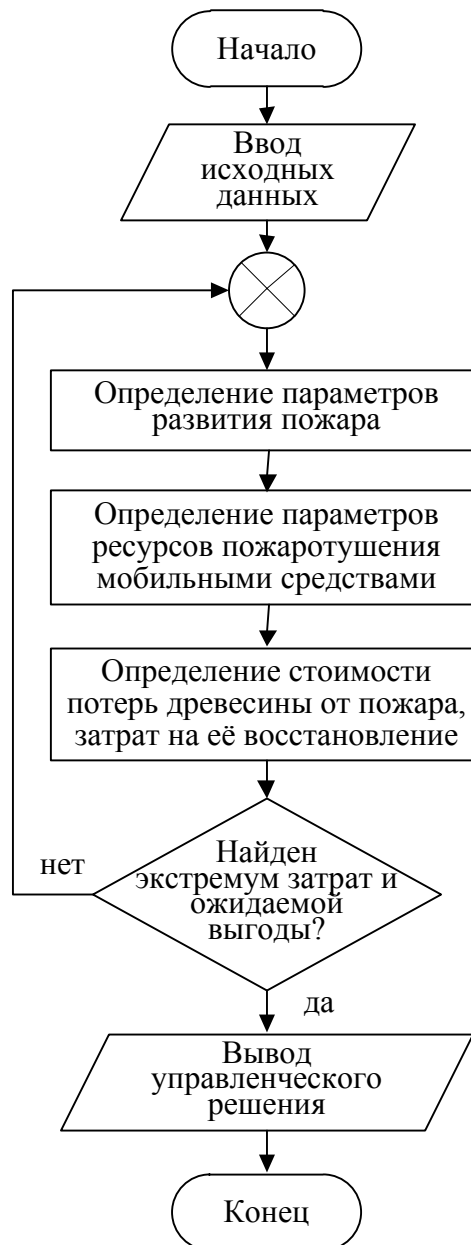


Рисунок 3.10 – Блок-схема поддержки принятия управленческого решения о достаточности сил и средств пожаротушения

Приведём расчётные зависимости для реализации этого алгоритма.

#### 1. Расчёт стоимости потерь древесины.

Стоимость потерь древесины определяется путём умножения средней ставки одного обезличенного кубометра корневого запаса древесины преобладающей породы на величину потерь древесины (количество сгоревшей древесины и последующего её отпада) [414].

Для определения стоимости потерь древесины (рис. 3.11) находим:

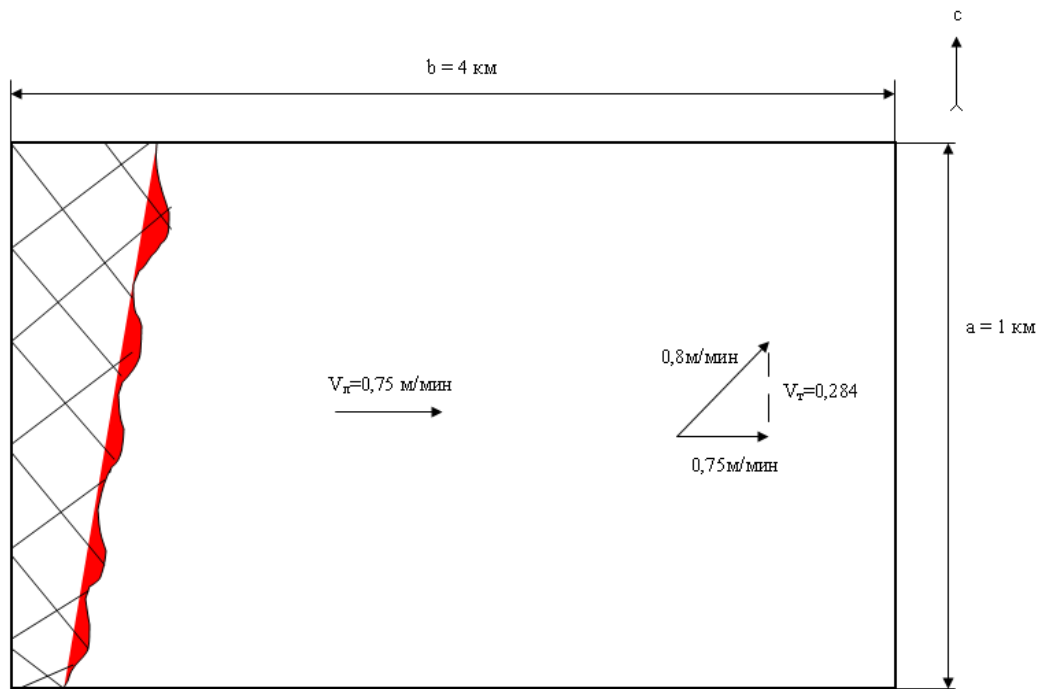


Рисунок 3.11 – Схема распространения низового пожара на открытой местности

### 1.1. Скорость распространения пламени:

$$V_{л} = V_0 \cdot K_{в} \cdot K_{ел} \cdot K_{у},$$

где  $V_0$  – базовая скорость распространения пламени, м/мин;  $K_{в}$  – коэффициент влияния ветра (Таблица 3.1);  $K_{у}$  – коэффициент влияния уклона поверхности (Таблица 3.2);  $K_{ел}$  – коэффициент влияния относительной влажности воздуха (Таблица 3.3)

Таблица 3.1 – Коэффициент влияния ветра при низовых пожарах

Скорость ветра, м/с	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	5,0
$K_{в}$	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1	2,6	3,2	4,0	5,0	6,0	7,0	10,0

Таблица 3.2 – Коэффициент влияния уклона при низовых пожарах

Уклон, град	-40	-30	-20	-10	0	10	15	20	25	30	35	40
$K_{у}$	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	3,7	5,0	14,0	20,0

Таблица 3.3 – Коэффициент влияния относительной влажности при низовых пожарах

Влажность, %	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$K_{вл}$	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3

1.2. Результирующую скорость тушения кромки пожара одним пожарным:

$$V_{рез} = \sqrt{V_{туш}^2 - V_{л}^2}, \text{ м / мин.}$$

1.3. Скорость тушения кромки пожара группой пожарных:

$$V_{груп} = K \cdot N \cdot V_{рез}, \text{ м / мин.}$$

1.4. Время тушения кромки пожара группой пожарных:

$$\tau_{туш} = \frac{a}{V_{груп}}, \text{ мин.}$$

1.5. Время перехода пожарными вдоль кромки пожара:

$$\tau_{пер} = \frac{a \cdot (N - 1)}{N \cdot V_{пер}}, \text{ мин.}$$

1.6. Время локализации кромки пожара группой пожарных:

$$\tau_{лок} = \tau_{туш} + \tau_{пер}, \text{ мин.}$$

1.7. Расстояние, пройденное огнем у северной границы блока:

$$\ell = V_{л} \cdot \tau_{лок}, \text{ м.}$$

1.8. Площадь пожара:

$$S = \frac{\ell \cdot a}{2}, \text{ м}^2.$$

1.9. Стоимость потерь древесины:

$$D = D_{пот} \cdot D_{цен} \cdot D_{зан} \cdot S, \text{ руб.}$$

2. Определяем расходы на восстановление.

2.1. Определяем затраты на восстановление:

$$B = K_{вос} \cdot D, \text{ руб.}$$

2.2. Определяем суммарную стоимость потерь древесины и затраты на восстановление (потери от пожара):

$$C = B + D, \text{ руб.}$$

### 3. Определение расходов на тушение пожара на открытой местности.

Расходы на тушение лесного пожара включают [414]:

- заработную плату (к начислению) занятых на тушении пожара пожарных;
- стоимость эксплуатации автомашин, тракторов, приспособленной техники и других механизмов, используемых при тушении лесного пожара, доставке людей, средств пожаротушения и других грузов, используемых при тушении пожара;
- стоимость израсходованных при тушении пожара материалов, средств тушения и другого имущества, используемого при тушении пожара;
- расходы на питание работников, занятых при тушении лесного пожара, почтово-телеграфные и другие расходы при тушении лесного пожара.

Для определения расходов на заработную плату находим [415]:

#### 3.1. Расходы по заработной плате группы пожарных:

$$O = O_p \cdot N \cdot \tau_{\text{лок}}, \text{ руб.}$$

3.2. Транспортные затраты по доставке пожарных к месту пожара и обратно:

$$T = T_p \cdot N, \text{ руб.}$$

Примечание: Стоимость других услуг машин, израсходованных материалов, средств тушения и другого имущества в данном случае не рассматривается, для того чтобы не усложнять расчёт. Другие средства тушения не использовались при тушении рассматриваемого пожара.

#### 3.3. Расходы на питание работников, занятых при тушении лесного пожара:

$$П = П_p \cdot N, \text{ руб.}$$

#### 3.4. Расходы на тушение лесного пожара:

$$P = T + П + O, \text{ руб.}$$

#### 3.5. Ущерб от лесного пожара:

$$Y = D + B + P, \text{ руб.}$$

4. Построение графической зависимости. Проведя моделирование для другой численности пожарных, привлекаемых к тушению пожара, и расстояния до места пожара, строим графическую зависимость (рис. 3.12).

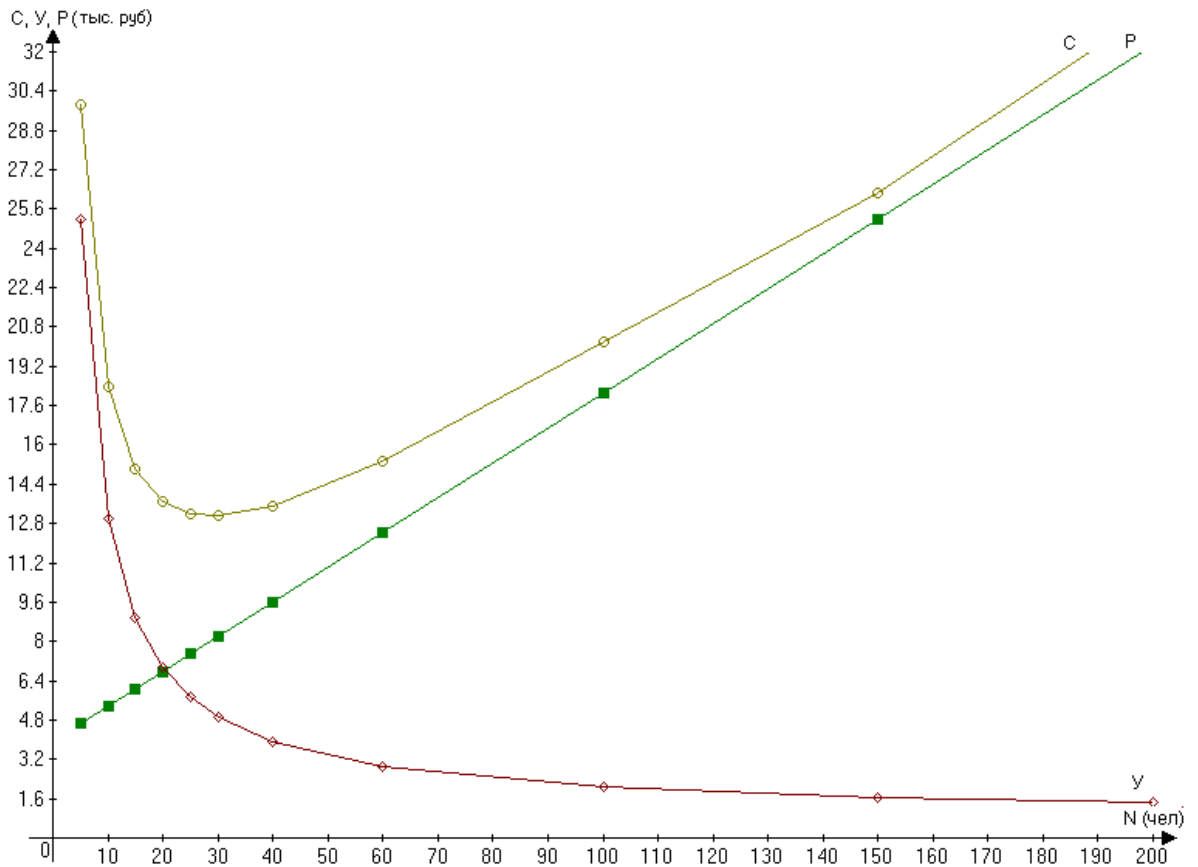


Рисунок 3.12 – Зависимость потерь от пожара и расходов на тушение от количества пожарных, занятых тушением пожара, N: P – расход на тушение; Y – ущерб от пожара; C – суммарные потери

#### 5. Определение компромисса между затратами и ожидаемой выгодой.

На основе анализа графической зависимости (рис. 3.12) можно сделать вывод, что:

- эффективность затрат при тушении пожара на открытой местности снижается с их увеличением. При привлечении к тушению более 20 пожарных затраты начинают превышать потери;

- при привлечении 11, 12 пожарных расходы при тушении рассматриваемого низового пожара составят 31–33 % от общей величины ущерба (следует из [403, 405, 410]);

– суммарный размер потерь и затрат при тушении (ущерб от пожара) значительно растет при увеличении расстояния до места пожара с увеличением количества пожарных;

– суммарный размер потерь и затрат при тушении (ущерб от пожара) снижается при увеличении численности пожарных до 30 чел. При численности более 30 человек наблюдается рост ущерба. Следовательно, при численности пожарных в 30 человек реализован принцип достаточности при тушении рассматриваемого низового пожара.

### **Выводы по 3 главе**

1. Разработана структура оптимального упорядочения по времени и месту решения задач управления пожарно-спасательными подразделениями и принятия решений при пожаротушении, с целью формализации рационального ситуационного планирования информационно-связанной, частично упорядоченной совокупности параллельно-последовательных управленческих задач при организации управления пожаротушением.

2. Формализована и разработана модель задачи управления пожарно-спасательными подразделениями для принятия оперативных управленческих решений в ситуативно подчинённой структуре управления (органы управления, подчинённые силы и средства, локализация и ликвидация пожара) при пожаре, с целью осуществления определённого порядка отдельных управленческих задач при тушении пожара и поиске допустимых альтернатив принятия решения в конкретной ситуации, идентифицируемой опасными факторами пожара, воздействующими на силы и средства пожаротушения.

3. Разработан алгоритм реализации формализованной задачи управления, заключающийся в формировании оперативного сценария использования имеющихся на пожаре ресурсов сил и средств для обеспечения экстремальных показателей предопределённым критериям пожаротушения.

4. Разработан алгоритм решения задач управления силами и средствами



пожаротушения и принятия решений в системе управления пожарно-спасательными подразделениями с учётом ограничений и предпочтений руководителя тушения пожара.

5. Разработан алгоритм определения минимально допустимой величины (нормативной, расчётной) длительности выполнения этапа пожаротушения, обладающий большей сходимостью, чем алгоритмы, основанные на методах сечения и дихотомии. Это достигается применением формализованных правил в принятии решения о допустимости применения значения допустимой величины из предложенного множества вариантов решения.

6. Разработан метод распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий. Сущность метода заключается в определении необходимости определённых сил и средств пожаротушения для реализации конкретных управленческих задач при тушении пожара. Методика его применения заключается в анализе комбинаторных возможностей выбора управленческого решения с использованием интерактивного режима коммуникации «человек (РТП) – ЭВМ (база знаний)», обеспечивающего принятие рационального управленческого решения за приемлемое время путём «диалога» с базой знаний.

7. Разработаны алгоритмы для поддержки принятия решений при оперативном управлении пожаротушением:

7.1. Алгоритм принятия управленческого решения, семантическая интерпретация которого заключается в том, что РТП пошагово на основе полученной информации о распределении управленческих задач при тушении пожара и значениях внешних воздействий получает рациональное решение для применения СиС пожаротушения, корректируя и координируя управление пожарно-спасательными подразделениями.

7.2. Алгоритм выбора рационального решения на выработку управляющего воздействия на СиС пожарно-спасательных подразделений при тушении пожара, работа которого заключается в дроблении и упорядочении оперативно-тактических действий с учётом массива управленческих задач при тушении

пожара в зависимости от слоёв иерархии управления на месте пожара и использовании результатов минимизации локальных целевых функций (управленческих задач при тушении, значений внешних воздействий, рациональных решений для применения СиС пожаротушения).

7.3. Алгоритм упорядочения частных управленческих решений, которым решается управленческая задача, заключающаяся в поиске альтернативных решений, гарантирующих определение вектора частных целевых функций в зону согласованных и локализованных управленческих решений при формализованных принципах предпочтения РТП.

7.4. Алгоритм генерирования управленческих решений, позволяющий получать массив предпочтений РТП по ведению оперативно-тактических действий при пожаре при частично формализованных принципах предпочтения РТП.

7.5. Алгоритм поддержки принятия управленческого решения о достаточности количества СиС для тушения пожара на открытой местности с учетом специфики решения задач управления и принятия решений по локализации ландшафтных пожаров пожарно-спасательными подразделениями ФПС МЧС России, стоимости сгоревшего и повреждённого на корню леса, затрат на восстановление и расходов на тушение.

8. Введен, коэффициент использования рабочего времени на пожаре, отражающий степень фактического участия участника тушения пожара в действиях по тушению пожара.

9. Разработана модель достаточности СиС пожаротушения. Сущность модели 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, формируется решение об окончании и (или) перерыве в работах при тушении пожара.

## **Глава 4. Поддержка принятия решения при тушении пожаров**

### **4.1. Формирование моделей управления при пожаротушении**

Эффективность проведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями при пожаротушении на объектах экономики и социальной инфраструктуры в значительной степени формируется управленческими решениями, взаимосвязанными с формализацией соотношения основных элементов системы организации управления пожарно-спасательными подразделениями: тип объекта (здание, резервуар, транспортное средство и т. п.) и ресурсы пожаротушения (информационный, материальный и энергетический). Их будем называть расчётными (нормативными) элементами системы управления тушением пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории.

Формирование моделей управления пожаротушением через определение соотношений типовых элементов системы управления пожаротушением на объектах экономики и социальной инфраструктуры целесообразно осуществлять на основе компьютерной системы поддержки принятия управленческих решений, реализующей функции по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, тушению пожаров на территории субъектов Российской Федерации.

Модель управления пожаротушением представим объединённым функционированием схожих массивов, ее составляющих, воздействующих друг на друга установленным порядком в процессе моделирования управления при ведении оперативно-тактических действий на пожаре. “Под однородностью элементов понимается, прежде всего, их идентичность относительно интенсивностей переходов из состояния в состояние и идентичность самих этих состояний” [416].

Обобщённую модель управления пожаротушением в качестве процесса управления ведением определенного вида оперативно-тактических действий при

пожаротушении представим как векторный процесс  $\vec{P}(t)$ , содержащий подчинённые элементы:

$$\vec{P}(t) = \left\{ \overrightarrow{P}_{oid}^r(t), \overrightarrow{P}_{vz}^r(t), \overrightarrow{P}_{pr}^r(t) \right\},$$

где  $\overrightarrow{P}_{oid}^r(t)$  – процесс (целочисленный), отображающий ведение оперативно-тактических действий при пожаротушении на конкретном объекте (тушение ПОС, ВПОС, ГОС и т. п.),  $r$  – вид оперативно-тактических действий при тушении пожара на конкретном объекте (развёртывание, подготовка к пенной атаке, пенная атака и т. п.);  $\overrightarrow{P}_{vz}^r(t)$  – процесс (целочисленный), описывающий взаимодействие СИС пожаротушения,  $r$  – предназначение СИС пожаротушения (подача огнетушащих средств, подача огнетушащих веществ, защита личного состава и др.);  $\overrightarrow{P}_{pr}^r(t)$  – процесс (целочисленный), описывающий работу СИС на конкретном пожаре,  $r$  – тип (расходуемые, нерасходуемые и др.) ресурсов СИС, применяемых при тушении пожара.

Воздействие друг на друга зависимых элементов процесса управления  $\vec{P}(t)$  во всех отношениях складывается из интенсивности переходов как внутри подпроцессов  $\overrightarrow{P}_i^r(t)$  (зависящей от персональных характеристик), так и от параметров взаимодействия иных составляющих процесса [416, 417], предопределённых существом исследуемого ведения ОТД при тушении пожара на конкретном объекте.

Например, при управлении пожарно-спасательными подразделениями, в частности при пожаре в резервуарном парке, интенсивность ведения оперативно-тактических действий, приходящаяся на единицу зоны пожара, с одной стороны, зависит от количества позиций при тушении (секторов, участков), а с другой стороны – от производительности работы личного состава отделения на непосредственном участке (сектора) тушения числа свободных в данный момент отделений [416]. Поэтому в плане пожаротушения процесс  $\overrightarrow{P}_{vz}^r(t)$  управляется процессом  $\overrightarrow{P}_{oid}^r(t)$ . Интенсивность работы личного состава подразделения на той

или другой позиции при тушении пожара (секторе, участке) равным образом обусловлено как числом позиций, нуждающихся в «обслуживании», так и числом незадействованных подразделений, поэтому в замысле осуществления управленческого воздействия при тушении пожара процесс ведения оперативно-тактических действий «управляет» процессом взаимодействия необходимых ресурсов.

Исходя из вышеизложенного, относительно процессов  $\overrightarrow{P_{oid}^r}(t)$ ,  $\overrightarrow{P_{pr}^r}(t)$ ,  $\overrightarrow{P_{vz}^r}(t)$ ,  $\overrightarrow{P_{pr}^r}(t)$  рассуждения аналогичны, но если ремонт материально-технических средств ведется специализированными подразделениями, то взаимодействие  $\overrightarrow{P_{vz}^r}(t)$  и  $\overrightarrow{P_{pr}^r}(t)$  отсутствует.

В таком случае задачу оценки эффективности ведения ОТД представляемой системой пожаротушения можно сформулировать как [416–418]:

$$ZE(l_j^r) = \sum_j^J v_j z e_j(l_j^r(t)) \rightarrow extr, \quad (4.1)$$

где  $z e_j(l_j^r(t)) = \int_0^T C_j(t) l_j^r(t) dt$ ;

$$\frac{dl_j^r(t)}{dt} = l_k^r(t) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n c k_{kj}^r - l_j^r(t) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n c k_{jk}^r, \quad (4.2)$$

$$\frac{do_j^r(t)}{dt} = o_k^r(t) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n c k_{kj}^r - o_j^r(t) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n c k_{jk}^r, \quad (4.3)$$

$$\sum_{k=1}^n l_j^r(t) = N^r, \quad \sum_{k=1}^n o_j^r(t) = 1, \quad (4.4)$$

$$l_1^r(0) = N^r, \quad l_j^r(0) = 0, \quad o_1^r(0) = 1, \quad o_j^r(0) = 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n; \quad (4.5)$$

$$l_j^r(t) \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} L_j^r, \quad j \in J; \quad (4.6)$$

где  $C_j(t)$  – затраты (стоимость, потери и др.) в единицу времени  $j$ -го состояния системы;  $l(t)$  – численность операций ОТД при тушении пожара  $r$ -го вида в  $j$ -ом состоянии;  $o_1^r(t)$  – возможность выполнения операций ОТД при тушении пожара  $r$ -го вида в  $j$ -ом состоянии;  $ck_k^r$  – скорость перехода с одной операции  $j$ -й ОТД на

другую  $k$ -ю при тушении пожара;  $\nu$  – важность учета  $j$ -го состояния в оптимизации функционирования системы пожаротушения (подготовка к пенной атаке, пенная атака, подача водяных пожарных стволов), причем суммирование интегральных потерь (затрат, стоимостей и т. д.) в критерии оптимальности (4.1) происходит не по всем  $j$ -состояниям системы пожаротушения, а только по тем, относительно которых необходимо провести оптимизацию.

Дифференциальные уравнения (4.2) относительно средних численностей состояний  $l_j^r(t)$ , в данном исследовании, записываем только для тех однородных операций  $r$ -го вида, которые исследуются в системе. Дифференциальные уравнения (4.3) относительно возможности  $o_1^r(t)$  записываются только для уникальных (единичных) операций ОТД при тушении пожаров  $r$ -го вида.

Связи (4.4) и (4.5) выражают нормирование, а также устанавливают исходные данные для интегрирования дифференциальных уравнений и совокупную величину процедур в ОТД  $r$ -го вида имеющимися в системе пожаротушения мобильными средствами. Ограничение (4.6) задает наибольшее (наименьшее) общее количество операций ОТД системы пожаротушения  $r$ -го вида, которое может быть в  $j$ -м состоянии –  $L_j^r$ , исходя из условий функционирования системы пожаротушения. Другими словами, ограничения (4.2–4.5) – система дифференциальных уравнений, являющаяся моделью системы пожаротушения.

Ограничение (4.6), исходя из конкретного решающего направления, определяя максимально (минимально) возможную в заданный момент численность заданных состояний  $j \in J$ , в зависимости от смысла рассматриваемой задачи, может и отсутствовать.

Оптимизация заданных численностей состояний на заданном интервале времени  $T$  может происходить также и за счет выбора соответствующих скоростей выполнения операций при ОТД  $ck_j^r$ , набор которых как параметров управления определяется исходя из конкретных условий решающего направления.

Очевидно, что параметрами оценок эффективности могут выступать  $N^r$  и (или)  $ck_j^r$ , фиксирующие взаимное отношение в системе управления пожаротушением мобильными средствами количества позиций на месте пожара и состава СиС (материально-технических и людских).

В общем случае для оценки эффективности решения задач управления на пожаре  $N^r$  (а при необходимости и  $ck_j^r$ ) могут быть применены различные алгоритмы случайного поиска управленческих решений и (или) генетические алгоритмы, а также следующий алгоритм, основу которого составляет разновидность метода деления отрезка пополам [419, 420].

В первую очередь старшее должностное лицо (РТП, начальник штаба тушения пожара и др.) определяют границы изменения  $N^r$  ( $ck_j^r, L_j^r$ ), при которых система уравнений (4.2–4.5), по его мнению, имеет решение и выполняются ограничения (4.6).

Далее, исходя из анализа данных, поступающих с места пожара, всем параметрам системы  $N^r$ , ( $ck_j^r, L_j^r$ ), которые необходимо оценить, старшее должностное лицо (РТП, начальник штаба тушения пожара и др.) задаёт начальные (нулевые) приближения к решению. Эта информация вводится старшим должностным лицом (РТП, начальник штаба тушения пожара и др.) или сотрудником штаба пожаротушения в формируемую СППУРП систему уравнений (4.2–4.5), которая имитирует работу рассматриваемой системы пожаротушения. СППУРП, решая систему дифференциальных уравнений (4.2–4.5) и проверяя выполнение ограничения (4.6), вычисляет значение выражения (4.1), значение которого запоминается. После этого показатели совокупности параметров  $N^r$  и (или)  $ck_j^r$ , за исключением любого одного, ею закрепляются. Проводится оценка по одному параметру, которая выглядит так. От точки, находящейся в середине рассматриваемого промежутка, и любого конца, например, правого этой окрестности, получается два значения выражения (после решения системы (4.2–4.5) и проверки ограничения (4.6)). Они сравниваются. Если значение выражения от правого конца  $\delta$ -окрестности больше значения выражения от середины



(выражение сводится к минимуму), тогда требуется модифицировать модель (4.2–4.5) величиной левого конца  $\delta$ -окрестности, а полученное выражение сравнить с выражением от правого конца. Равенство значений этих выражений (естественно, с определенной наперед заданной погрешностью) определяет завершение цикла, так как экстремум (минимум) зафиксирован и установлен в центральной части рассматриваемого интервала.

В том случае, когда значение выражения (от левого конца окрестности) меньше его серединного значения, область поиска экстремума (минимума) уменьшается до расстояния слева от начала до центра промежутка. Впоследствии цикл повторяется так долго, пока не будет определено минимальное значение выражения.

Затем, закрепляя этот экстремум (минимум) за первым параметром, производим аналогичные действия со вторым, оставляя в неприкосновенности  $n-2$  (имеется в виду, что для оптимизации выбрано  $n$  параметров  $N^r$ ,  $(ck_j^r, L_j^r)$ ). Аналогично оптимизируются оставшиеся  $n-2$  параметра.

После определения по всем параметрам экстремума (минимума) выражения получаем следующее первое приближение. Сравнивая на заданную точность нулевое и первое приближения, СППУРП делает заключение, найден ли экстремум (минимум) функционала или же требуется осуществить поиск следующего приближения. Поиск этого приближения осуществляется приведённым выше образом до того момента, пока не будет достигнута необходимая точность (рис. 4.1).

Вид выражений (4.1–4.6) определяется содержанием конкретного решающего направления и графом состояний типовых элементов (позиции ствольщиков, трудовых и материально-технических ресурсов и др.) соответствующей системы управления пожаротушением на объекте экономики и социальной инфраструктуры. Вид этих выражений для моделирования и оценки эффективности, выбора экономически-оптимальных стратегий можно найти в [75, 417, 421, 422].

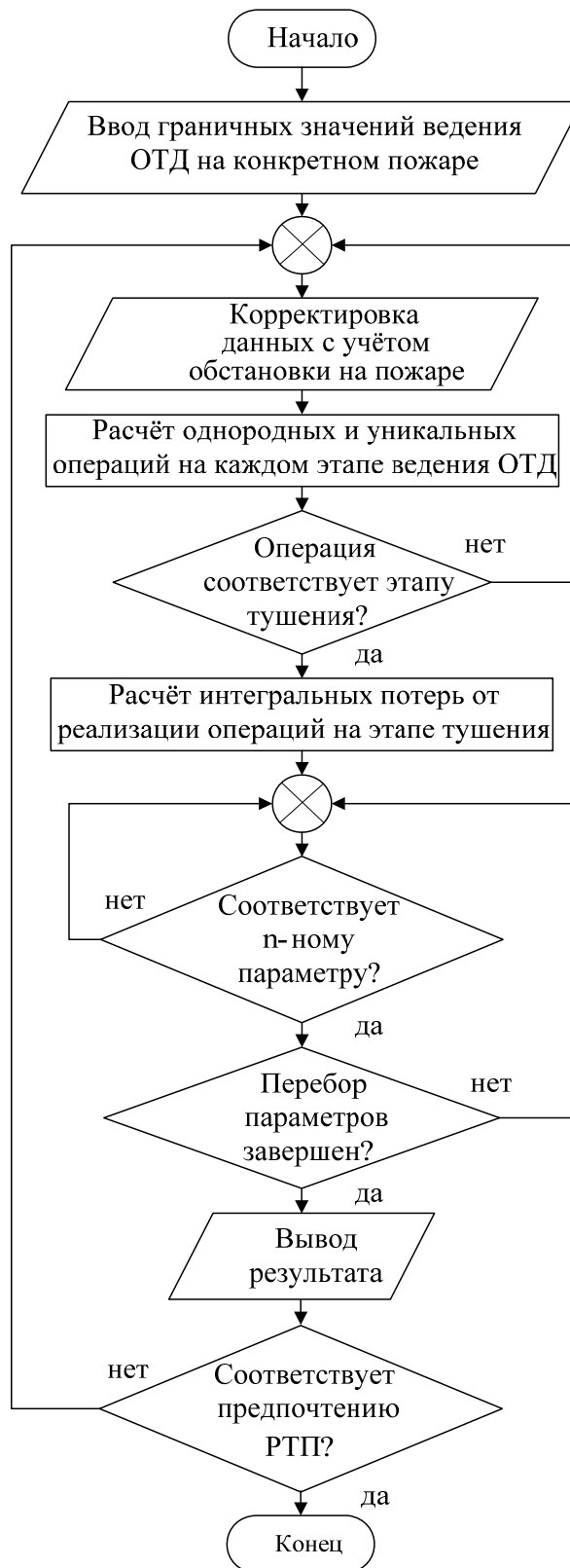


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритма оценки эффективности решения задач управления на пожаре

В выборе соотношений типовых элементов системы оперативного управления пожаротушением на объектах экономики, социальной

инфраструктуры и прилегающей к ним территории существенный вклад может внести использование компьютерной поддержки принятия управленческих решений. Алгоритм выбора соотношений типовых элементов при решении конкретной задачи (4.1–4.6) состоит в выполнении следующих шагов:

А1. Старшему оперативному должностному лицу (сотруднику штаба пожаротушения) необходимо сформировать матрицу интенсивностей переходов операций ОТД  $ck_j^r$ , нарисовав предварительно с ее помощью соответствующего графа переходов системы из одного состояния в другое.

А2. Инициализация начальных значений дифференциальных уравнений, количества операций оперативно-тактических действий системы управления пожаротушением,  $L_j^r$  и т. д.

А3. Запуск цикла на вычисление по интегрированию дифференциальных уравнений и решению оптимизационной задачи СППУРП выполняет автоматически.

Примечание: В том случае, если система управления пожаротушением на конкретном объекте рассматривается в стационарном режиме, задача (4.1–4.6) сводится к задаче линейного программирования. В ряде случаев ограничения (4.2–4.6) могут быть также представлены выражениями, описывающими и вероятности перехода системы из состояния в состояние.

Необходимые для проведения указанных вычислений исходные данные ( $N^r$ ,  $ck_j^r$ ,  $L_j^r$ ) СППУРП получает либо из соответствующих систем знаний (баз данных), либо экспертным путем (их задает старшее оперативное должностное лицо) с помощью таблиц, которые описывают, например, характеристики объекта (параметры и количество резервуаров, высоту, производительность и давление в ОТУ, этажность здания и т. п.), имеющиеся запасы огнетушащего вещества (пенообразователя, воды, газа и т. п.) на объекте или в гарнизоне, количество и вид пожарно-спасательных подразделений и тип пожарной техники, принимающих участие в тушении пожаров и др.

## 4.2. Метод нормативных состояний оперативно-тактических действий

В СППУРП хранится модель системы управления пожаротушением в виде векторного процесса управления при ведении оперативно-тактических действий. Для описания функционирования системы управления пожаротушением опишем одновременную работу нескольких ее частей. Как было указано выше, функционирование этой системы формализовано в виде векторного процесса,  $\vec{P}(t)$ :

$$\vec{P}(t) = \left\{ \overrightarrow{P_{met}}(t), \overrightarrow{P_{oid}}(t), \overrightarrow{P_{prn}}(t), \overrightarrow{P_{prr}}(t) \right\} \quad (4.7)$$

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.);  $\overrightarrow{P_{oid}}(t)$  – целочисленный процесс, формализующий управление ОТД при тушении пожара на конкретном объекте;  $\overrightarrow{P_{prn}}(t)$  – целочисленный процесс, формализующий функционирование нерасходуемого ресурса СиС (пожарные автомобили, пожарно-техническое оборудование, средства связи и освещения и т. д.);  $\overrightarrow{P_{prr}}(t)$  – целочисленный процесс, формализующий функционирование (расходование) расходуемого ресурса СиС (горюче-смазочные материалы, огнетушащие вещества и т. д.).

В связи с тем, что все компоненты целочисленного процесса управления ведением оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями  $\vec{P}(t)$  представлены в виде однородного разложения [416]:

$$\overrightarrow{P_i}(t) = \sum_{k=1}^n od_k^i(t), \quad i = \overline{1, I}; \quad (4.8)$$

где  $od_k^i(t)$  – процесс управления ведением операции оперативно-тактического действия одного из этапов тушения пожара на конкретном объекте:

$$od_k^i = \{od_0^i, od_1^i, \dots, od_m^i\}, \quad (4.9)$$

одинакового для всех  $od_k^i(t)$  и является элементарным целочисленным процессом (установка ПА на водоисточник, извлечение пожарно-технического оборудования из отсека ПА, прокладывание рукавной линии и т. д.).

Полагая далее, что если операции ОТД для каждого сценария развития пожара проводятся независимо, но функционально одинаково, то будем считать  $\sum_{k=1}^n od_k^i(t)$  однородным каноническим разложением процесса  $\overrightarrow{P_i}(t)$ . Покажем, что взаимное действие компонентов процесса управления ОТД при тушении пожара  $\overrightarrow{P_i}(t)$  на конкретном объекте является транзитивным [416, 417] и отображается следующим графом (рис. 4.2).

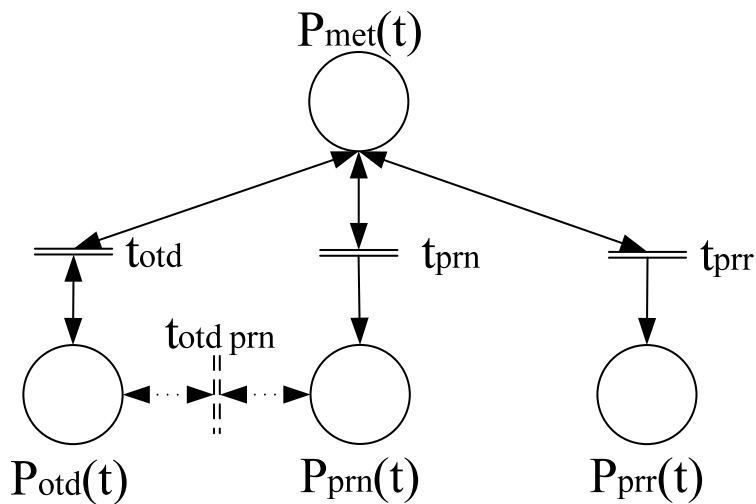


Рисунок 4.2 – Граф взаимодействия зависимых компонентов процесса управления пожаротушением мобильными средствами на объекте экономики и социальной инфраструктуры

Интенсивность ведения оперативно-тактических действий на пожаре обусловлена, с одной стороны, продуктивностью работы личного состава подразделения непосредственно на позиции по тушению (участке, секторе), числом свободных в данный момент времени подразделений и, с другой стороны, количеством позиций по тушению (участков, секторов).

Следовательно, в зависимости от сложившейся ситуации на пожаре  $\overrightarrow{P_{met}}(t)$ , старшим оперативным должностным лицом формируются конкретные позиции по

тушению (участок, сектор), требующие обслуживания (подмена бойцов, защита от теплового излучения, обеспечение связи и т. п.), составляется или реализуется предписанный план тушения пожара  $\overrightarrow{P_{od}}(t)$ .

На основании вышеизложенного аналогичные рассуждения применимы к  $\overrightarrow{P_{met}}(t)$  и  $\overrightarrow{P_{prn}}(t)$ , и  $\overrightarrow{P_{met}}(t)$ , и  $\overrightarrow{P_{prn}}(t)$ . Применяя в дальнейшем идеологию линейного взаимного действия на процессы управления  $\overrightarrow{P_i}(t)$ , рассмотрим подробнее проведение операции в рамках оперативно-тактического действия этих процессов по допустимым приёмам и способам тушения пожара на объекте, которые, как правило, реализуются в практике управления пожарно-спасательными подразделениями [204, 250, 354–356, 382, 423].

Формализуем в первую очередь операции оперативно-тактического действия на пожаре:

$$od_1 = \{od_0^1, od_1^1, od_2^1\}, \quad (4.10)$$

где  $od_0^1$  – операция оперативно-тактического действия не может проводиться с тем или иным прибором пожарно-технического оборудования;  $od_1^1$  – операция оперативно-тактического действия может быть проведена с тем или иным прибором пожарно-технического оборудования;  $od_2^1$  – операция оперативно-тактического действия проводится с тем или иным прибором пожарно-технического оборудования.

Размеченный граф состояний ведения операций оперативно-тактического действия по своим состояниям имеет вид, представленный на рис. 4.3.

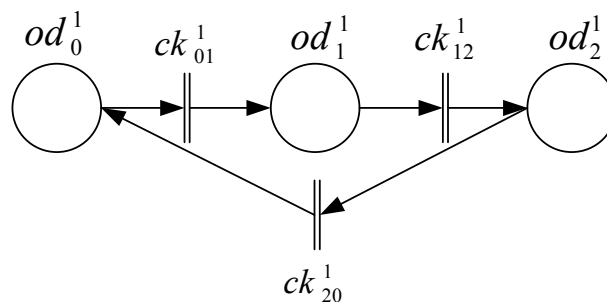


Рисунок 4.3 – Размеченный граф состояний процесса проведения операции оперативно-тактического действия при одном из вариантов тушения пожара в здании (в виде сети Петри)

Интенсивности ведения операций оперативно-тактического действия формализуем как:  $ck_{01}^1$  – интенсивность проведения операции оперативно-тактического действия, которая может быть реализована с тем или иным прибором пожарно-технического оборудования, отражающая персонализированное свойство единицы объекта и условно не зависящая от внешних факторов  $ck_{01}^1 = a_1 = const$  (она берется из 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 оперативно-тактического действия, которая может быть проведена с конкретным прибором пожарно-технического оборудования. Определим её:

$$ck_{12}^1 = a_2 \frac{l_{ad_0^2}}{l_{ad_1^1}}; \quad (4.11)$$

$ck_{20}^1$  – интенсивность проведения операции оперативно-тактического действия одного вида (установка ПА на водоисточник, подача воды при тушении, защиту и т. п.). Определим её:

$$ck_{20}^1 = a_2 \frac{l_{ad_2^2}}{l_{ad_2^1}}; \quad (4.12)$$

где  $a_2 = const$  – производительность работы одного отделения ( $a_2$ , также как  $a_1$ , берется из СППУРП или из соответствующей системы знаний (базы данных) автоматически или задается старшим должностным лицом на пожаре или оператором ЭВМ по его указанию);  $l_{ad_0^2}$ ,  $l_{ad_1^1}$ ,  $l_{ad_2^2}$ ,  $l_{ad_2^1}$  – число операций ОТД при тушении пожара на конкретном объекте.

Для «обобщённого» отделения пожарной охраны размеченный граф состояний имеет вид, представленный на рис. 4.4.

Интенсивности проведения оперативно-тактических действий:

$ck_{01}^2$  – интенсивность проведения операции оперативно-тактического действия (обработка заявки и выезд).

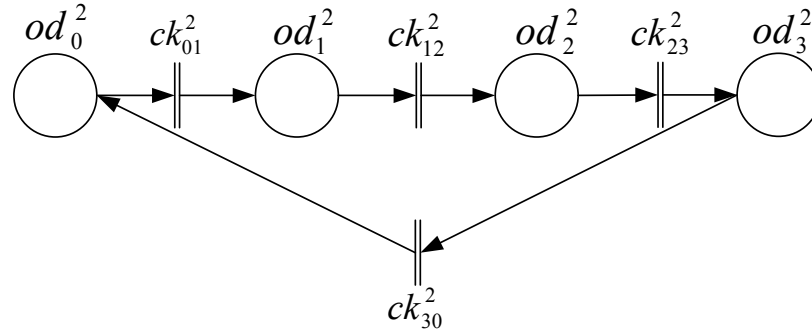


Рисунок 4.4 – Размеченный граф состояний при ведении ОДТ «обобщённого» пожарно-спасательного подразделения:  $od_0^2$  – пожарно-спасательное отделение находится в пожарной части, функционирует в соответствии с распорядком дня;  $od_1^2$  – пожарно-спасательное отделение следует к месту вызова;  $od_2^2$  – пожарно-спасательное отделение проводит ОТД по тушению пожара на объекте;  $od_3^2$  – пожарно-спасательное отделение восстанавливает боеготовность и возвращается в пожарно-спасательную часть (в виде сети Петри)

Определяется процессом  $\overrightarrow{P_{met}}(t)$ , состоянием боеготовности и расписанием выезда:

$$ck_{01}^2 = a_1 \frac{l_{ad_0^1}}{l_{ad_0^2}}, \quad (4.13)$$

где  $a_1 = const$  – производительность работы одного отделения;  $l_{ad_0^1}$ ,  $l_{ad_0^2}$  – число операций  $od_0^1$  и  $od_2^1$  ОТД при тушении пожара на объекте.

$ck_{12}^2$  – интенсивность проведения операции оперативно-тактического действия (следование к месту вызова). Формируется процессом управления  $\overrightarrow{P_{met}}(t)$ , расстоянием, расписанием выезда, нагруженностью транспортной сети и т. п.:

$$ck_{12}^2 = \frac{R}{t_{12}^2}, \quad (4.14)$$

где  $R$  – расстояние от места пожарно-спасательной части до объекта;  $t_{12}^2$  – минимально возможное время следования пожарно-спасательного подразделения к месту вызова [290];  $ck_{23}^2$  – интенсивность проведения операции оперативно-тактического действия (тушение пожара на объекте);  $ck_{30}^2$  – интенсивность проведения операции оперативно-тактического действия (следование к месту



дислокации). Формируется аналогично  $ck_{12}^2$  и в частном случае можно принять  $ck_{12}^2 = ck_{30}^2$ .

Формализуем (рис. 4.5) размеченный граф единичных состояний (нерастрачиваемых) ресурсов СиС (пожарные автомобили, пожарно-техническое оборудование, средства связи и освещения и т. д.).

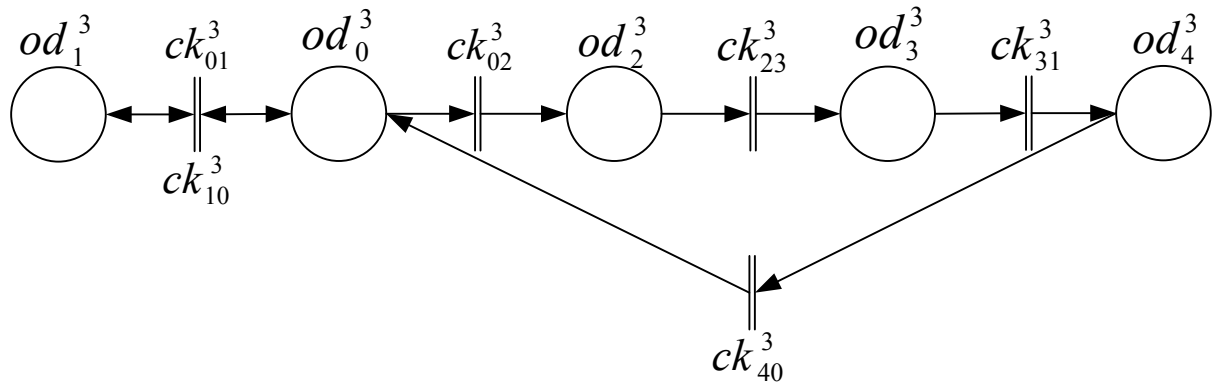


Рисунок 4.5 – Размеченный граф единичных состояний (нерастрачиваемых) сил пожаротушения (в виде сети Петри)

Здесь используются следующие обозначения:  $od_0^3$  – единица (нерастрачиваемых) сил пожаротушения (пожарный автомобиль, радиостанция, пожарный рукав и т. п.) находится в пожарно-спасательной части и не используется;  $od_1^3$  – единица (нерастрачиваемых) сил пожаротушения (пожарный автомобиль, радиостанция, пожарный рукав и т. п.) вышла из строя и ремонтируется или находится на обслуживании;  $od_2^3$  – единица (нерастрачиваемых) сил пожаротушения (пожарный автомобиль, радиостанция, пожарный рукав и т. п.) вместе с отделением получила вызов и следует к месту вызова;  $od_3^3$  – с помощью единицы (нерасходуемых) сил пожаротушения (пожарный автомобиль, радиостанция, пожарный рукав и т. п.) выполняется ОТД;  $od_4^3$  – единица (нерастрачиваемых) сил пожаротушения (пожарный автомобиль, радиостанция, пожарный рукав и т. п.) возвращается в пожарную часть (в данном случае, мы предполагаем, что если ресурс пожаротушения вышел из строя – состояния  $od_2^3$ ,  $od_3^3$ ,  $od_4^3$ , то он возвращается в место дислокации и только затем поступает в ремонт);  $ck_{01}^3$  – интенсивность выхода из строя единицы

(нерасходуемых) сил пожаротушения (пожарный автомобиль, радиостанция, пожарный рукав и т. п.) принимаем за величину обратно пропорциональную времени эксплуатации;  $ck_{10}^3$  – интенсивность восстановления нерасходуемой единицы сил пожаротушения (пожарный автомобиль, радиостанция, пожарный рукав и т. п.).

Как следствие:  $ck_{01}^3$  и  $ck_{02}^3$  определяются корреляцией процессов  $\overrightarrow{P_{old}}(t)$  и  $\overrightarrow{P_{prn}}(t)$ , но если ремонт этого нерасходуемого ресурса ведется специализированным подразделением не на месте пожара, тогда его не учитываем из-за отсутствия. Следовательно, на рис. 4.2 это взаимодействие  $\overrightarrow{P_{old}}(t)$  и  $\overrightarrow{P_{prn}}(t)$  показано пунктиром и при дальнейшем моделировании в системе может добавиться процесс  $\overrightarrow{P_{oy}}(t)$ ;

$ck_{02}^3$ ,  $ck_{23}^3$ ,  $ck_{31}^3$ ,  $ck_{40}^3$  – носят тот самый смысл, как и  $ck_{02}^2$ ,  $ck_{23}^2$ ,  $ck_{21}^2$ ,  $ck_{30}^2$ , поэтому они попарно равнозначны, при условии, что на реализацию одного и того же ОТД используется одна (растрачиваемая) единица СиС:

$$ck_{02}^3 = a_1 \frac{l_{ad_0^1}}{l_{ad_0^3}}. \quad (4.15)$$

Размеченный граф состояний для расходуемых средств с целью пожаротушения (огнетушащие вещества, горюче-смазочные материалы и т. д.), представлен на рис. 4.6, где используются следующие обозначения:  $od_0^4$  – единица (растрачиваемых) средств для пожаротушения (огнетушащие вещества, горюче-смазочные материалы и т. д.) находится в пожарно-спасательной части и не используется;  $od_1^4$  – единица (растрачиваемых) средств для пожаротушения (огнетушащие вещества, горюче-смазочные материалы и т. д.) транспортируется к месту вызова;  $od_2^4$  – единица (растрачиваемых) средств для пожаротушения (огнетушащие вещества, горюче-смазочные материалы и т. д.) используется нерасходуемыми средствами пожаротушения (пожарный автомобиль) при выполнении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями по тушению пожара на объекте;  $od_3^4$  – единица (расходуемых) средств для пожаротушения (огнетушащие вещества, горюче-смазочные

материалы и т. д.), использованная при ведении ОТД, списывается;  $cr$  – интенсивность пополнения запаса расходуемых СиС;  $ck_{01}^4$  – интенсивность расходования СиС на ведение ОТД такая, что  $ck_{01}^4 = ck_{02}^3$ ;  $ck_{12}^4$  – интенсивность транспортировки расходуемых СиС к месту вызова:  $ck_{12}^4 = ck_{23}^3$ ;  $ck_{23}^4$  – интенсивность расходования (списывания) расходуемых СиС такая же, как и  $ck_{23}^4 = ck_{34}^3$ , при условии, что на одну и ту же операцию ОТД используется одна единица (один комплект) расходуемых сил и средств.

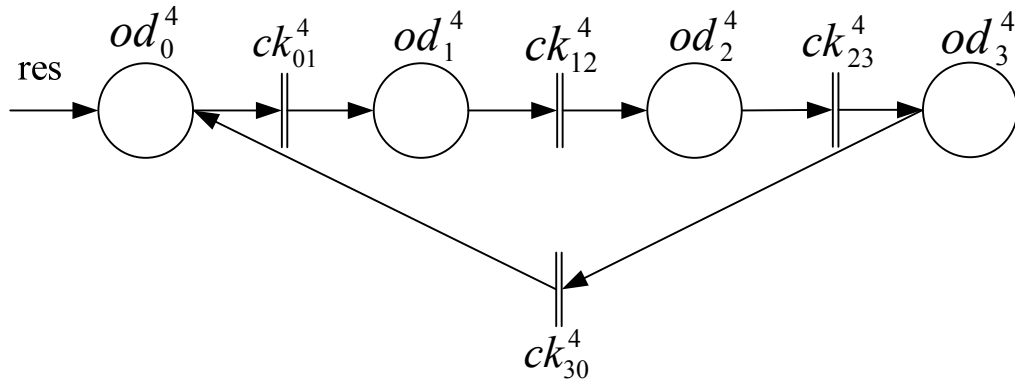


Рисунок 4.6 – Размеченный граф состояний единицы (растрчиваемых) средств пожаротушения (в виде сети Петри)

Учитывая вышеизложенное, отметим, что СППУРП для всех размеченных графов состояний порождает следующие уравнения нормативных состояний:

– сценарии тушения пожара на объекте или его развития (горение в помещении на этаже, на кровле, зеркале резервуара и др.):

$$\frac{dl_{od_0^1}}{dt} = ck_{20}^1 l_{od_2^1} - ck_{01}^1 l_{od_0^1}; \quad \frac{dl_{od_1^1}}{dt} = ck_{12}^1 l_{od_1^1} - ck_{01}^1 l_{od_0^1}; \quad \frac{dl_{od_2^1}}{dt} = ck_{20}^1 l_{od_2^1} - ck_{12}^1 l_{od_1^1}; \quad (4.16)$$

$$N_{od^1} = l_{od_0^1} + l_{od_1^1} + l_{od_2^1}; \quad (4.17)$$

– управления действиями отделения пожарно-спасательного подразделения:

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

$$(4.18)$$

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

$$N_{od^2} = l_{od_0^2} + l_{od_1^2} + l_{od_2^2} + l_{od_3^2} \quad ; \quad (4.19)$$

– использование не растрачиваемых ресурсов СиС пожаротушения:

$$\frac{dl_{od_0^3}}{dt} = -ck_{01}^3 l_{od_0^3} - ck_{02}^3 l_{od_0^3} + ck_{40}^3 l_{od_4^3} + ck_{10}^3 l_{od_1^3} ; \quad \frac{dl_{od_1^3}}{dt} = -ck_{10}^3 l_{od_1^3} + ck_{01}^3 l_{od_0^3} ; \quad (4.20)$$

$$\frac{dl_{od_2^3}}{dt} = -ck_{02}^3 l_{od_0^3} - ck_{23}^3 l_{od_2^3} ; \quad \frac{dl_{od_3^3}}{dt} = -ck_{23}^3 l_{od_2^3} - ck_{31}^3 l_{od_3^3} ; \quad \frac{dl_{od_4^3}}{dt} = -ck_{40}^3 l_{od_4^3} - ck_{31}^3 l_{od_3^3} ;$$

$$N_{od^3} = l_{od_0^3} + l_{od_1^3} + l_{od_2^3} + l_{od_3^3} + l_{od_4^3} \quad ; \quad (4.21)$$

– использование растрачиваемых ресурсов СиС пожаротушения:

$$\frac{dl_{od_0^4}}{dt} = -ck_{01}^4 l_{od_0^4} + cp ; \quad \frac{dl_{od_1^4}}{dt} = ck_{01}^4 l_{od_0^4} - ck_{12}^4 l_{od_1^4} ; \quad \frac{dl_{od_2^4}}{dt} = -ck_{12}^4 l_{od_1^4} + ck_{23}^4 l_{od_2^4} ; \quad (4.22)$$

$$\frac{dl_{od_3^4}}{dt} = -ck_{23}^4 l_{od_2^4} ;$$

$$N_{od^4} = N_0 + \int_0^T cp(t) dt . \quad (4.23)$$

Интегрируя эту систему дифференциальных уравнений, СППУРП в автоматическом или интерактивном режиме управления старшим оперативным должностным лицом на пожаре (оператор) выдаёт требуемые параметры характеристик элементов, составляющих систему управления пожаротушением на объекте экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории (рис. 4.7).

Семантическое изложение приведённого выше обобщенного метода нормативных состояний с целью выбора соотношений типовых элементов, составляющих систему управления пожаротушением, представим в виде алгоритма А10:

А10.1. Оператор (старшее оперативное должностное лицо на пожаре) составляет графы переходов системы управления пожаротушением из одного состояния в другое состояние, рис. 4.3–4.6.

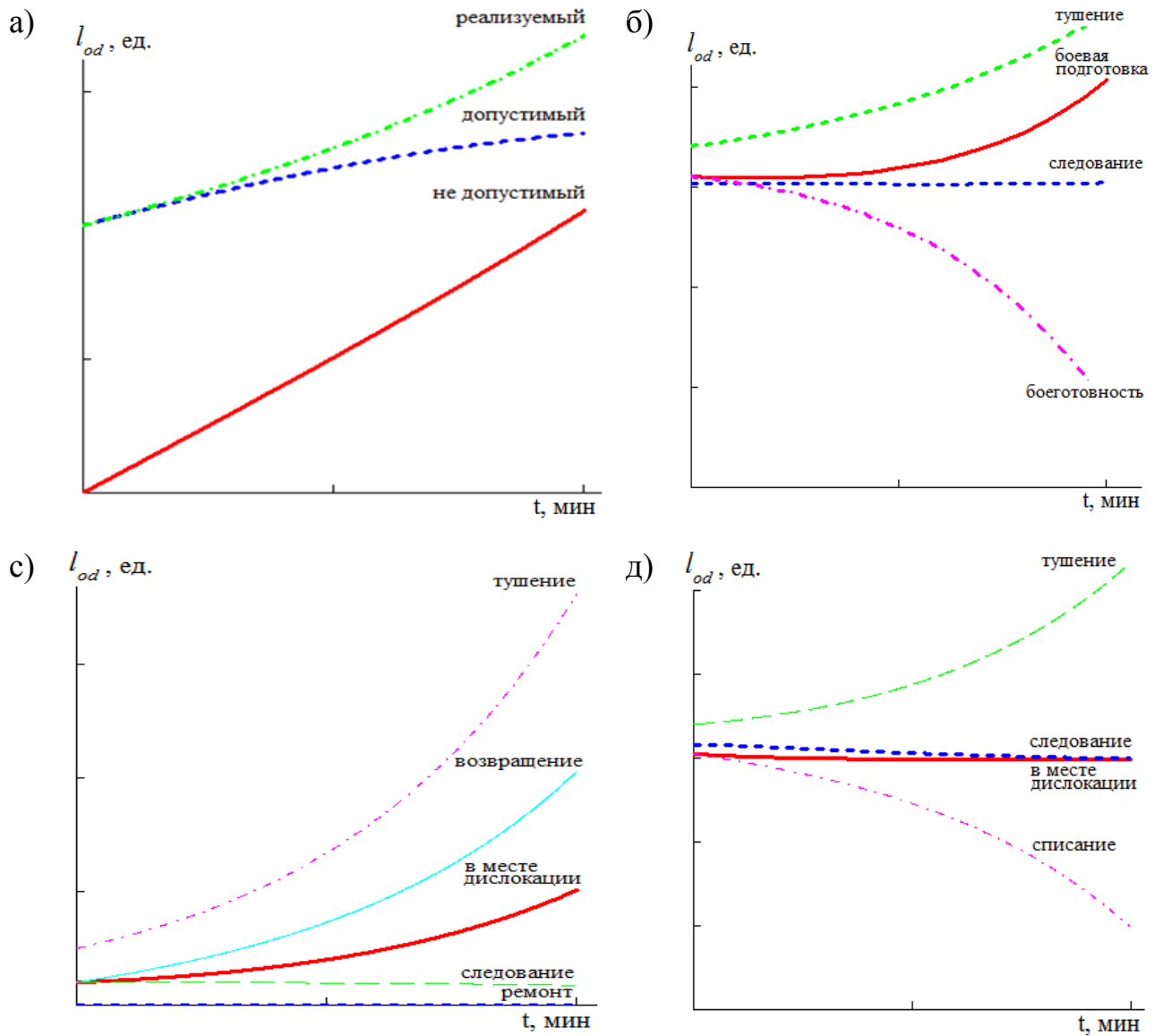


Рисунок 4.7 – Частные решения уравнений нормативных состояний: а – сценарии тушения пожара; б – управление действиями отделения пожарно-спасательного подразделения; с – использование не растрчиваемых ресурсов СиС пожаротушения; д – использование растрчиваемых ресурсов СиС пожаротушения

А10.2. По построенным графам формируются матрицы переходов (с учетом всех необходимых описанных констант)  $ck_{ij}^l$ .

А10.3. Ввод исходных и начальных условий интегрирования систем дифференциальных уравнений (4.17–4.24). В зависимости от плана привлечения

сил и средств при тушении пожара на объекте: ограничение по числу операций  $L_j^i$ ; состава СиС (рис. 4.8 [416]).

A10.4. Интегрирование систем дифференциальных уравнений.

A10.5. Расчет оценок эффективности решения поставленной задачи управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре.

Группы	Подразделение	ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА																	Чис. по СИЗОД (шт)			Огнетушащие вещества			ЛИЧНЫЙ СОСТАВ (колич. чел)			ЛИЧНЫЙ СОСТАВ																									
		Расчет реактрозона										Резерв (ед.)				Не в расчете			Важность на ПА	Резерв (ПА)	Всего в расчете	Всего в резерве	В резерве	Расчет смены			Отсутствует (Количество чел)																										
		Основная (ед.)					Специальная (ед.)					Резерв (ед.)				ТО								По плану в смене	По списку в смене	На лицо	Всего в расчете	Отсутствует	По плану в смене	Контингент	Прочие	На контингент (колич. чел.)	Фактически отсутствующего дежурного по объекту																				
		АЦ	АНР	АВ	АП	Фр.	АП	АКП	ПНС	АР	АГ	Фр.	АЦ	АНР	АП	АКП	Фр.	1	2	Ремонт	В расче	В резерв	В резерв											Пенальти-зачет, л	Порошок, кг	Пенальти-зачет, л	Порошок, кг	Всего в расчете	Всего в резерве	В резерве	Сред. числ. занятых, чел	Сред. числ. занятых, чел	Сред. числ. занятых, чел										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45									
	ПЧ-МВ																																																				
	ПЧ-МВ																																																				
	Итого	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Список рабочего звена	показатель	Кодовое звено	Кодовое чел в смене	ФИО дежурного (диспетчера)	ФИО старшего смены
	Админист. группа				
УВД					
ГИБДД					
Скорая медицинская помощь					
Служба газа					
Электросеть					
Водоканал					
Теплосеть					
АТС					
Иные звено					
Итого					

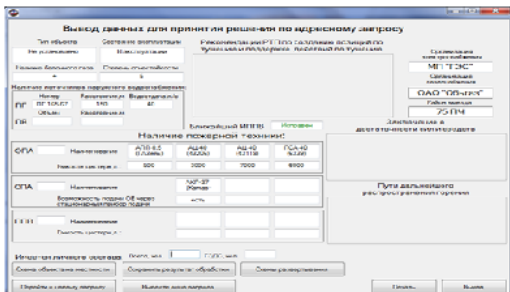


Рисунок 4.8 – Экранная форма элемента СППУРП (интерфейс)

A10.6. Формирование массивов для построения графических зависимостей.

A10.7. Корректировка, по необходимости, старшим оперативным должностным лицом на пожаре (оператор) значений, связанных с СиС пожарно-спасательных подразделений в системе управления пожаротушением, с целью достижения максимального эффекта от принимаемого управленческого решения.

A10.8. Конец алгоритма.

Сущность метода нормативных состояний оперативно-тактических действий заключается в выборе соотношений типовых (базовых) элементов системы управления пожаротушением, удовлетворяющих заданным требованиям для конкретного пожара на объекте.

Методика его применения заключается в однородном разложении процесса управления пожаротушением на формализуемые до элементарных целочисленных подпроцессов, вычислении интенсивности их реализации и

формировании конкретных позиций по тушению (участков, секторов), требующих обслуживания (подмена бойцов, защита от теплового излучения, обеспечение связи и т. п.).

### 4.3. Модель и алгоритмы оптимизации структуры сил и средств на пожаре

Математическая модель расчета рационального числа оперативных пожарно-спасательных подразделений, огнетушащих средств и закрепления их за участками (секторами) тушения, то есть оптимизация структуры СиС на пожаре, моделирующей ведение ОТД пожарно-спасательными подразделениями на пожаре, формализуется в виде взаимовлияющих объектов (подсистем) системы управления пожаротушением мобильными средствами на пожаре:

$$MP = \{te, Poz, MP_{ij}^{(tePoz)}\} = \{te, Poz \{te_i, Poz_j\}_{rn}\}, \quad (4.24)$$

где  $Poz_j$  – позиция при тушении (позиция, участок, сектор),  $\sum_{j=1}^{POZ} Poz_j = poz$ , ед.;

$te_i$  – тактическая единица подразделения (отделение, расчёт, звено),  $\sum_{i=1}^{TE} te_i = te$ , ед.;

$TE$  – общее количество тактических единиц (целое число), принимающих участие в тушении пожара, распределённых на позициях по тушению;  $POZ$  – общее число позиций (целое число), на которых находится личный состав пожарно-спасательных подразделений; количество (тактических единиц), принимающих участие в тушении пожара;  $MP_{ij}^{(Pozte)} = \{te_i, Poz_j : P_{ij}\}$  – массив объектов системы, формирующих разновидность  $(Poz, TE)$  состава системы управления пожаротушением при predetermined значениях позиций при тушении и тактических единиц;  $POZ$  и  $TE$  – максимальные значения допустимых делений значений  $te$  и  $Poz$ , устанавливаемые инструментарием комбинаторного анализа с учётом методов управления пожарно-спасательными подразделениями [204, 251, 253–257, 317, 424, 425].

Формализуем типизированную экономическую эффективность работы элементов системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров:

$$ZE_{ij}^{(Pozte)}(MP_{ij}^{(Pozte)}) = C_1 te_i + \sum T(YT_{ij} C_2) + \varepsilon_{ij}, \quad (4.25)$$

где  $T$  – время осуществления вида оперативно-тактических действий при тушении пожара на конкретном объекте;  $C_1$  – расходы (фактические, расчётные, нормативные) на поддержание способности пожарно-спасательного подразделения приступить к выполнению поставленных задач в заданные сроки, за единицу времени (год, квартал, месяц);  $C_2$  – расходы (фактические, расчётные, нормативные) на проведение вида оперативно-тактических действий при тушении пожара в единицу времени (год, квартал, месяц), в том числе ущерб объекту во время проведения операций оперативно-тактических действий ПП;  $YT_{ij}$  – количество участков тушения пожара в подсистеме ( $MP_{ij}^{(Pozte)}$ ) пожаротушения;  $\varepsilon_{ij}$  – неучтённые расходы.

Тактическая эффективность работы объектов системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров:

$$ZEE_{ij}^{(Pozte)}(MP_{ij}^{(Pozte)}) = \frac{Poz_n^{(Pozte)}}{Poz_f}, \quad (4.26)$$

где  $Poz_n^{(Pozte)}$  – общее количество позиций (нормативное, расчётное) при тушении пожара, с учётом  $Poz$  и  $te$  разновидности распределения в зависимости от объекта тушения;  $Poz_f$  – общее количество позиций (фактическое) при тушении пожара на конкретном объекте.

Получение значения меньше и больше единицы свидетельствует о неэффективности управленческого решения с точки зрения тактики и требуется дальнейшее изучение этого факта при помощи других критериев.

На основе вышеизложенного формализуем оптимизационную задачу эффективного размещения пожарно-спасательных подразделений по заданным



позициям при тушении пожара с учётом разновидности  $Poz$  и  $te$  распределения в зависимости от объекта тушения:

$$EZ_{rn} = \sum_{i \geq 1} \sum_{j \geq 1} ZE_{ij}^{(Pozte)} P_{ij} \rightarrow \min, \quad (4.27)$$

с учётом того, что:

$$\sum_i ZE_{ij} s_i \leq \sum_j ZE_{ij} n_j, \quad (4.28)$$

позиции, создаваемые при тушении пожара, допускается закрепить исключительно за одной тактической единицей (отделение, группа, звено, расчёт) и что любое пожарно-спасательное подразделение подлежит закреплению не менее чем за одной позицией при тушении и формализует условие реализации “безусловного реагирования на сообщение о пожаре” [382].

В таком случае, с учетом вышеизложенного, объединённая задача оптимизации системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара на объекте может быть формализована как:

$$ZE(te, Poz, MP_{ij}^{(Pozte)}) \rightarrow \min; \quad (4.29)$$

$$\sum_{i=1}^I te_i = te; \quad (4.30)$$

$$\sum_{j=1}^R Poz_j = Poz; \quad (4.31)$$

$$MP_{ij}^{(Pozte)} = oMP_{ij}^{(Pozte)} = \{ote_i, oPoz_j : oP_{ij}\}_{\overline{Pozte}}, \quad (4.32)$$

где  $oMP_{ij}^{(Pozte)}$  – эффективное решение управленческой задачи (4.27, 4.28);  $\overline{Poz}$ ,  $\overline{te}$  – разновидности распределения  $Poz$  и  $te$  на эффективные  $oPoz$  и  $ote$ ;  $oP_{ij}$  – значения переменных  $P_{ij}$ , оптимизирующих формулу (4.27).

Оптимизация системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на объекте определяет решение управленческой задачи (4.29–4.32) при следующих трех допустимых вариантах при фиксированных, например, средствах подачи огнетушащих веществ:

- $Poz = const$  и определено, необходимо найти  $te$  и значение экстремума  $MP_{ij}^{(Pozte)}$  в (4.29);
- $te = const$  и определено, необходимо найти  $Poz$  и значение экстремума  $MP_{ij}^{(Pozte)}$  в (4.29);
- $Poz = const, te = const$  и определено, необходимо найти экстремум  $MP_{ij}^{(Pozte)}$  в (4.27, 4.28).

### 4.3.1. Алгоритм решения управленческой задачи оптимизации структуры сил и средств на пожаре

Решение управленческой задачи оптимизации структуры сил и средств пожаротушения на конкретном пожаре предусматривает максимизацию тактического потенциала при минимизации затрат. Формализуем алгоритм (A11) решения задачи оптимизации (рис. 4.9):

A11.1. Начало алгоритма. Инициализация переменных и исходных данных, счётчиков цикла,  $k$ .

A11.2. Если есть возможность загрузить статистические данные о пожарах и (или) описания пожаров, тогда осуществляется поиск максимальных значений, в том числе тактических единиц ( $te$ ), на подобных объектах и позиций при тушении ( $Poz$ ). В противном случае значения выбираются из нормативно-распорядительных документов и (или) справочников.

A11.3. Формирование массивов для всех допустимых комбинаций ( $Poz, te$ ).

A11.4. Поиск. Любым способом (методом случайного поиска [51, 426], «Фибоначчи» [51, 426], дихотомии [426, 419] и т. п.) определяется шаг и направление поиска, его глубина  $m = n$ .

A11.5. Тело цикла. Решение задачи (4.27, 4.28). Вычисление значений  $os_i$  и  $on_j$ , соответствующих  $\overline{Poz}, \overline{te}$ ;  $ZE_{Pozte}^{(k)}$  :

A11.5.1. Условие. Сравнение  $ZE_{Pozte}^{(k)}$  с  $ZE_{Pozte}^{(k-1)}$ . В том случае, если

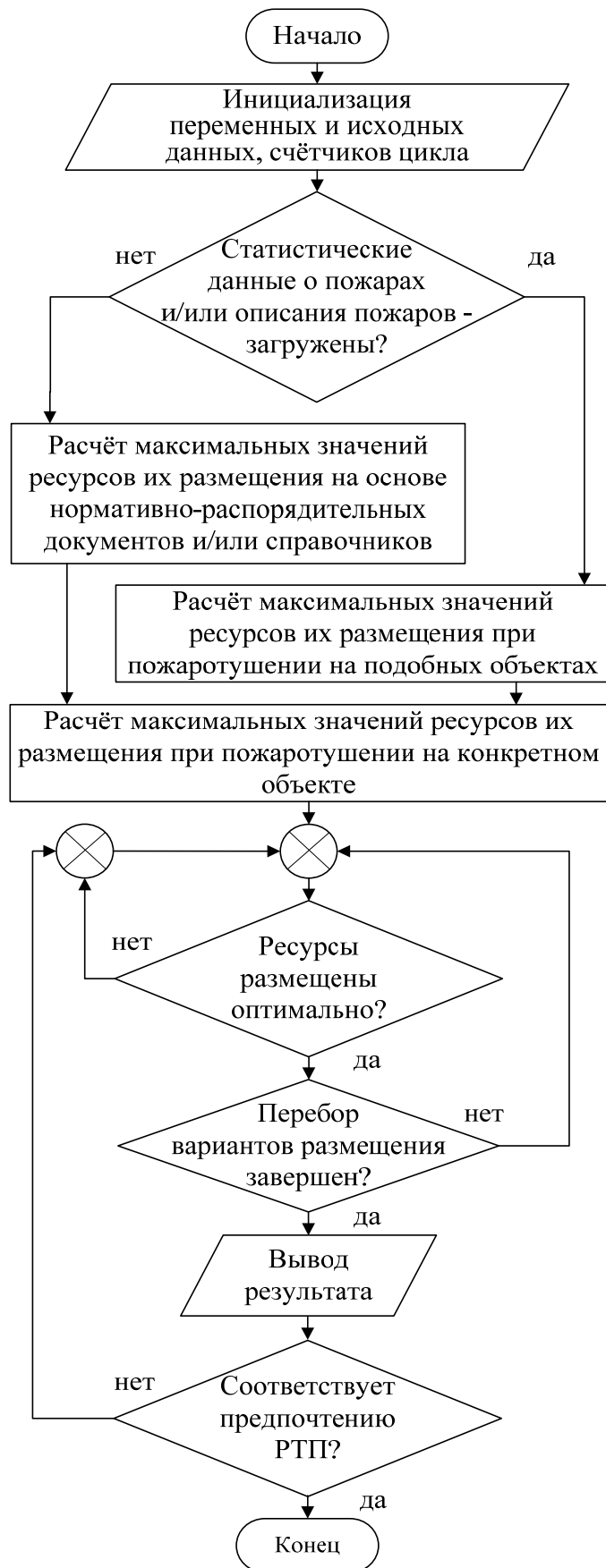


Рисунок 4.9 – Блок-схема решения управленческой задачи оптимизации структуры сил и средств на пожаре

$ZE_{Pozte}^{(k)} < ZE_{Pozte}^{(k-1)}$  истинно, решение, полученное на  $k$ -м шаге, запоминается и не запоминается на  $(k-1)$ -м.

A11.5.2. Осуществляется проверка конца цикла. Если достигнут конец цикла, то решение найдено. Переход на п. A11.4.

В противном случае, проверка выполнения (4.29). Если минимум найден, то решение найдено. Переход на п. A11.6. В противном случае переходим на п. A11.4.

#### A11.6. Завершение алгоритма.

Рассматриваемая управленческая задача представляет собой распределительную задачу общего вида и может быть решена различными методами, в том числе методом «ветвей и границ».

Но при решении нашей конкретной управленческой задачи применительно к ведению оперативно-тактических действий по тушению пожаров возникает ряд трудностей, которые увеличивают трудоемкость «ручного» использования этого метода решения.

Трудности заключаются в том, что [417]: коэффициенты меры оптимальности  $ZE_{Pozte}^{(k)}$  предварительно неизвестны и их вдобавок требуется вычислять в ходе решения задачи. В отличие от обычных распределительных задач, где присвоение переменной  $P_{ij}$  значения 1 означает выбор соответствующего коэффициента не только из массива коэффициентов критерия оптимальности, но и массива ресурсных ограничений, в данном случае пороговые коэффициенты (4.28) явно не заданы и вычисляются только после того, как  $P_{ij}$  присвоено значение 1.

Вышеприведённое определяет применение в текущей ситуации метода «ветвей и границ» [417].

Вышеперечисленные ограничения, накладываемые на процесс вычисления, делают возможным применение комбинаторного эвристического алгоритма [427],

позволяющего получить необходимый результат в процессе порождения допустимых версий решения задачи.

Функционирование алгоритма продемонстрируем на примере организации тушения пожара, на котором в соответствии с описанием работало три пожарно-спасательных подразделения с мобильными средствами пожаротушения (основной ПА) ( $te$ ), рассредоточенных между пятью позициями при тушении ( $Poz$ ).

A1. Начало алгоритма. Инициализация переменных и исходных данных, счётчиков цикла. Порождение допустимых делений параметров  $te$  и  $Poz$  на составные части [417, 424, 425]. Результатом разбиения будут массивы:  $te = (h=1, 3=3; h=2, 3=2+1; h=H=3, 3=1+1+1)$ ,  $Poz = (v=1, 5=5; v=2, 5=4+1; v=3, 5=3+2; v=4, 5=3+1+1)$ .

A2. Порождение матрицы значений эффективностей допустимых подсистем (ресурсов) пожаротушения, из которых может быть сформирована общая система пожаротушения на этом объекте:

$$\|ZE_{ij}\| = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 10 & 12 \\ M & 4 & 6 & 8 & 11 \\ M & M & 7 & 9 & 10 \end{bmatrix}.$$

A2.1. В том случае, если при формировании матрицы ограничение  $m \leq n$  истинно, вычисляем значение по модели, рассмотренной в [417, 420], и запоминаем его. В противном случае, маркируем символом  $M$ .

A3. Порождение матрицы значений допустимых комбинаций разделения  $te$  и  $Poz$ , допустимых комбинаций  $te$  и  $Poz$ . Для всех элементов матрицы  $\|W_{Poz\ te}\|$  в числителе запишем версию  $Poz$  разделения значения  $te$  на компоненты, а в знаменателе версию  $te$  разделения значения  $Poz$  на компоненты:

$$\|W_{Poz\ te}\| = \begin{bmatrix} \frac{3}{5} & \frac{3}{4+1} & \frac{3}{3+2} & \frac{3}{3+1+1+1} & \frac{3}{2+2+1} & \frac{3}{2+1+1+1} & \frac{3}{1+1+1+1+1} \\ \frac{2+1}{2+1} & \frac{2+1}{2+1} & \frac{2+1}{2+1} & \frac{2+1}{2+1} & \frac{2+1}{2+1} & \frac{2+1}{2+1} & \frac{2+1}{2+1} \\ \frac{5}{1+1+1} & \frac{4+1}{1+1+1} & \frac{3+2}{1+1+1} & \frac{3+1+1+1}{1+1+1} & \frac{2+2+1}{1+1+1} & \frac{2+1+1+1}{1+1+1} & \frac{1+1+1+1+1}{1+1+1} \\ \frac{5}{5} & \frac{4+1}{4+1} & \frac{3+2}{3+2} & \frac{3+1+1+1}{3+1+1+1} & \frac{2+2+1}{2+2+1} & \frac{2+1+1+1}{2+1+1+1} & \frac{1+1+1+1+1}{1+1+1+1+1} \end{bmatrix}.$$

А4. Поиск (табл. 4.1). Выбор пары значений  $(Poz, te)$  с учетом ранее рассмотренных ограничений из матрицы  $\|W_{Pozte}\|$ .

А4.1. Формирование допустимых (в рамках этого сочетания) вариантов подсистем пожаротушения на объекте мобильными средствами. Для каждой подсистемы пожаротушения в матрице  $\|ZE_{ij}\|$  находят соответствующее значение критерия эффективности ее функционирования  $\|ZE_{ij}\|$ .

А4.2. Расчёт значений критерия эффективности работы системы пожаротушения  $ZE_{Pozte}^{(k)} = \left( \sum_{i,j} ZE_{ij} \right)^k$ , где  $k$  – номер версии группировки разделённых ранее  $te$  и  $Poz$  в единую систему пожаротушения в  $(Poz, te)$  комбинаций,  $k = \overline{1, k^*}$ .

А5. Поиск (табл. 4.1). Если в массиве значений  $ZE_{Pozte}^{(k)}$  найдено минимальное значение и при сравнении его с вариантом, из предыдущей комбинации  $(Poz, te)$ , то фиксация найденного значения. Определение конца массива. Если конец достигнут – получено оптимальное решение задачи. В противном случае, продолжение поиска п. А5.

А6. Конец алгоритма.

Таблица 4.1 – Сводная таблица расчётных значений

$ie$	$Poz$	Варианты решений	$ZE_{ij}$	$\sum_{i,j} ZE_{ij}$	$ZE_{Pozte}$
1	2	3	4	5	6
3	5	3-5	10	10	
3	4	3-(4+1)	10	10	
	1				
	.				
	.	.....	10	10	10
	.				
3	1	3-(1+1+1+1+1)	10	10	
	1				
	1				
	1				
	1				

продолжение таблицы 4.1

2	4	2-4	8	9	
1	1	1-1	1		
2	3	2-3	6	9	
1	2	1-2	3		
		1-3	5	9	
		2-2	4		
2	3	2-3	6	9	
1	1	1-(1+1)	3		
	1	1-3	5	9	
		2-(1+1)	4		
		1-1	1	9	
		2-(3+1)	8		
2	2	2-2	4	9	
1	2	1-(2+1)	5		9
	1	1-2	3	9	
		2-(2+1)	6		
		1-1	1	9	
		2-(2+2)	8		
2	3	2-2	4	9	
1	1	1-(1+1+1)	5		
	1	1-1	1	9	
	1	2-(2+1+1)	8		
		2-(2+1)	6	9	
		1-(1+1)	3		
2	2	2-2	4	9	
1	1	1-(1+1+1)	5		
	1	1-1	1	9	
	1	2-(2+1+1)	8		
		2-(2+1)	6	9	
		1-(1+1)	3		
2	1	2-(1+1)	4	9	
1	1	1-(1+1+1)	5		
	1	2-(1+1+1)	6	9	
	1	1-(1+1)	3		
	1	2-(1+1+1)	8	9	
		2-(2+1)	6	9	
		2-(2+1)	6	9	
		1-(1+1)	3		
2	2	2-2	4	9	
1	1	1-(1+1+1)	5		
	1	1-1	1	9	
	1	2-(2+1+1)	8		

окончание таблицы 4.1

		2-(2+1)	6	9	
		1-(1+1)	3		
2	1	2-(1+1)	4	9	
1	1	1-(1+1+1)	5		
	1	2-(1+1+1)	6	9	
	1	1-(1+1)	3		
	1	2-(1+1+1)	8	9	
	1	1-1	1		
1	2	1-2	3	7	
1	2	3	4	5	6
1	2	1-2	3		
1	1	1-1	1	9	
		1-(2+1)	5		
		(1+1)-2	4		
1	3	1-3	5		
1	1	1-1	1	7	
1	1	1-1	1		
		(1+1)-3	6	9	
		1-(1+1)	3		
1	2	1-2	3		
1	1	1-1	1	7	
1	1	1-(1+1)	3		7
	1	(1+1)-2	4	9	
		1-(1+1+1)	5		
		(1+1)-(2+1)	6	9	
		1-(1+1)	3		
		(1+1)-(2+1+1)	8	9	
		1-1	1		
1	1	1-1	1		
1	1	1-(1+1)	3	7	
1	1	1-(1+1)	3		
	1	1-(1+1+1)	5		
	1	1-1	1	7	
		1-1	1		

Таблица 4.1 или её графическая интерпретация может высвечиваться СППУРП на мониторе оператора (старшего оперативного должностного лица на пожаре).

Анализ значений, приведённых в таблице 4.1, позволяет сделать вывод об оптимальности версии оперативно-тактических действий пожарно-спасательных



подразделений и выделить два варианта: первый ( $te_1 = 1, Poz_1 = 2; te_2 = 1, Poz_2 = 2; te_3 = 1, Poz_3 = 1$ ) или второй ( $te_1 = 1, Poz_1 = 3; te_2 = 1, Poz_2 = 2; te_3 = 1, Poz_3 = 1$ ), но старшее оперативное должностное лицо на пожаре с учётом своих предпочтений должно принять управленческое решение.

Математическая логика диктует – систему пожаротушения на этом объекте надо разделить на 3 подсистемы, зафиксировать личный состав одного подразделения за 3 позициями при тушении пожара, объединив их в участок тушения, оставшимся двум подразделениям вести действия на отдельных позициях. Можно также объединить в участок тушения пожара по две позиции при тушении и закрепить их за любыми 2 подразделениями, оставшуюся позицию поручить обеспечивать ещё одному подразделению. Следственно, РТП (оператор), корректируя необходимые параметры (в том числе представленные на рис. 4.6), может осуществить распределение сил и средств пожаротушения с учётом своих предпочтений.

После определения идеальных параметров  $te_i$  и  $Poz_j$  имеется возможность определить параметры оптимальных значений сил и средств пожаротушения –  $ie_l^{(ij)}$  в структуре расписания (4.24), где  $ie_l^{(ij)}$  – количество СиС  $l$ -го вида, используемого в  $(ij)$  подсистеме пожаротушения – отделений ( $te$ ) и позиций при тушении ( $Poz$ ). Поэтому теперь рассмотрим алгоритм (модель, хранящуюся в СППУРП) для расчета оптимального значения ( $ie_l^{(ij)}$ ) методом нормативных состояний оперативно-тактических действий при управлении пожаротушением.

#### **4.3.2. Алгоритм определения оптимального значения сил и средств методом нормативных состояний оперативно-тактических действий при пожаротушении**

Организация управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории основана на оценке возможных сил и средств

пожаротушения и вариантов возникновения, а также развития пожара на конкретном объекте [204, 306, 316, 317].

Рассмотрим возможный вариант организации управления тушением пожара на объекте, когда ведение ОТД по тушению пожара ПП происходит в соответствии с ПТП, т.е. система управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара представляется в виде позиции по тушению ↔ ресурсы ПП и работает параллельно и сбалансированно с системой управления пожаротушением ↔ позиции по тушению ↔ пожарно-спасательные подразделения.

Аналогично (4.25) определим, что критерий оптимальности реализации управленческой задачи по ведению ОТД по тушению пожара ПП данного варианта имеет вид:

$$ZE(r) = C_1 r_i + T(Otd_{ij} C_2) + \varepsilon_{ij}, \quad (4.33)$$

где  $r_i$  – количество материальных ресурсов ПП в системе (подсистеме) управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара;  $Otd_{ij}$  – величина операций ОТД при тушении пожара  $i$ -го вида в  $j$ -м состоянии, определяется из выражений, приведённых в [290, 358, 410, 417].

Если управление ведением ОТД по тушению пожара ПП системы – позиции по тушению – подразделения описывается моделью динамики нормативных состояний (4.16–4.23), то критерий оптимальности (эффективности) работы описываемой системы можно формализовать в виде компонент:

- критерия для варианта развития пожара на объекте:

$$f_1 = \int_0^T (I_{od_0}^{(2)}(t)) \cdot C_0^{(2)}(t) dt, \quad (4.34)$$

где  $C_0^{(2)}(t)$  – стоимость (расчётная, нормативная, фактическая) осуществления элемента оперативно-тактический действий пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара за единицу времени, включая ущерб объекта экономики и социальной инфраструктуры во время проведения операций ОТД ПП;  $T$  – период ведения ОТД;

- критерия для пожарно-спасательного подразделения:  
нерастрчиваемые СиС пожаротушения:

$$f_2 = \int_0^T (l_{od_0}^{(1)}(t)) \cdot C_0^{(3)}(t) dt, \quad (4.35)$$

где  $C_0^{(3)}(t)$  – стоимость (расчётная, нормативная, фактическая) потерь в единицу времени от нахождения в резерве или неиспользования пожарно-спасательных подразделений на пожаре;

$$f_3 = \int_0^T (l_{od_1}^{(3)}(t)) \cdot C_1^{(3)}(t) dt, \quad (4.36)$$

растрчиваемые СиС пожаротушения:

$$f_4 = \int_0^T (l_{od_0}^{(4)}(t)) \cdot C_0^{(4)}(t) dt, \quad (4.37)$$

где  $C_0^{(4)}(t)$  – стоимость потерь от неиспользования, нерасходуемых СиС.

Тогда критерий оптимальности имеет вид:

$$ZE(N^{(1)}, N^{(2)}, N^{(3)}, N^{(4)}) = \sum_{i=1}^{i=4} f_i \rightarrow \min, \quad (4.38)$$

где  $f_i$  – значения составляющих (4.27, 4.28) критерия оптимальности, определённые при допустимых исходных значениях количества СиС пожаротушения ( $N^{(3)}, N^{(4)}$ ), участков тушения ( $N^{(1)}$ ), подразделений ( $N^{(2)}$ ) в системе управления пожаротушением мобильными средствами.

Следует учитывать, что значения  $N^{(1)}, N^{(2)}, N^{(3)}, N^{(4)}, C_0^{(2)}(t), C_0^{(3)}(t), C_0^{(4)}(t), C_1^{(3)}(t)$  либо берутся СППУРП автоматически из базы знаний, либо их задает РТП на основании своего опыта и интуиции.

Таким образом, получена оптимизационная задача, у которой показатель оптимальности обусловлен общим (начальным) объёмом СиС в системе управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара, а ограничениями являются уравнения нормативных (граничных) состояний, описывающие ведение ОТД ПП при тушении пожаров на объектах экономики,

социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории. Этот вывод подтверждается комплексным анализом статистических данных о тушении пожаров, приведённых в 1 главе.

Разработан алгоритм А12 поиска оптимального соотношения числа позиций при тушении, пожарно-спасательных подразделений и количества сил и средств по моделям (критериям) (4.33) и (4.38):

А12.1. Инициализация исходных данных и переменных. Количество позиций при тушении ( $Poz$ ) пожара, максимально возможное значение вида и количества СиС пожарно-спасательных подразделений ( $r_{max}$ ), пожарно-спасательных подразделений в системе управления пожарно-спасательными подразделениями ( $l_{max}$ ).

А12.2. Контроль введённых данных. В том числе,  $r_{min} = Poz \leq r \leq r_{max}$ .

А12.3. Вычисление. Решение системы дифференциальных уравнений.

А12.3.1. Вычисление параметра меры оптимальности. При заданном значении  $r$  после решения системы уравнений (4.16–4.25) вычисляется значение критерия оптимальности  $ZE(k)$ , где  $k$  – номер итерации работы алгоритма.

А12.4. Условие. Сопоставление меры оптимальности на  $k-1$  и  $k$  шагах цикла ( $ZE(k)$  и  $ZE(k-1)$ ).

А12.4.1. В случае, когда  $ZE^{(k-1)} \leq ZE^{(k)}$ , запоминается значение  $ZE^{(k-1)}$ .

А12.4.2. В случае, когда  $ZE^{(k-1)} > ZE^{(k)}$ , запоминается значение  $ZE^{(k)}$ .

А12.5. Проверка условия прекращения вычисления. В случае, когда  $r < Poz$ , осуществляется переход к шагу А12.5. В противном случае, вычисление прекращается. Запоминается вычисленное значение (оптимальное) ( $opt$ )  $r$ .

А12.6. Методом дихотомии (применение чисел «Фибоначчи», случайного поиска) изменяется значение  $r$  и осуществляется переход к шагу А12.3.

А12.7. При найденном значении  $opt$   $r$ , переходим на шаг А12.3 и осуществляется поиск следующего значения  $opt$   $r$ .

А12.8. Завершение работы алгоритма.

Приведённый подход (алгоритмы и метод) к оптимизации количества сил и средств в системе управления пожарно-спасательными подразделениями может использоваться для управления ПП (всех видов) при тушении пожаров на многих объектах, когда при известном числе сил 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 при тушении, подразделений, других ресурсов и интенсивностей работы и расходования как личного состава, так и ресурсов может быть представлен следующим образом:

$$ZE = C_1^l l + C_1^r r + T(o1(\Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)})C_2 + o2(\Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)})C_3) \rightarrow \min, \quad (4.39)$$

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

Если применить для описания работы системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара уравнения (4.16–4.23), то критерий оптимальности примет вид:

$$ZE(l, r : \Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)}) = \sum_{i=1}^{i=5} ze(l, r, \Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)}) \rightarrow \min. \quad (4.40)$$

Оптимизация этого выражения в предположении их унимодальности производится по схеме, уже описанной выше в параграфе 4.2. Задают границы изменения величин  $l, r, \Psi^{(Poz)}, \Omega^{(r)}$ . Затем из анализа конкретной управленческой задачи всем оптимизируемым параметрам задаются нулевые приближения к решению, то есть информация подставляется в соответствующие системы уравнений, описывающие работу системы управления пожарно-спасательными подразделениями и имитирующие ведение ОТД ПП рассматриваемой системы, и вычисляется значение  $ZE$  (или  $F$ ). Полученное значение  $ZE$  запоминается в памяти ЭВМ. После этого значения всех параметров, кроме одного (например,  $\Psi$ ), закрепляются. Любым методом (дихотомии, “Фибоначчи”, случайного поиска) [51, 384–386] осуществляется нахождение экстремума по закреплённому текущему параметру. Затем, закрепляя найденный экстремум за первым значением, производят аналогичные действия со вторым, оставляя в неприкосновенности все остальные. После определения по всем показателям минимума функции получаем очередное первое приближение. Затем сопоставляя с заданной точностью нулевое и первое приближение, делают (СППУРП) вывод – достигнут ли минимум функции  $ZE$  или требуется повторение цикла поиска другого приближения. Его поиск осуществляется вышеприведённым методом до тех пор, пока не будет получена необходимая точность.

Утверждение 4.1. Любой массив допустимых сценариев ведения оперативно-тактических действий при тушении пожара ( $P_i$ ) такой, что  $P_i \in P^{(r)}$  и соответствует требованиям некоторого критерия  $K_k$ , для  $k = 1, \dots, 5$ . В качестве критерия, как правило, выбирают формализованные принципы выбора решающего направления ведения ОТД, т. е. осуществляется постановка задачи

управления на данном этапе тушения пожара. В данный момент времени критерий может быть только один.

Доказательство.

Обоснуем то, что для всех  $P_i \in P^{(r)}$  определено соответствие сценария ведения оперативно-тактических действий 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.

Приведённые критерии оптимальности могут являться элементами модели качества управления силами и средствами пожаротушения мобильными средствами, приведённым в параграфе 4.4.

Эта модель реализует принцип компьютерной поддержки принятия решений в выборе типовых элементов системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара, основанный на моделировании и оптимизации ее функционирования, в том случае, когда:

с помощью СППУРП РТП или оператор, нарисовав (выбрав) предварительно соответствующий граф переходов системы из состояния в состояние (план схему ведения ОТД при тушении пожара на конкретном объекте), формирует соответствующую матрицу переходов  $ck_{jk}^r$ ;

задаются начальные условия интегрирования систем дифференциальных уравнений и значения  $N^{(1)}, N^{(2)}, N^{(3)}, N^{(4)}, C_0^{(2)}(t), C_0^{(3)}(t), C_0^{(4)}(t), C_1^{(3)}(t)$ ;

вычисления (интегрирование дифференциальных уравнений, решение оптимизационной задачи) СППУРП выполняет в автоматическом режиме, предоставляя возможность РТП (старшему оперативному должностному лицу на пожаре, начальнику штаба пожаротушения или оператору) варьировать выбранными (задаваемыми) им параметрами.

#### 4.3.3. Метод поддержки принятия решения по тушению пожара

Для принятия эффективных управленческих решений необходимо использовать формальные методы их оценки. Формализованная система поддержки принятия управленческого решения предоставляет возможности старшему оперативному должностному лицу на пожаре всесторонне осмыслить собственные предпочтения в тесной связи с реальным выбором метода управления пожарно-спасательными подразделениями с целью адаптации или, может быть, упрощения взаимодействия с (между) участниками пожаротушения, а также сфокусировать их и своё внимание на кризисных ситуациях с целью уменьшения времени поставленной управленческой задачи на пожаре, так как



четвертая индустриальная революция, характеризующаяся сочетанием технологий, разрушающих рамки между физической, цифровой и биологической областями деятельности человека, предоставляет возможность формирования массива возможных решений, удовлетворяющих предопределённым старшим оперативным должностным лицом на пожаре граничным условиям и ряду разнородных критериев, а не единственного. Идеологию формализации оценок предпочтительнее рассмотреть на методе независимого принятия решений.

При управлении пожарно-спасательными подразделениями на месте пожара и постановке задачи на ведение оперативно-тактических действий старшее оперативное должностное лицо на пожаре, как правило, отчётливо осознаёт, «что на что он готов поменять» для достижения основной цели, поэтому, по нашему мнению, для формализации управленческого решения можно применить метод кусочно-линейной аппроксимации [428–431], который даёт возможность провести линейное одночленное упорядочение, однако, предъявляет ряд количественных и качественных требований к содержанию первичной информации для принятия управленческого решения, но в том случае, если решение этой задачи осуществляется расчётно-аналитическими методами, а замещающие коэффициенты зафиксированы и неопределённость в данных поступающих от сил пожаротушения исключает старшее оперативное должностное лицо на пожаре и/или сотрудник оперативного штаба (эксперт).

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).

Опишем алгоритм формализации структуры полезности с точки зрения старшего оперативного должностного лица на пожаре путем построения нейтральных поверхностей.

Для этого множество оперативно-тактических действий на пожаре, которые можно провести на конкретном объекте  $P$ , разделим на некоторые логически

завершённые подмножества (операции):  $P = \bigcup_{j \in J} ZT^j$ , пригодные к сортировке  $ZT^j = \bigcup_i^j$ .

Пусть далее в каждом подмножестве  $ZT_i^j$  выделяется некоторое предпочтительное действие  $zt_{p^r} \in P^i \in P^r \in P$ , причем множество  $P^0$ , состоящее из всех оперативно-тактических действий, также сортируемо и выбор старшего оперативного должностного лица на пожаре (РТП, начальник штаба пожаротушения или оператор) на любом наборе оперативно-тактических действий адекватен совокупности всего набора для упорядочения. Анализ литературных источников [428–431] позволил сделать вывод о том, что применённое тотальное упорядочение является единственной для всех систем частичных сортировок.

Введем понятие нейтральной линии. Линия гиперповерхности функции  $U(x_1, \dots, x_i)$ ,  $i = \overline{1, I}$  идентифицируется в виде совокупности таких точек  $x = (x_1, x_2, \dots, x_i)$ , что в них функция полезности  $U(x) = const$ . Этим функциям присвоим имя нейтральных линий. Термин «нейтральная линия» обоснован идентичностью полезности выбора значений  $x = y$ , находящихся на одной кривой и функции  $U(x) = U(y)$ . Правило нормализации подстановки между двумя критериями  $i$  и  $j$  эквивалентна количеству единиц, соответствующих критерию  $i$ , исключение их может быть возмещено единственным значением по критерию  $j$ .

Введём обозначение ограниченной области в объёме допустимых оперативно-тактических действий пожарно-спасательных подразделений при организации тушения пожара на объекте –  $P$ . Эту структуру полезности можно представить в виде гладкой нейтральной поверхности и использовать линейную аппроксимацию для исследований по следующему алгоритму А13:

А13.1. Разделение области  $P$  на правильные многогранники.

А13.2. Фиксация в середине правильных многогранников нейтральной плоскости, в том числе в интерактивном режиме с оператором (старшим оперативным должностным лицом на пожаре), используя коэффициенты возмещения.

A13.3. Разделение правильных многогранников на элементарные фигуры рядом плоскостей параллельными нейтральной плоскости.

A13.4. Поиск вида (типа) оперативно-тактического действия для конкретного варианта развития и тушения пожара на основе предпочтений оператора.

A13.5. Сортировка массива допустимых элементарных операций для оперативно-тактических действий с учётом предпочтений оператора, в том числе в интерактивном режиме с оператором (старшим оперативным должностным лицом на пожаре).

A13.6. Формирование объединённого массива с набором видов оперативно-тактических действий при тушении пожара на объекте с учетом результатов A13.5.

A13.7. Окончание алгоритма.

Графическая интерпретация ограниченной области в объёме допустимых оперативно-тактических действий пожарно-спасательных подразделений при организации тушения пожара на объектах экономики, социальной инфраструктуры приведена на рис. 4.10, где выбранный вид оперативно-тактических действий откладывается в центре отрезков. Отрезки формируются в результате скрещивания диагонали (стороны) основного правильного многогранника со второстепенными.

Так как основные положения представленного алгоритма находятся в области численного исследования массива допустимых при тушении пожара на конкретном объекте оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями, то при моделировании используются лишь нормируемые локальные пространства, то есть пространства представляют собой количественную шкалу, позволяющую оценивать действия относительно разных критериев (мер). Согласно терминологической базе пожарной тактики, оперативно-тактические действия пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров начинаются с момента получения сообщения о пожаре и

считаются законченными по возвращению подразделения на место постоянного размещения.

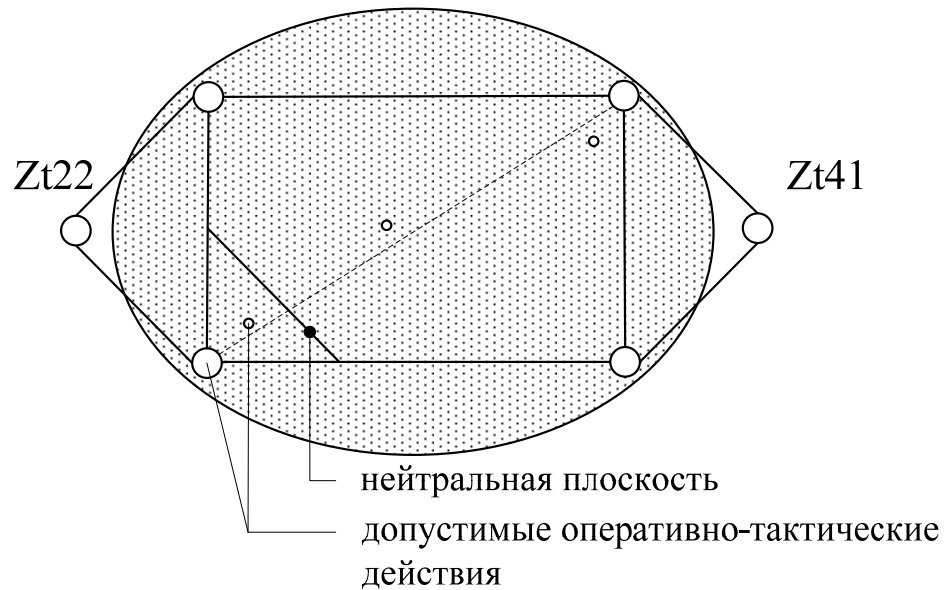


Рисунок 4.10 – Пример ограниченной области в объёме допустимых оперативно-тактических действий пожарно-спасательных подразделений при организации управления пожаротушением на объекте экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории

С целью формализации структуры полезности с точки зрения оператора (старшего оперативного должностного лица на пожаре) применим “аппарат замещений”, а для порядка “выяснения замещения используем выбор альтернатив” [425, 426].

В качестве логической начальной информации, необходимой для работы, в алгоритмы поиска замещений вводятся допустимые решения, а также их свойства. Градуируется шкала свойств допустимых управленческих решений, опираясь на то, что она непрерывная и числовая. Определяется опорное свойство, в отношении которого первоначально будет осуществляться замещение. Допустимые управленческие решения – это этап управления пожаротушением на конкретном объекте с учётом тактического потенциала пожарно-спасательного подразделения, в рамках оперативно-тактических действий, реализуемый старшим оперативным должностным лицом на пожаре.

Под альтернативами в данном исследовании будем понимать значения (точки, этапы, операции) в массиве допустимых оперативно-тактических действий пожарно-спасательных подразделений при тушении пожара на конкретном объекте, которое старшему оперативному должностному лицу на месте пожара рекомендуются и допустимое её приращение для основного (характерного) свойства. Старшему оперативному должностному лицу на месте пожара необходимо задать диапазон вариаций оставшихся свойств с тем, чтобы выработанная альтернатива оказалась идентичной начальной.

Целью алгоритма является деление с учётом полезности (предпочтений) оператора (старшего оперативного должностного лица на пожаре) рассматриваемого массива допустимых оперативно-тактических действий, реализуемых пожарно-спасательными подразделениями при организации управления при тушении пожара, на зоны (нейтральные полосы).

Все объекты, положения которых отображаются значениями в одной области, принимаются подобными с присвоением им определённой категории, определённой для этой области. Метод интегрирования частичными сортировками лёг в основу предлагаемого алгоритма А14.

А14.1. Инициализация и ввод исходных данных и переменных. Формирование массива допустимых состояний оперативно-тактических действий пожарно-спасательных подразделений и их свойств для конкретного объекта. Шаг шкалы для свойств состояний,  $m$ . Масштаб изменения шкалы,  $n$ .

А14.2. Контроль введённых данных.

А14.3. Сортировка. Разделение массива допустимых состояний на подмассивы, содержащие значения, к которым может быть применена линейная аппроксимация функции полезности.

А14.4. Корректировка подмассива допустимых состояний. На основе предпочтений оператора для конкретизации с учётом варианта развития и тушения пожара возможны следующие варианты.

А14.4.1. Ручной ввод делений шкалы допустимых параметров для всех свойств состояний.

A14.4.2. Ручной ввод интервальных значений шкалы изменений для всех свойств состояний –  $t, 2t, \dots, nt$ , где  $t = \frac{1}{n} \left( \frac{x_{ij+1} - x_{ij}}{2} - x_{ij} \right)$ .

A14.4.3. Автоматический режим изменения интервальных значений шкалы изменений для всех свойств состояний.

A14.5. Тело цикла. Выработка альтернатив внутри подмассива допустимых состояний.

A14.5.1. Инициализация начальной (опорной) альтернативы.

A14.5.2. Условие, если выбран был п. A14.4.3, то фиксация в центре правильного многогранника и середине нейтральной плоскости начальной (опорной) альтернативы (рис. 4.11).

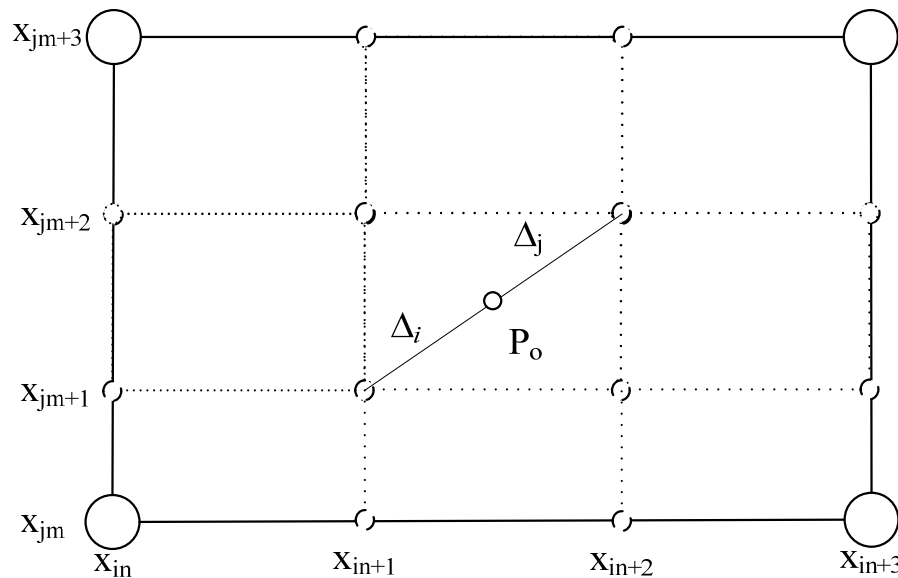


Рисунок 4.11 – Выбор опорной альтернативы

A14.5.3. Инкремент к свойству начальной альтернативы:

$$\Delta_1 = \frac{m-1}{m} \left( x_{ij+1} - \frac{x_{ij+1}}{2} \right).$$

A14.5.4. Выявленное значение альтернативы обозначается как предпочтительное.

A14.6. Аппроксимация нейтральных поверхностей.

A14.6.1. Расчёт замещающих коэффициентов:  $\lambda = \Delta_i / \Delta_1$ .

A14.6.2. Аппроксимация линейным функционалом нейтральных поверхностей в каждом правильном многограннике:  $F_v = \sum_{i=1}^i K_{iv} X_i + K_{0v}$ , где  $v$  – индекс рассматриваемого правильного многогранника.

A14.7. Сортировка. Определение нейтральных зон и установка уровня важности.

A14.7.1. Расчёт соответствующих функционалов значений (точки, этапы, операции) с экстремальными значениями свойства.

A14.7.2. Формирование массива линейных функционалов. Разделение значений на подмассивы в зависимости с интервалами, заданными в п. A14.4.

A14.7.3. Присвоение значениям в подмассивах (нейтральных зон) уровня важности с учётом того, что чем значительнее значение функции выбора в подмассиве, тем больше уровень важности (рис. 4.12).

A14.8. Окончание алгоритма.

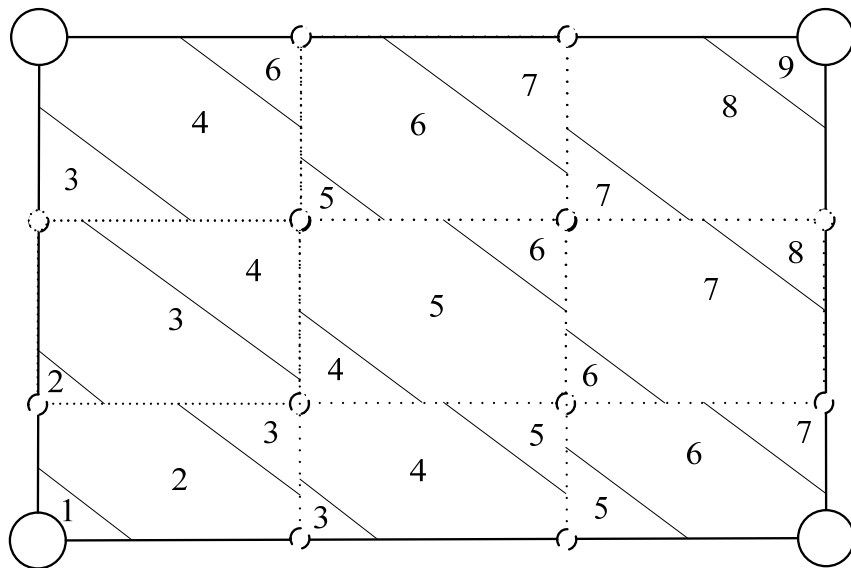


Рисунок 4.12 – Ранжирование уровня важности

Другими словами, определены области равноценности в зоне допустимых оперативно-тактических действий на конкретном объекте. Один способ реализации оперативно-тактических действий отделён от другого нейтральной плоскостью. Из этого следует, что дилемма в причислении определённого состояния выполнения оперативно-тактических действий при тушении пожара на

конкретном объекте к допустимому набору, содержащего некоторое количество степеней предпочтений старшего оперативного должностного лица на пожаре. Эти уровни предпочтения (важности) упорядочены для старшего оперативного должностного лица на пожаре (РТП, начальника штаба пожаротушения или оператора) в том смысле, что состояние выполнения оперативно-тактических действий при тушении пожара на конкретном объекте, которое отнесено в первый уровень предпочтения (важности), предпочтительнее для старшего оперативного должностного лица на пожаре (начальника штаба пожаротушения или оператора), чем состояние, отнесенное ко второму уровню важности (предпочтения) и т. д.

Каждый правильный многогранник разделен на три сектора – класса, класс определяет приоритет (чем меньше номер, тем выше приоритет). В ходе выполнения поставленной задачи его показатели могут меняться, и это должен учитывать РТП (СППУР). Значения этих показателей могут быть получены в результате обследования объекта [423, 432] или пожарно-тактических учений (занятий) [433] и (или) моделирования [242, 346, 372, 392] и размещены на запоминающем устройстве (базе знаний) в виде справочников, таблиц и/или номограмм системы, либо получены в результате реализации поставленной задачи на конкретном пожаре, либо получены системой автономно в результате работы внутренних алгоритмов, и в этом случае их преимущество будет динамически приспосабливаться к методу ведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями. Так, процесс управления тушением пожара проходит последовательно через точки А, В, С, D, и, таким образом, его приоритет выполнения оперативной управленческой задачи и характеристики тушения пожара будут меняться.

Соответственно, количество учитываемых свойств может быть приумножено, но при этом будет сложнее определять нейтральные поверхности.

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 4.2. Для 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 (рис. 3.3) и многогранника ( $M$ ) (рис. 4.9) допустимых оперативно-тактических действий пожарно-спасательных подразделений 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.

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  $\Pi_1, \dots, \Pi_n$ , тогда среди них имеется, как минимум, один критический путь  $\Pi_k$ , такой, что для точки  $t \in M_i$  длина базового варианта:

$$P_i = \sum_{j \in \Pi} T_j. \quad (4.41)$$

Пусть  $T_i^6$  – верхнее значение базового варианта  $\Pi_n$ , отображённое на многограннике  $M_i$ , а  $T_i^H$  – нижнее его значение. В этом случае справедливо:

$$T_{max}^6 = \max T_i^6; \quad T_{min}^H = \min T_i^H, \quad \text{для } i = i-1, \dots, I.$$

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  $\Pi_1, \dots, \Pi_n$  – все пути ориентированного графа  $G$ , описывающего распределение задач управления и принятия решений при осуществлении пожаротушения 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  $\Pi'$  – 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, с учетом введения обозначения  $T_{\min} = \min T_i$ . В том случае, если выполняется неравенство:

$$\sum_{i=1}^I T_i'' + T_{\min} \geq T_{\max}^e,$$

где  $T_i''$  – 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.

После того как сформировано очередное разбиение, на пересечении многоугольников, 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:

$$\sum_{j \in \Pi_{\text{new}}} T_j = \sum_{j \in \Pi_{\text{old}}} T_j, \quad (4.42)$$

а это значит, что в левой части (4.42) 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  $P_{\text{new}}$  и  $P_{\text{old}}$  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, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории ниже.

Утверждение доказано.

Методика его применения заключается в формировании упорядоченной информации для локализации и ликвидации пожара по общей сумме признаков (качественных и/или количественных) в соответствии с предпочтением руководителя тушения пожара.

#### **4.4. Модель оценки эффективности решения задач управления и принятия решений**

В системе управления обеспечением пожарной безопасности и в её подсистеме управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара полнота использования математических описаний процессов

планирования и управления, в первую очередь на месте пожара, возможна только в результате деятельности личного состава на позициях по тушению и их руководителей как элементов принятия управленческих решений.

Как утверждается в [180], “человек мыслит образами, которые являются результатом и идеальной формой отражения предметов и явлений материального мира в сознании человека”. При этом одной из материальных форм воплощения образов являются знаковые модели управления пожаротушением. В связи с этим любые утверждения можно делать только относительно модели предметной области. Поэтому за параметр определённого объёма структурной информации  $M^s$  о системе управления пожаротушением мобильными средствами можно определить некоторый показатель сложности ее отображения. Это будет означать, что “в отличие от бесконечного процесса познания материальной системы, ее модель как формализованная конструкция, построенная по определенным правилам – познаваема” [434] и “существуют меры сложности модели и среди них есть одна, обладающая свойством всегда принимать минимальное значение при применении ее к моделям одного класса“ [434, 435].

При принятии управленческих решений на месте пожара происходит переработка больших массивов оперативно-тактической информации (структурной и содержательной), а внедрение компьютерных систем поддержки принятия управленческих решений 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 и позволяющих на основе точных понятий описывать процесс семантического анализа и интерпретации поступающей информации с места пожара является актуальной.

### Принципы определения меры структурной информации

Для синтеза меры количества структурной информации с места пожара (в рамках теории управления пожаротушением) воспользуемся положениями, приведёнными в [436–441]:

$\Gamma^M$  – физическая величина, характеризующаяся многофункциональностью при отображении событий физической природы процесса управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара. Эту величину можно измерить, и можно разработать алгоритм получения её количества ( $KI^M$ ), дающий однозначные результаты в одних и тех же условиях. Она обладает свойством объективности, поэтому результат измерения не должен зависеть от факторов, не имеющих прямого отношения к процессу её получения и переработки. Из этого следует, что при обработке информационного массива с этой величиной её нельзя измерять через априорную вероятность. Наличие в структурной информации, поступающей с места пожара ( $\Gamma^M$ ), некоторого её количества ( $KI^M$ ) есть внутреннее свойство системы управления на пожаре, и любой выбранный оперативно-тактический показатель базируется на соответствующих внутренних характеристиках и особенностях моделируемой системы. Поэтому ( $\Gamma^M$ ), содержащаяся в системе управления на пожаре, представляет собой ее структурно-информационный ресурс пожаротушения. С учетом вышеуказанного и в рамках теории познания [442, 443], можно ставить вопрос не о наличии или отсутствии информации ( $\Gamma^M$ ) в системе управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара, а об анализе принципиального соотношения между  $KI^M$ , содержащейся в системе, и  $KI^M$ , содержащейся в модели управления пожаротушением.

Поскольку алгебраическая модель управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара (1.14) (в том случае, если входящие в её множества конечны) представляет собой конструктивный объект [130, 131], то описание такого объекта есть упорядоченная последовательность символов некоторого алфавита [51, 337, 344], которую в дальнейшем будем называть «сообщение».

Сообщение обладает необходимым для определения количества информации свойством различимости, и поэтому можно считать, что  $KI^M$ , содержащееся в системе тушения пожара (позиции по подаче огнетушащих веществ, штабе пожаротушения и т. п.) и передаваемое любому потребителю (НУТ, НШ, НТ, РТП и т. п.) средствами символьного описания системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара, пропорционально числу символов, входящих в соответствующее сообщение. Тогда согласно [435, 436] количество структурной информации ( $KI^M$ ), передаваемой этой моделью системы  $P$ , пропорционально числу символов в минимальном сообщении:

$$\left\{ \begin{array}{l} KI^S = \sum_{i=1}^m KI_{ji} \quad , \quad j = m, ie, вс, ооп, зт, d \\ \text{соб}_m + \text{соб}_{ie} + \text{соб}_{вс} + \text{соб}_{ооп} + \text{соб}_{зт} + \text{соб}_d = \min \end{array} \right. \quad (4.43)$$

где  $KI_{ij}$  – количество содержащейся информации в одном символе  $i$ , вида  $j$  ( $m, ie, вс, ооп, зт, d$ ), отображающем элемент множества вида  $j$  ( $M, IE, BC, OOP, P^{(r)}, D$ ) соответственно;  $\text{соб}_m + \text{соб}_{ie} + \text{соб}_{вс} + \text{соб}_{ооп} + \text{соб}_{зт} + \text{соб}_d$  – число символов, представляющих элементы  $m, ie, вс, ооп, зт, d$  (глава 1) в минимальном сообщении данной системы управления пожаротушением  $P$  или подсистеме соответственно.

Методы и алгоритмы определения минимального количества символов в сообщении не являются предметом рассмотрения в рамках данной работы, т. к. этому посвящен раздел теории формальных грамматик.

Предполагая аддитивность информации для определения количества информации, переносимой символом ( $m, ie, вс, ооп, зт$ ) в сообщении с места пожара, представляющим элементы  $m \in M, ie \in IE, ооп \in OOP, зт \in P^{(r)}$ , не имеющие структуры, можно в соответствии с [439] использовать логарифм простого разнообразия, состоящего из  $n_j, j = m, ie, ооп, зт$  возможностей:

$$\begin{array}{l} KI_{mi} = \ln \left( n_m \right), \quad i = 1, \overline{\text{соб}_m}; \quad KI_{iei} = \ln \left( n_{ie} \right), \quad i = 1, \overline{\text{соб}_{ie}}; \\ KI_{оопi} = \ln \left( n_{ооп} \right), \quad i = 1, \overline{\text{соб}_{ооп}}; \quad KI_{зти} = \ln \left( n_{зт} \right), \quad i = 1, \overline{\text{соб}_{зт}}. \end{array}$$

где  $n_M$ ,  $n_{IE}$ ,  $n_{ООП}$ ,  $n_{ЗТ}$  – количество элементов множеств  $M$ ,  $IE$ ,  $ООП$ ,  $P^{(r)}$  соответственно.

Тогда с учетом (4.43):

$$KI_{Mi} = cob_M \ln(n_M); \quad KI_{iei} = cob_{ie} \ln(n_{ie});$$

$$KI_{ООП\phi i} = cob_{ООП} \ln(n_{ООП}); \quad KI_{ЗТi} = cob_{ЗТ} \ln(n_{ЗТ}).$$

В связи с тем, что элементы множества  $BC \in BC$  представляют информационные связи и отношения между элементами множества  $M$ , возможно в качестве соответствующего символа в сообщении определить некоторое значение  $X$ , воспринимаемое в качестве интенсивности этой связи или одного из двух, наличие–отсутствие, связи [263]. Аналогично представляются элементы множества  $D$ , представляющие информационные связи, определяемые технологией переработки информации.

В случае наличия–отсутствия связи запишем по две возможности:  
 $KI_{BCi} = cob_{BC} \ln(2); \quad KI_{di} = cob_d \ln(2).$

Для определения количества информации, переносимой символами “интенсивность”, введём следующие ограничения: все числа–интенсивности  $X_i$ ,  $i=1, \overline{n_{BC}}$ , информационных связей унаследованы из протоколов измерений, выполняемых с определённой погрешностью  $\varepsilon_{BCi}$ ; число–интенсивность  $X$  связи ограничено сверху некоторой величиной  $O$ .

Тогда, по [263], все возможные результаты измерений интенсивности  $i$ -й связи  $X_i$  представляют собой простое разнообразие из  $O_i/\varepsilon_{BCi}$  возможностей и для соответствующего элемента массива  $BC_i \in BC$  можно представить:

$$KI_{BCi} = \ln\left(O_i / \varepsilon_{BCi}\right) \quad i=1, \overline{n_{BC}},$$

и поэтому общее количество пассивной структурной информации, содержащейся в модели управления пожаротушением мобильными средствами ( $P$ ), относительно конкретной системы управления на пожаре можно определить как:

$$\begin{aligned}
 \Pi: KI^M(P) = & \text{cob}_M \ln(n_M) + \text{cob}_{ie} \ln(n_{ie}) + \\
 & + \left( \sum_{i=1}^{n_{bc}} \ln(O_i / \varepsilon_{vci}) \right) \vee \left( \text{cob}_{bc} \ln(2) \right) + \text{cob}_{ооп} \ln(n_{ооп}) . \quad (4.44)
 \end{aligned}$$

Анализ выражения (4.44) показывает, что о функционировании системы управления на пожаре несёт информацию только третий компонент, а остальные – являются постоянными.

Вернемся к определению погрешности  $\varepsilon_{bc}$  – если она представляет собой случайную величину, то трактуя  $\varepsilon_{vci} / O_i = V_i$  как вероятность, количество информации по Шеннону:  $KI_{vci} = -\ln V_i$ .

На основании вышеизложенного определим коэффициент 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,  $ооп_j(z_{Tj}) \in \text{ООП}$ ,  $j=1, n_{\text{ООП}}$ , происходящие для реализации локализации и ликвидации пожара пожарно-спасательными подразделениями, в виде последовательности соответствующих управленческих задач при тушении ( $z_{Ti} \in ZT$ ,  $i=1, n_{ZT}$ ), структур пожаротушения (позиция на подачу огнетушащих веществ, участок тушения, сектор и т. п.) в зависимости от оперативной обстановки на пожаре ( $ооп_k = z_{Ti} ооп_j = \gamma(z_{Ti}) ооп_j = z_{Ti}$ ,  $ооп_k \in \text{ООП}$ ,  $k=1, n_{\text{ООП}}$ , функционирующий в рамках системы управления [262, 434, 436]:

$$\begin{aligned}
 KI^M(P) = & \text{cob}_M \ln(n_M) + \text{cob}_{ie} \ln(n_{ie}) + \left( \sum_{i=1}^{n_{bc}} \ln(O_i / \varepsilon_{vci}) \right) \vee \left( \text{cob}_{bc} \ln(2) \right) + \\
 & + \left[ \text{cob}_{ZT} \ln(n_{ZT}) + \text{cob}_b \ln(2) \right] \vee \left( \sum_{k=1}^{n_{\text{ООП}}} \text{cob}_{vck} \ln(2) \right) + \text{cob}_{ооп} \ln(n_{ооп}) \quad (4.45)
 \end{aligned}$$

$$\text{cob}_M + \text{cob}_{ie} + \text{cob}_{bc} + \text{cob}_{ооп} + \text{cob}_{ZT} + \text{cob}_d \rightarrow \min, \quad k=1, n_{\text{ООП}}, i=1, n_{bc} .$$



Таким образом, получен коэффициент количества полной структурной информации в системе управления на пожаре (4.45), пригодная для использования в процессах алгоритмических вычислений, которая: аддитивна, так как использован логарифм разнообразия Р. Хартли; универсальна – применён подход А. Колмогорова; основана на принципе детерминированности – не требует статистических данных; конструктивна – содержит рациональное и целесообразное поведение; независима от потребителя – применён подход А. Шилейко.

Использование на практике (4.44, 4.45) (приложение Д) представляется возможным, в частности, в задачах оперативного повышения пропускной способности СППУРП отработкой оперативно-тактических действий путем построения на их основе соответствующих информационных критериев, например, критерия  $Y$  регулирования процесса отработки оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями на пожаре (без учета постоянных слагаемых, мер):

$$Y: KI^M(P) = \sum_{j=1}^{n_{\text{ООП}}} \sum_{i=1}^{n_r-1} \ln \left( \frac{t_{ij}}{\tau_{ij}} \right) \leq KI^M o, \quad (4.46)$$

где  $n_{\text{ООП}}$  – количество позиций на подачу огнетушащих веществ, обрабатываемых по этапам пожаротушения (охлаждение, защита, подготовка к пенной атаке), фиксированной структуры ( $G = 0$ ), определяющее мощность множества ООП отображений (каждая позиция подачу огнетушащих веществ, идентифицируется с оперативной обстановкой на пожаре  $\text{ооп} \in \text{ООП}$ );  $n_r$  – значение количества этапов реализации оперативной задачи, отображающее весь массив (R), формирующий систему выполнения оперативных управленческих задач;  $t_{ij}$  – значение допустимого временного интервала реализации этапа (i), например, размещения позиции (j) на подачу огнетушащих веществ, идентичной интенсивности связи (X) между событиями (i и (i+1));  $\tau_{ij}$  – значение отклонения нахождения времени начала этапа реализации оперативной управленческой задачи, идентифицируется

абсолютной погрешностью ( $\varepsilon_{BC}$ );  $\ln\left(\frac{t_{ij}}{\tau_{ij}}\right) = KI_{vci}$  – значение количества информации, отображающей реализацию очередного этапа, отображающей временные параметры поступивших докладов (информации) в оперативный штаб о выполнении этапа пожаротушения ( $i$ );  $KI^M(P)$  – значение всего количества информации, отображающей ход ведения оперативно-тактических действий по  $n$  этапам пожаротушения;  $KI^{Mo}$  – значение предопределённого предельно возможного задействованного информационного ресурса системы пожаротушения мобильными средствами;  $\frac{t_i}{\tau_i}$  – значение эффективности реализации  $i$  этапа при ведении оперативно-тактических действий.

На основании анализа (4.46) можно сделать заключение о том, что технологическое качество процесса комплексной обработки совокупности позиций при тушении пожара тем выше, чем меньше величина  $KI^M(P)$  (при отсутствии отклонений от временной программы выполнения оперативно-тактических действий  $t_i = \tau_i$ ,  $KI^{BC} = 0$ ,  $KI^M = 0$ , т. е. оперативные доклады о ведении оперативно-тактических действий – «контрольных событий» не несут в себе семантической информации).

### **Принципы определения меры содержательной информации**

Согласно [439–441] понятию «количество содержательной информации» присущи следующие особенности: предварительное расширение тезауруса  $T$  может как уменьшать, так и увеличивать (в результате «обучения») её величину; для разной содержательной информации о решении оперативной управленческой задачи по тушению пожара ( $oz_1$ ,  $oz_2$ , например, тушение водой и пеной), возможно:  $KI^{BC}(oz_1, T) = KI^{BC}(oz_2, T)$ ; для тождественности решения оперативной управленческой задачи по тушению пожара двумя способами ведения оперативно-тактических действий относительно тезауруса  $T$  необходимо, чтобы оперативная управленческая задача была решена в срок:  $C_{oz1} = C_{oz2}$ .

Количество содержательной информации  $KI^c(oz, T)$  о способах ведения оперативно-тактических действий, содержащейся в массиве по решению задач при тушении ( $OZ \in ZT$ ), относительно модели управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара или тезауруса  $T$  равно степени изменения тезауруса  $T$  в результате действия соответствующего способа ведения оперативно-тактических действий  $C_{oz} \subseteq 0, C_{oz} = \{c_{ozi}\}, i=1, I$ :

$$KI^c(zt, T) = \ln[T(C_{oz})] - \ln(T) = \ln\left(\prod_{i=1}^I n_{i(0)}\right) - \ln\left(\prod_{i=1}^I n_i\right) = \ln\left(\frac{\prod_{i=1}^I n_{i(0)}}{\prod_{i=1}^I n_i}\right), \quad (4.47)$$

где  $n_i, i = x, y, z$  – основное (базовое) число  $i$ -го массива.

При этом процесс смыслового (содержательного) анализа и интерпретации способа ведения оперативно-тактических действий  $OZ \in ZT$ , по сообщению с места пожара, рассматривается как изменение тезауруса  $T$  под влиянием плана реализации оперативной управленческой задачи данным пожарно-спасательным подразделением  $OZ$ , т. е. определение количества содержательной информации в сообщении, по существу, отражает прагматику ведения оперативно-тактических действий (например, вместо пожарного ствола типа РС–70 можно подать два пожарных ствола типа РС–50).

Прагматические и содержательные характеристики информации в системе управления пожарно-спасательными подразделениями целесообразно рассматривать совместно вследствие дуальности тезауруса  $T$  и соб.

Так, поскольку содержательная информация ( $KI^c(\text{соб}, T_n)$ ) в сообщении о решении некоторой оперативной управленческой задачи (соб) относительно порождающего его тезауруса  $T_n$  равна «прагматической» информации ( $KI^c(\text{соб}, T_0)$ ), сообщение о решении оперативной управленческой задачи (соб) относительно другого тезауруса  $T_0$  (обладающего нулевой информацией, но образованного для понимания сообщения с места пожара), воздействуя на который соб трансформирует его в исходный тезаурус  $T_n$ :

$$T_{и} \Rightarrow \text{соб} \Rightarrow C_{оз} : T_0 \Rightarrow T_{и}.$$

Реализация оперативной управленческой задачи на пожаре (оз) представляет собой выполнение отдельных оперативно-тактических действий и их элементов (развертывание, прокладка рукавных линий, установка разветвлений и т. п.)  $c_{ozij}$ ,  $i=1, I$ , объединённых на основе представления полученных из сообщения  $\text{соб}_j$  в виде некоторой структуры  $S_j$  канонических выражений  $z_n \in Z$ ,  $n=1, N$  по определенным правилам [204, 317, 444], а также реализация осуществляется в рамках определенных ограничений, касающихся состава и порядка компонентов.

На основании вышеизложенного и анализа [40–43, 445–447] опишем создание формальной модели семантики в системе управления пожаротушением, основанной на моделировании трехуровневой знаковой системы, состоящей из: синтаксиса – правил и особенностей организации сообщений о ведении и структуре оперативно-тактических действий в конкретную знаковую систему и правил соответствия между сообщениями и управленческой задачей при тушении ( $\text{соб}_j \in ZT$ ,  $j=1, J$ ) и способом преобразования тезауруса (Т), и на этой основе правила, выделяющие класс допустимых оперативно-тактических действий); семантики – правил установления связи между сообщениями и их значениями (реализации управленческой задачи при тушении), правила формирования ( $\text{соб}_j \in ZT$ ); прагматики – правила применения сообщений и отношения «РТП – Сообщение», правила преобразования тезауруса (Т) под воздействием сообщений ( $\text{соб}_j$ ).

### **Модель процесса семантической интерпретации информации**

Представим модель управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара (тезаурус) в виде алгебраической системы:

$$TP = \{ \langle П, В \rangle, C \rangle \}, \quad (4.48)$$

где  $\Pi = \{\pi_i\}$ ,  $i = \overline{0, n_{\Pi} - 1}$  – множество понятий <имя-смысл-значение>;  
 $B = \langle \{b_j\}; \subset, \in \rangle$ ,  $j = \overline{0, n_B}$  – множество высказываний различного вида  
(многочестных, одночестных);  $\subset$  – отношение включения;  $\cong$  – отношение  
применимости;  $C = \langle \{c_k\} \rangle$ ;  $\wedge, \vee, \neg$ ; Н, ОП, МОП, ООП  $\rangle$ ,  $k = \overline{0, n_C}$  – множество  
событий  $c_k$ , на котором определены следующие логические операции  
(дизъюнкции ( $\vee$ ), конъюнкции ( $\wedge$ ), отрицания ( $\neg$ ) и другие специальные [263])  
(таблица 4.2): Н – начало; ОП – описание,  $v_1(\text{ОП } \pi) v_2 \pi$  – «то понятие ( $\pi$ ), которое  
обладает свойством  $v_2$ , обладает свойством  $v_2 \pi$ »; МОП – множественное описание,  
 $v_1(\text{МОП } \pi) v_2 \pi$  – «те понятия ( $\pi$ ), которые обладают свойством  $v_2$ , обладают  
свойством  $v_1$ », ООП – общее описание для других не рассматриваемых в  
настоящее время объектов,  $v_1(\text{ООП } \pi) v_2 \pi$  – «все те описания ( $\pi$ ), которые  
обладают свойством  $v_2$ , обладают свойством  $v_1$ » ( $v_2 \subset v_1$ ).

Таблица 4.2 – Логическая операция с двуместными высказываниями

Логическая операция	Типы высказываний
Н	$(\text{Н } \pi_1) (\text{Н } \pi_2) V_0(\pi_1, \pi_2)$
ОП	$V_3[(\text{ОП } \pi_1) (\text{ОП } \pi_2) V_0(\pi_1, \pi_2)] = c_1$ $V_3[(\text{ОП } \pi_1) V_1(\pi_1), (\text{ОП } \pi_1) V_2(\pi_2)] = c_2$ $c_1 \wedge c_2$
МОП	$V_3[(\text{МОП } \pi_1) (\text{МОП } \pi_2) V_0(\pi_1, \pi_2)] = c_3$ $V_3[(\text{МОП } \pi_1) V_1(\pi_1), (\text{МОП } \pi_1) V_2(\pi_2)] = c_4$ $c_3 \vee c_4$
ООП	$V_3[(\text{ООП } \pi_1) (\text{ООП } \pi_2) V_0(\pi_1, \pi_2)] = c_5$ $V_3[(\text{ООП } \pi_1) V_1(\pi_1), (\text{ООП } \pi_2) V_2(\pi_2)] = c_6$ $\neg c_5$
ОП, МОП	$V_3[(\text{ОП } \pi_1) (\text{МОП } \pi_2) V_0(\pi_1, \pi_2)] = c_7$ $V_3[(\text{ОП } \pi_1) V_1(\pi_1), (\text{МОП } \pi_2) V_2(\pi_2)] = c_8$

Если допустим, что заданные на множестве высказываний  $B$  отношения  
включения ( $\subset$ ) и принадлежности ( $\in$ ) обладают нижеприведёнными свойствами:  
 $B_1 \subset B_2$ ;  $B_1 \subset B_3 \in B_1 \subset B_2$ ,  $B_2 \subset B_3$ ;  $B_2 \cong B_1 \in B_1 \subset B_2$ ;  $B_1 \cong B_2 \in B_1 \subset B_2$ ,  $B_2 \subset B_3$ ;

$B_3 \cong B_1 \in B_1 \subset B_2, B_3 \subset B_2$ , то можно образовывать высказывания (элементарные, местные) из элементов множеств понятий (П) и высказываний (В).

В этом случае алгебраическая задача описания содержания класса сообщений с места пожара М состоит в изучении отображения множества ZТ в кольцо K(T) операторов на тезаурусе Т:

$$A(z_T) : Z_T \rightarrow K(T).$$

При этом синонимичные символы в сообщении склеиваются, а бессмысленные не имеют образа.

В качестве элементарных операторов  $c_{oz_i}, i=1, I$ , над тезаурусом Т, соответствующих каноническим (таблица 4.2) выражениям  $c_i, i=1, I$ , можно использовать следующие:

оператор  $c_{oz_1}$ , соответствующий каноническим выражениям  $c_i, i=1, I$ , содержащим логические операции ОП, МОП, вида:

$$c_{oz_1} = \begin{cases} c_i \in C, i = \overline{1, 2, \dots, I} & \text{(в } C \text{ вводится событие } c_i, \text{ если оно ранее там} \\ c^* \in B & \text{отсутствовало)} \\ \vartheta_{n+1} \cong (\vartheta_1, \dots, \vartheta_n), n = \overline{1, 2, \dots, N} & \text{(в } B \text{ вводится высказывание)} \end{cases}$$

(устанавливается новое отношение применимости между внешним высказыванием, участвующим в записи  $c$ , и внутренними высказываниями, если это отношение не было установлено ранее)

оператор  $c_{oz_2}$ , соответствующий каноническим выражениям  $c_i$ , содержащим логические операции Н, вида:

$$c_{oz_2} = \begin{cases} c_i \in C, i = \overline{1, 2, \dots, I} & \text{(в } C \text{ вводится событие } c_i) \\ \Pi_i \in \Pi, i = \overline{1, 2, \dots, I} & \text{(в } \Pi \text{ вводятся объекты } \Pi_i, \text{ входящие в область} \\ \Pi_i^* \in B, i = \overline{1, 2, \dots, I} & \text{действия логической операции Н)} \end{cases}$$

(в В вводятся высказывания  $\Pi_i$ )

оператор  $c_{oz_3}$ , соответствующий каноническим выражениям  $c_i$ , содержащим логические операции ООП, вида:

$$c_{oz_3} = \begin{cases} \vartheta_{n+1} \subset \vartheta_i, & i = \overline{1, 2, \dots, I} \\ \vartheta_j \subset \vartheta_n, & j = \overline{I, I+1, \dots, J} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{(в В устанавливаются новые} \\ \text{отношения включения)} \end{array}$$

Способ ведения самих оперативно-тактических действий и их элементов в нужном порядке определяет оператор  $C_{ozi} = \{ c_{ji} \}$ ,  $i = \overline{1, \dots, I}$ ,  $j = \overline{1, \dots, J}$  преобразования тезауруса (Т) под влиянием (соб<sub>і</sub>). Для построения конкретного способа ведения оперативно-тактических действий ( $C_{ozi}$ ) достаточно представить входную информацию в виде некоторой структуры канонических выражений ( $c_j$ ).

Если в сообщении о ведении и структуре оперативно-тактических действий (соб<sub>і</sub>  $\in$   $ZT$ ,  $j = \overline{1, J}$ ) не удастся выделить канонические выражения, то оно никак не преобразует тезаурус (Т), потому что управленческая задача при тушении (oz) «непонятна» для тезауруса (Т). Если управленческая задача при тушении (oz) расчленяется на канонические выражения, но (рис. 4.13):

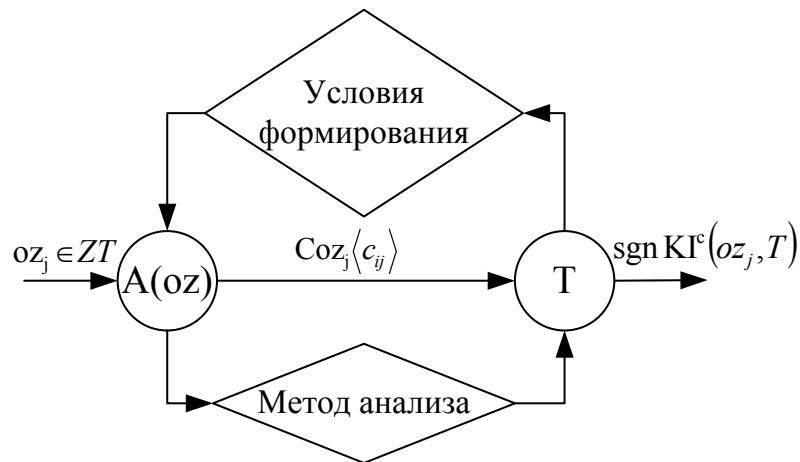


Рисунок 4.13 – Модель семантической интерпретации информации с места пожара и оценки эффективности решения задач управления и принятия решений

оперативная управленческая задача ( $C_{ozi}$ ) не изменяет тезаурус (Т), то это означает, что  $oz_j$  не содержит новой информации относительно тезауруса (Т);

алгоритм  $A(oz)$  анализа устанавливает такой порядок этих выражений, при котором не определяется в сообщении произведение соответствующих оперативно-тактических действий и их элементов  $c_{ji}$ ,  $i = \overline{1, I}$ ,  $j = \overline{1, J}$ , то это

означает, что не определены (и не введены в тезаурус) некоторые операторы, высказывания, предикаты, события, используемые затем при формировании смысловой записи.

Тогда алгоритм семантического анализа сообщения с места пожара с помощью тезауруса  $T$  состоит в построении или выборе способа ведения оперативно-тактических действий  $C_{oz_i} \in T$  по  $soб_j \in ZT, j = \overline{1, J}$ . Алгоритм  $A(oz)$  анализа выдает упорядоченную последовательность элементарных операций  $c_{ji}$ ,  $i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$ , вычленяемых из многообразия оперативно-тактических действий. Создание подлинной структуры алгоритма анализа сообщений с места пожара с достаточно широкими возможностями (с возможностью анализа при машинной интерпретации) связано со значительными экспериментальными исследованиями по машинной переработке смысловых сообщений (приложение Е).

С помощью предложенной синтетической информационной меры (4.45) можно оценить информационно-содержательный ресурс системы управления на пожаре, что позволит создать условия его эффективного применения, в том числе и в оперативной обстановке с целью приобретения необходимых целевых эффектов.

### **Оценка эффективности управления пожаротушением**

Без оценки эффективности любое исследование неизбежно теряет свой специфический статус, отличающий его от других [180, 331]. Для этого необходимо ранжировать объекты исследования. Поэтому введем понятие «качество».

Определение 4.1. Качество – “логическая категория, являющаяся определением предмета по характеризующим его, внутренне присущим ему признакам” [448]. Применительно к данному исследованию по целям и управленческому решению по применению мобильных средств пожаротушения, качество:  $K_o = (K_c, K_T)$ , где  $K_c$  – степень соответствия оперативно-тактических действий целям управления пожарно-спасательными подразделениями при



тушении пожара;  $K_T$  – степень соответствия оперативно-тактических действий управленческому решению по применению мобильных средств пожаротушения

на конкретном объекте:  $K_T = \frac{K_{то} - K_{тп}}{K_{то}} \cdot 100, \quad \%$ ;  $K_{тп} = \frac{\sum_{i=1}^m n_n}{\sum_{i=1}^k n_{\phi}}$  – степень

соответствия оперативно-тактических действий управленческому решению по применению мобильных средств пожаротушения на конкретном объекте при

наличии ДПП;  $K_{то} = \frac{\sum_{i=1}^m n_{п}}{\sum_{i=2}^n n_o}$  – степень соответствия оперативно-тактических

действий управленческому решению по применению мобильных средств пожаротушения на конкретном объекте при отсутствии ДПП;  $n_{п}$  – позиция на тушение пожара, ед.;  $n_n$  – нормативное (расчётное) количество позиций (личного состава) на тушение пожара, ед.;  $n_{\phi}$  – фактическое количество позиций (личного состава) на тушение пожара, ед.;  $m$  – количество созданных позиций на тушение пожара, ед.;  $n_o$  – количество отделений на основном пожарном автомобиле, ед.;  $n$  – количество отделений, привлеченных к тушению пожара, ед. При  $K_T > 0$  – тактический потенциал не реализован, при  $K_T < 0$  – не соответствие документов предварительного планирования оперативной обстановки на пожаре.

Определение 4.2. Качество системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара – совокупность свойств системы управления пожарно-спасательными подразделениями, характеризующих степень достижения ею целей создания, а за характеристику качества функционирования системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара мобильными средствами примем эффективность системы управления пожаротушением, которую определим как свойство, характеризующее степень достижения главной цели пожаротушения.

Определение 4.3. Эффективность системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара – результативность

тушения пожара, выражаемая отношением результата тушения к использованным силам и средствам.

Принято различать внешнюю и внутреннюю эффективность [344, 375, 448, 449].

Определение 4.4. Внешняя эффективность системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара – целевая эффективность, получаемая в управляемом объекте.

Определение 4.5. Внутренняя эффективность – выполнение задач данной системы по отношению к другой системе.

Оценка эффекта функционирования любой системы управления требует оптимизации по многочисленным критериям и в результате, как правило, получаются рациональные или компромиссные в зависимости от граничных условий решения.

Качество ведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями в системе управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара – совокупность внутренних и внешних свойств оперативно-тактических действий на пожаре, характеризующих степень их соответствия потребностям (целям, принципам) государства. Внутреннее качество оперативно-тактических действий на пожаре сохраняется при переносе их на другой объект пожаротушения (систему, подсистему). Внешнее – используется только при ведении оперативно-тактических действий на конкретном объекте.

Определение 4.6. Оценка эффективности в пожаротушении относительно прагматической науки – эффективность ведения оперативно-тактических действий, относительно дескриптивной науки – подтверждение, формальной науки – правильность.

Эффективное управление силами и средствами пожарно-спасательных подразделений на месте пожара обеспечивает снижение времени его локализации, гарантирует в дальнейшем его быструю ликвидацию и уменьшает объемы повреждений и потерь. Основой эффективного управления является разумность,

своевременность и актуальность управленческого решения старшего оперативного должностного лица на пожаре. От него в конечном итоге зависит результат пожаротушения мобильными средствами.

С целью поддержки эффективного управления подразделениями пожарной охраны на месте пожара требуется разрешить массив задач: управление пожарно-спасательными подразделениями на этапе подготовки к тушению пожаров; управление выездом и следованием пожарно-спасательных подразделений к месту вызова; управление оперативно-тактическими действиями подразделений на пожаре; управление при возвращении в места дислокации.

При проведении пожарно-тактической экспертизы или разборе произошедших пожаров в качестве критерия эффективности управления при пожаротушении рекомендуем использовать критерий, описывающий степень реализации тактического потенциала пожарно-спасательных подразделений по осуществлению отдельных управленческих задач в ходе пожаротушения мобильными средствами [294] (рис. 4.14):

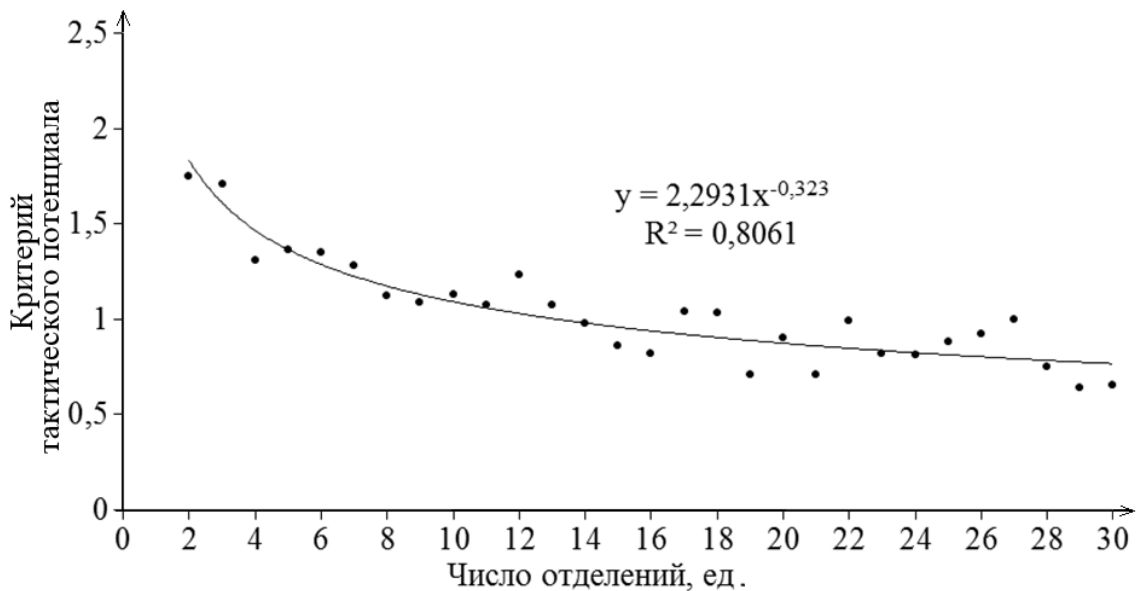


Рисунок 4.14 – Критерий тактического потенциала управления пожарно-спасательными подразделениями

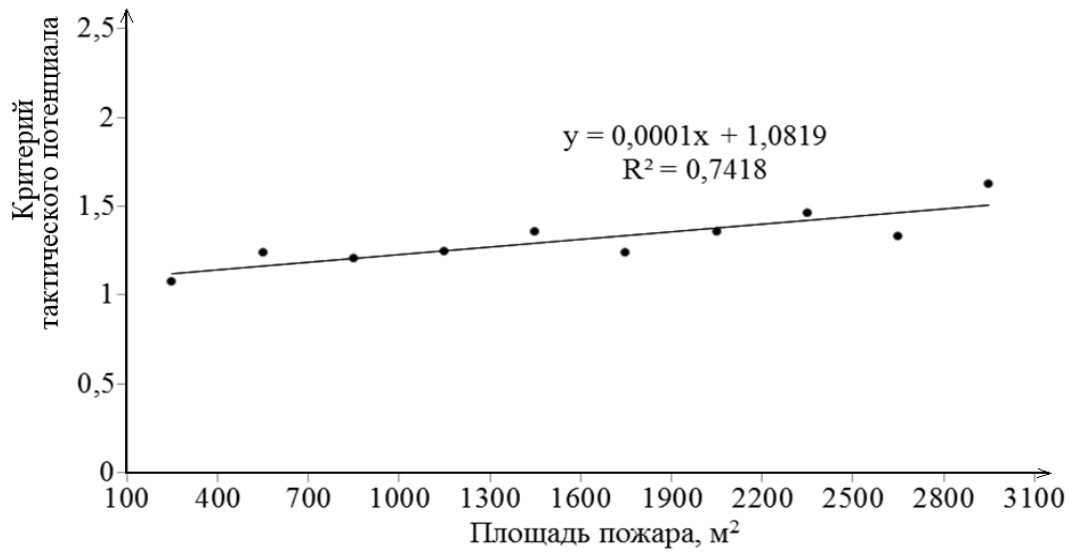
$$P_B = \frac{\sum_{i=1}^m N_{\text{БП}}}{\sum_{i=2}^n N_{\text{отд.}}}, \quad (4.49)$$

где  $N_{\text{БП}}$  – значение числа позиций на тушение пожара, ед.;  $m$  – значение числа созданных позиций на тушение пожара, ед.;  $N_{\text{отд.}}$  – значение числа отделений на основном ПА, ед.;  $n$  – значение числа отделений, сосредоточенных на месте тушения пожара, ед.

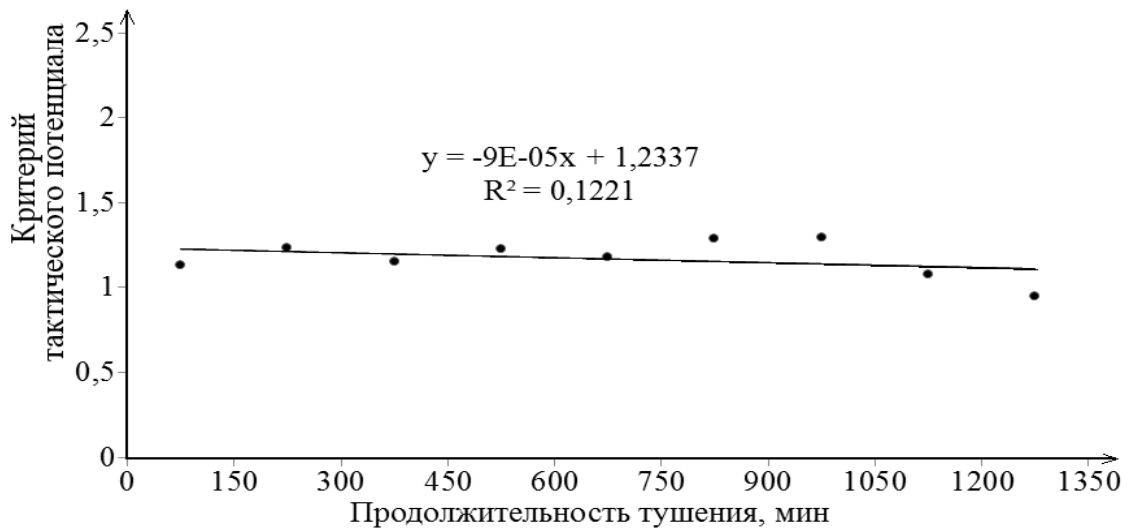
Исследование параметров критерия реализации тактического потенциала при анализе описаний пожаров позволило выявить его пределы от 0,2 до 5. При увеличении площади пожара критерий реализации тактического потенциала возрастает (рис. 4.15, а), в то же время при росте продолжительности тушения пожарно-спасательными подразделениями критерий реализации тактического потенциала уменьшается (рис. 4.15, б) [358]. Как правило, с увеличением площади пожара, сил и средств, участвующих в его тушении, недостаточно.

Поэтому старшее должностное лицо на пожаре обязан изыскивать способы максимально полного использования всех имеющихся СИС пожаротушения. Это характеризуется увеличением удельной площади пожара, приходящейся на одно пожарно-спасательное отделение (рис. 4.15, в). При работе пожарно-спасательных подразделений на затяжных пожарах (рис. 4.15, б) может происходить снижение показателя критерия тактического потенциала из-за обновления личного состава на позициях при тушении пожара и неэффективности управления силами и средствами пожаротушения.

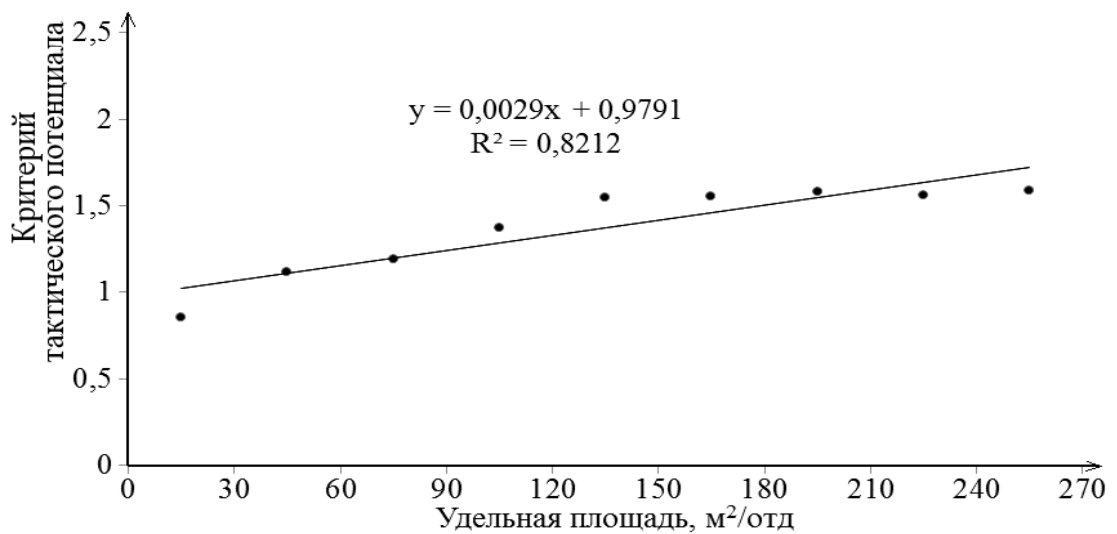
При разработке документов предварительного планирования на объекты, при тушении которых в определённые и прогнозируемые моменты времени могут наступать события, радикально осложняющие обстановку на пожаре (взрыв, выброс или вскипание горячей жидкости, вызывающие резкое увеличение площади горения, увеличение количества горящих объектов и т. д.), возможно определить нормативное (расчётное) количество личного состава (позиций) на тушение при том или ином варианте распределения сил и средств.



а) критерий тактического потенциала в зависимости от площади пожара



б) критерий тактического потенциала в зависимости от продолжительности тушения пожара



в) критерий тактического потенциала в зависимости от удельной площади пожара

Рисунок 4.15.

К таким пожарам можно отнести пожары на объектах нефтепродуктообеспечения, резервуаров с горючими и легковоспламеняющимися жидкостями, продуктопроводами, технологическими установками и т. п.

В этом случае эффективность управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара определяется формулой [358, 416]:

$$P_{\text{э}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_n}{\sum_{i=1}^k n_f}, \quad (4.50)$$

где  $n_n$  – расчётное (нормативное) количество позиций (личного состава) на тушение, ед.;  $n_f$  – фактическое количество позиций (личного состава) на тушение пожара, ед.

Так как нет единственного универсального критерия истины [180], критерий эффективности может быть формализован [449].

Допустим, что  $mo^1, mo^2, mo^3 \in MO$ , является многокритериальной (вектор, матрица, массив) оценкой каких-либо альтернатив  $a_1, a_2, a_3 \in A$ , причём  $MO = MO_1 \times MO_2 \times MO_3 \times \dots \times MO_n \in P^n$  пространство многокритериальных оценок, а  $A$  – множество допустимых альтернатив.

Допустим, что на множестве многокритериальной оценки ( $MO$ ) определены описания: сравнения  $>$ , и действия  $\hat{m}o = \alpha mo^1 + (1 - \alpha)mo^2$ ,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Тогда, если для каждого  $mo^1$  и  $mo^2$ , возможны соотношения:

$mo^1 \sim mo^2, mo^1 > mo^2, mo^2 \sim mo^1$ , которые назовём аксиомой связности – сравнения;

$mo^1 > mo^2, mo^2 \sim mo^3 \Rightarrow mo^1 > mo^3$ , аксиомой транзитивности;

$mo^2 > mo^3 > mo^1 \Rightarrow \exists \alpha, \alpha mo^1 + (1 - \alpha)mo^2 \sim mo^3$ , аксиомой растворимости;

из  $n^2 > n^3 > n^1 \Rightarrow \exists \alpha, mo^3 > \alpha mo^2 + (1 - \alpha) mo^1$ , аксиома архимедова, в соответствии с которой в задаче принятия решений не должно быть альтернатив, неизмеримо превосходящих другие альтернативы.

В этом случае справедливо следующее утверждение.

Утверждение 4.3. Имеется числовая функция, устанавливающая любой оценке из массива ( $mo \in MO$ ) действительное число  $Fsen(n)$ , такое что

$$mo^1 \geq mo^2 \leftrightarrow Fsen(mo^1) \geq Fsen(mo^2), mo^1 \sim mo^2 \leftrightarrow Fsen(mo^1) = Fsen(mo^2). \quad (4.51)$$

Численные представления отношения  $>$ , отвечающего приведенным выше аксиомам, называются функциями ценности  $Fsen(n)$  и допускают произвольные линейные преобразования. Когда формализована функция ценности  $Fsen(n)$ , соответствующая требованию (4.51), в этом случае ее монотонное преобразование также удовлетворяет выражению (4.51) и, следовательно, является численным представлением той же системы предпочтений.

Кроме вышеприведенных критериев эффективности – существования, применяются критерии эффективности – независимости, имеющие практическое значение в связи с тем, что осуществляет декомпозицию многомерной функции критериев ценности, облегчая ее построение.

Разобьем множество многокритериальных оценок  $MO$  на два взаимодополняющих подмножества  $P1$  и  $P2$ , таких, что  $P1, P2 \subset MO, P1 \cup P2 = MO, P1 \cap P2 = \emptyset$  и воспользуемся понятием независимости по предпочтению [449]:

Множество критериев  $P2$  независимо по предпочтению от дополняющего его множества  $P1$  тогда и только тогда, когда структура условного предпочтения в пространстве  $P2$  при фиксировании  $P1'$  не зависит от  $P1'$ . Более формально,  $P2$  не зависит от  $P1$  в том и только в том случае, если для некоторого  $P1'$

$$(p2', p1) \geq (p2'', p1) \rightarrow (p2', p1) \geq (p2'', p1), \text{ для любых } P1, P2', P2''.$$

Если РТП “считает, что подмножество критериев  $P2$  не зависит по предпочтению от дополняющего подмножества  $P1$ , то ему достаточно структурировать свои предпочтения по  $p2$  при фиксированном  $P1'$ , поскольку не требуется повторять эту работу для других уровней  $P1$ . В данном случае имеет смысл построить функцию ценности  $Fsen_{p2}$ , определенную для  $p2$ , не

конкретизируя  $PI'$ . Такая функция должна удовлетворять лишь следующему условию”:

$$(p2', p1) \geq (p2'', p1) \leftrightarrow V_{p1}(p2') \geq V_{p1}(p2'') \quad (4.52)$$

В том случае, когда  $P2$  не зависит по предпочтению от  $PI$ , то многомерная функция ценности  $Fsen(mo), = Fsen(p2, p1)$  зависит от  $p2$  через функцию ценности  $Fsen_{p2}(p2)$ .

При этом критерии  $MO_1, MO_2, \dots, MO_n$  обоюдно самостоятельны по предпочтению, когда любое из подмножеств  $P2$  множества критериев оценок  $MO$  самостоятельны по предпочтению от своего дополнения.

Условие существования аддитивной функции ценности:

$$Fsen(mo), = Fsen(mo, mo_2, \dots, mo_m) = \sum Fsen_j(mo_j), \quad (4.53)$$

где  $Fsen_j(mo_j)$  – функция ценности по критерию  $MO_j$ , существует тогда и только тогда, когда критерии взаимно не зависимы по предпочтению.

Изменим масштаб функции ценности для каждой многомерной функции ценности, для того, чтобы они отображались на шкале от нуля до единицы целью удобства применения в наиболее общем виде аддитивных функций ценности (4.53). Тогда аддитивная функция ценности (4.53) должна быть преобразована к виду

$$Fsen(mo), = Fsen(mo, mo_2, \dots, mo_m) = \sum Fsen_j(mo_j), \quad (4.54)$$

где  $0 \leq Fsen \leq 1, 0 \leq Fsen_j \leq 1, j = \overline{1, I}; \sum_{j=1}^I k_j, k_j > 0$ . (4.55)

Если в задаче принятия управленческих решений имеется большое число критериев, то можно воспользоваться следующими гипотезами [449]:

– если каждая пара критериев истинности не зависит по предпочтению от своего дополнения, в этом случае критерии взаимно независимы по предпочтению;

– если  $A$  и  $PI$  – пересекающиеся подмножества множества критериев  $MO = \{MO_1, MO_2, \dots, MO_n\}$ , но ни одно из них не содержится в другом, а их объединение  $A \cup PI$  не совпадает с  $MO$ , и если каждое из подмножеств  $A$  и  $PI$  не



зависит по предпочтению от своего дополнения, то любое из следующих множеств критериев:  $A \cup P1$ ,  $A \cap P1$ ,  $A \setminus P1$ ,  $P1 \setminus A$ ,  $A \setminus P1 \cup P1 \setminus A$  независимо по предпочтению от своего дополнения.

Предложениям теории пожаротушения придаёт осмысленность именно концепт истины (оценка эффективности). Теория пожаротушения призвана описывать объекты такими, какими они являются на самом деле.

Критерием истины является практика. Это утверждение справедливо в отношении теории пожаротушения: если ее рекомендации можно реализовать – рекомендации приводят к эффективному результату; результат фиксируется измерениями. Установление истины – задача многозвенная, предполагающая нетривиальную теоретическую и эмпирическую работу [180, 181, 331].

#### **Выводы по 4 главе**

1. Предложена обобщённая модель управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара, представленная в виде векторного процесса ведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями на конкретном объекте (тушение ПОС, ВПОС, ГОС и т. п.) и описывающая взаимодействие (работу) сил и средств пожаротушения на пожаре, позволившая осуществить постановку задачи оценки эффективности тушения пожара.

2. Разработан алгоритм выбора соотношений типовых элементов модели управления пожарно-спасательными подразделениями при решении конкретной оперативной задачи на пожаре.

3. Формализована задача оценки эффективности решения задач управления на пожаре, определяемая содержанием конкретного решающего направления ведения оперативно-тактических действий и графом состояний типовых элементов (позиции ствольщиков, материально-технических ресурсов и др.) соответствующей системы управления пожарно-спасательными подразделениями

при тушении пожара на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории.

4. Предложен метод нормативных состояний оперативно-тактических действий. Сущность метода заключается в выборе соотношений типовых (базовых) элементов системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара, удовлетворяющих заданным требованиям для конкретного пожара на объекте экономики, социальной инфраструктуры. Методика его применения заключается в однородном разложении процесса управления пожарно-спасательными подразделениями на формализуемые до элементарных целочисленных подпроцессов, вычислении интенсивности их реализации и формировании конкретных позиций по тушению (участков, секторов), требующих обслуживания (подмена бойцов, защита от теплового излучения, обеспечение связи и т. п.).

5. Создана модель расчета рационального числа оперативных пожарно-спасательных подразделений, огнетушащих средств и закрепления их за участками (секторами) тушения с учётом нормативно-распорядительных документов и граничных условий, полученных в 1 главе.

6. Формализована объединённая задача оптимизации системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара на объекте экономики, социальной инфраструктуры, включающая: оптимизационную задачу эффективного размещения и распределения пожарно-спасательных подразделений по заданным позициям при ведении ОТД с учётом разновидности позиций по тушению пожара и тактических единиц на месте пожара, в зависимости от объекта тушения; обобщённые оценки: экономической эффективности работы элементов системы управления при пожаротушении и тактической эффективности работы объектов системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара.

7. Обоснован и разработан алгоритм решения задачи оптимизации структуры сил и средств на пожаре, реализующий максимизацию тактического потенциала пожарно-спасательного подразделения при минимизации затрат.

8. Разработан алгоритм определения оптимального значения сил и средств методом нормативных состояний оперативно-тактических действий при пожаротушении, основанный на оценке возможных сил и средств пожаротушения по планам тушения пожара и вариантов возникновения, а также развития пожара на конкретном объекте.

9. Формализован типизированный критерий оптимальности (эффективности) работы системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара, состоящий из следующих критериев: для варианта развития пожара на объекте; для растрачиваемых и нерастрачиваемых СиС пожарно-спасательного подразделения. Критерий обусловлен общим (начальным) объёмом СиС. При этом ограничениями являются уравнения нормативных (граничных) состояний, описывающие ведение оперативно-тактических действий пожарно-спасательным подразделением при тушении пожаров на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории.

10. Математически доказано, что любой массив допустимых сценариев ведения оперативно-тактических действий при тушении пожара соответствует требованиям некоторого критерия оптимальности, при условии, что в данный момент времени критерий может быть только один. Доказательство приведено на примере принципов выбора решающего направления ведения оперативно-тактических действий (постановке задачи управления на данном этапе тушения пожара).

11. Разработан алгоритм поиска оптимального соотношения числа позиций при тушении, пожарно-спасательных подразделений и количества сил и средств по критериям, отличительной чертой которого является возможность нахождения оптимального числа позиций на подачу огнетушащих средств в частности, при организации управления тушением пожаров на объектах нефтепродуктообеспечения, больших площадях, лесных пожарах и безлесных территориях, то есть когда требуется установить объем мероприятий, которые они эффективно могут выполнить.

12. Предложен метод поддержки принятия решения по тушению пожара. Сущность метода заключается в поддержке принятия управленческого решения, направленного на достижение основной цели на пожаре за счёт анализа информации об адекватности затрат для её достижения. Методика его применения заключается в формировании упорядоченной информации для локализации и ликвидации пожара по общей сумме признаков (качественных и количественных) в соответствии с предпочтением руководителя тушения пожара.

13. Математически доказано, что однозначно существует расчётная и нормативная законченная последовательность распределения задач управления и принятия решений в соответствии с предпочтением руководителя тушения пожара, которая остаётся оптимальной на всём протяжении достижения основной цели на пожаре.

14. Создана модель оценки эффективности решения задач управления и принятия решений РТП при пожаре с точки зрения экономического, управленческого (тактического) и информационного подходов принятия управленческих решений.

15. Получен коэффициент количества полной структурной информации в системе управления на пожаре для оценки эффективности решения задач управления пожарно-спасательными подразделениями и принятия решений. Она пригодна для использования в процессах алгоритмических вычислений: аддитивна, так как использован логарифм разнообразия Р. Хартли; универсальна – применён подход А. Колмогорова; основана на принципе детерминированности – не требует статистических данных; конструктивна – содержит рациональное и целесообразное поведение; независима от потребителя – применён подход А. Шилейко. С помощью предложенной синтетической информационной меры можно оценить информационно-содержательный ресурс системы управления на пожаре. Это позволит создать условия его эффективного применения в оперативной обстановке с целью приобретения необходимых целевых эффектов.

## **Глава 5. Методы поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями**

Методы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров – это обоснованная совокупность приёмов (способов) при осуществлении какой-либо оперативно-тактической деятельности на пожаре.

Под методами управления при ведении оперативно-тактических действий при локализации и ликвидации пожаров понимается выполнение в определённой нормативно-распорядительными документами последовательности оперативно-тактических действий, направленных на прекращение горения.

Тушение пожара может быть осуществлено в один или несколько этапов, которым должны соответствовать одна или несколько вполне законченных оперативно-тактических задач. Комплексный анализ описаний пожаров и статистической информации [166–169, 174, 176, 177, 358, 410] показывает, что все типы оперативно-тактических задач, решаемых при локализации и ликвидации пожара пожарно-спасательными подразделениями, различаются между собой по методам их осуществления и тактике их ведения и в каждой стране применяются свои методы и тактика тушения пожаров.

В зависимости от избранного метода поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий период локализации и ликвидации пожара будет иметь некоторые общие черты и отличия.

### **5.1. Способы прекращения горения**

Вид и характер выполнения оперативно-тактических действий по тушению пожаров в определённой последовательности, направленных на создание условий прекращения горения, называется способом прекращения горения [84, 182, 183, 204] (рис. 5.1).

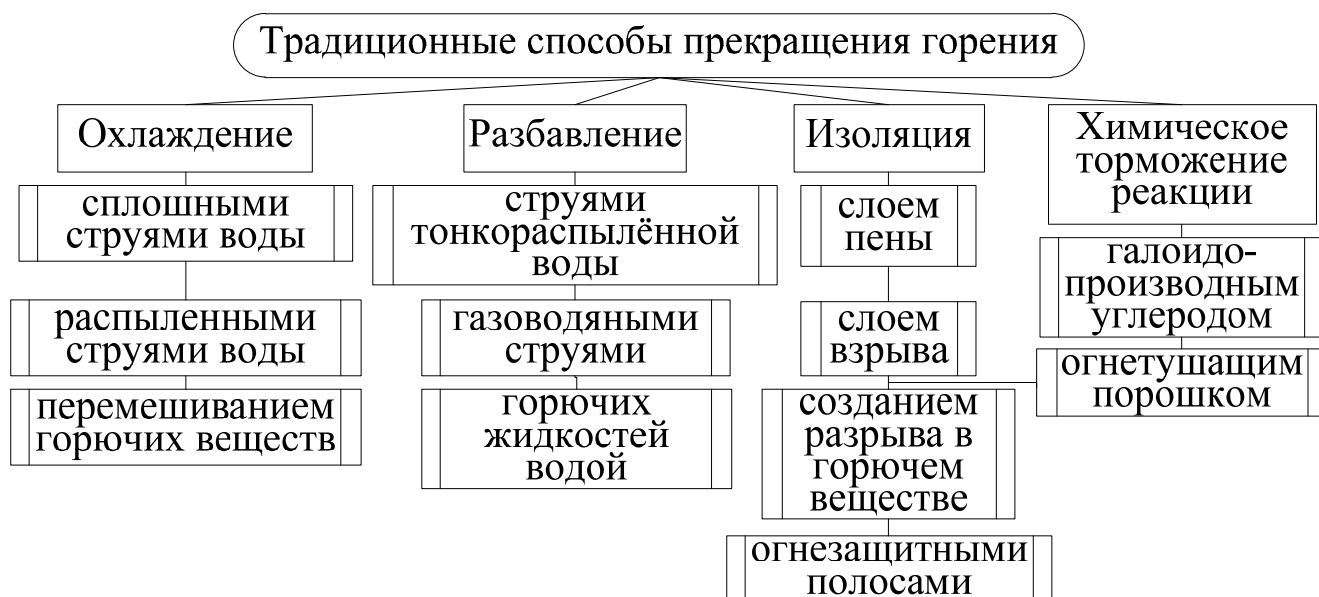


Рисунок 5.1 – Традиционные способы прекращения горения

Охлаждают район горения путем его соприкосновения с негорючим веществом, например, подачей воды или иных ОВ на поверхность района горения. Подача ОВ обуславливает понижение температуры горения и увеличение скорости теплоотвода. Прекращение горения изолированием района горения обусловлено ростом скорости теплоотвода от района горения или снижением в нем количественного состава и одного из взаимодействующих веществ.

Химический способ торможения реакции горения заключается в снижении в районе горения количественного состава активных веществ за счёт введения в район взаимодействия нестойких к разложению веществ. Снижение количественного состава активных центров ведет к уменьшению температуры горения и скорости реакции. Как правило, этот способ практикуется при тушении пожаров стационарными установками.

Приведённая классификация способов прекращения горения носит условный характер и при её обосновании, с точки зрения методов управления при тушении пожаров, основным критерием построения являются общие и частные признаки, характеризующие физико-химические процессы развития и тушения пожаров.

Реализовать любой из приведённых способов прекращения горения можно различными методами управления ведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями. При этом расчётное обоснование СиС, привлекаемых к тушению пожара, основано исключительно на тепловом балансе и не учитывает другого эффекта – оттеснение кислорода из области пламени [450, 451].

## **5.2. Граничные условия для поддержки управленческого решения на локализацию пожара**

Развитие пожара и характер его воздействия на объектах экономики, социальной инфраструктуры является сложным физическим процессом, который в общем случае описывается полной системой уравнений Навье–Стокса, уравнением энергии (включающим в себя перенос энергии за счет конвективных процессов, теплопроводности, излучения, диффузии, химических реакций горения горючей нагрузки), уравнениями неразрывности, диффузии, состояния и теплообмена [451].

В связи с неопределенностью ряда граничных условий процесса развития пожара и трудностью учета всех влияющих на процесс развития пожара факторов, расчётное обоснование процесса его локализации является сложнейшей научной проблемой. С этой точки зрения целесообразно на основе анализа определяющих критериев для решаемых оперативно-тактических задач при тушении пожара обосновать граничные условия процесса локализации пожара пожарно-спасательными подразделениями для управленческого решения РТП.

Оперативно-тактические действия пожарно-спасательных подразделений по локализации и ликвидации пожара являются составной частью процесса тушения пожара мобильными средствами пожаротушения. При этом под тушением пожаров понимают “процесс воздействия сил и средств, а также использование способов и приемов для ликвидации пожара” [253], а под локализацией пожара понимают – “действия, направленные на предотвращение возможности

дальнейшего распространения горения и создание условий для его ликвидации имеющимися силами и средствами” [358].

Для локализации и ликвидации горения на поверхностях, охваченных огнем, необходимо подавать требуемый расход огнетушащих веществ в единицу времени, который является наиболее общей количественной характеристикой работы сил и средств пожарно-спасательных подразделений [182, 183, 202, 376, 452, 453]:

$$Q_{TP} = F_{П} \cdot I_{TP}, \text{ л/с}, \quad (5.1)$$

где  $F_{П}$  – площадь пожара,  $m^2$ ;  $I_{TP}$  – требуемая (поверхностная) интенсивность подачи огнетушащих веществ на единицу площади в единицу времени,  $л/(m^2 \cdot с)$ .

Этот расход огнетушащих веществ может увеличиваться во времени (при пожарах в зданиях, на складах лесопиломатериалов, хлопка и т. п., в случае увеличения площади пожара) или оставаться постоянной (при пожарах в резервуарах, отдельно стоящих зданиях и сооружениях, полностью охваченных огнем, и т. п., когда площадь пожара остается постоянной).

Прибывая на пожар, личный состав пожарно-спасательных подразделений реализует управленческие задачи РТП: осуществляется ввод пожарных стволов на решающем и других направлениях, при этом фактически подают огнетушащие вещества:

$$Q_{\phi} = Q_{ств} \cdot n_{ств}, \text{ л/с} \quad , \quad (5.2)$$

где  $Q_{ств}$  – производительности пожарного ствола,  $л/с$ ;  $n_{ств}$  – количество подаваемых пожарных стволов,  $ед$ .

Этот расход увеличивается по мере введения сил и средств до момента локализации пожара, т. е. до того момента, когда в область пожара будет подаваться требуемое количество огнетушащих веществ в единицу времени. Следовательно, одно из необходимых условий локализации пожара будет заключаться в достижении равенства фактического и требуемого расходов ОВ [183]:

$$Q_{TP} = Q_{\phi}. \quad (5.3)$$



Характер изменения во времени требуемого и фактического расходов ОВ определяется избранным методом поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий.

### **5.3. Методы поддержки управления и принятия решений при тушении пожаров пожарно-спасательными подразделениями**

Процесс локализации и ликвидации пожара неразрывно связан с тактикой его тушения. На основе анализа отечественных и зарубежных подходов к тушению пожаров представляется возможным формализовать и поставить руководителем тушения пожара управленческую (оперативную, тактическую) задачу личному составу пожарно-спасательных подразделений на локализацию и ликвидацию горения [84, 183, 202, 204, 251, 309–316, 346, 394, 454–461].

Принято [84, 182, 183, 202, 206–212], что для изучения пожаров, для научно обоснованной системы мер профилактики, для четкой организации руководства оперативно-тактическими действиями подразделений по тушению пожаров и других целей пространство, в котором происходит пожар и вокруг него, условно делят на области (зоны): горения, задымления и теплового воздействия.

Определение 5.1. Область горения – “часть пространства, в котором происходит подготовка горючих веществ к горению (подогрев, испарение, разложение) и их горение” [84].

Определение 5.2. Областью теплового воздействия называется “часть пространства, примыкающая к области горения, в котором тепловое воздействие приводит к заметному изменению состояния материалов и конструкций и делает невозможным пребывание в нем людей без специальной тепловой защиты (теплозащитных костюмов, отражательных экранов, водяных завес и т. п.)” [84].

Определение 5.3. Областью задымления называется “часть пространства, примыкающая к области горения и заполненная дымовыми газами в концентрациях, создающих угрозу жизни и здоровью людей или затрудняющих

действия пожарно-спасательных подразделений” [84]. Эти области, как правило, не имеют строгих и четких границ.

При этом территорию, на которой проводится тушение пожара, разделяем на две области (зоны): тушения (область прекращения горения) и защиты [84, 182, 183, 202, 205, 317].

Определение 5.4. Под областью тушения понимается участок (место), на котором введенными силами и средствами могут создаваться условия по прекращению горения.

Определение 5.5. Под областью защиты понимается участок (место), на котором введенными силами и средствами могут исключаться возможности дальнейшего распространения огня.

Наличие этих двух областей определяется обстановкой, складывающейся на пожаре (рис. 5.2). Тушение пожара будет проводиться как на втором этаже (область тушения), так и на первом, и третьем этажах (область защиты) при локализации и ликвидации пожара возникшем на втором этаже трехэтажного здания, так и на первом (в случае необходимости) и третьем этажах.

В каждой из указанных областей (зон) личный состав пожарно-спасательного подразделения в соответствии с предпочтениями (управленческими решениями) РТП будут выполнять определенный вид оперативно-тактических действий [182, 183, 201, 204, 316, 461].

Так, в США использование большого количества мощных струй огнетушащих веществ с больших расстояний (с соседних зданий и подъемной пожарной техники) является исходным принципом при принятии решения на тушение пожара мобильными средствами в крупных городах [358, 456–458].

В Англии в основу поддержки управления пожаротушением положен принцип: бороться с открытым горением гораздо легче, чем с огнём в обстановке плотного задымления. Под контролем пожарно-спасательных подразделений огню дают свободно распространяться на ограниченных участках, в так называемой «защитной полосе» и принимают решительные меры по защите соседних негорящих участков. Вскрытие и разборка элементов конструкций

производятся гораздо дальше от места видимого, открытого горения, т. е. тщательно готовятся условия для ликвидации горения [202, 358, 456–458].

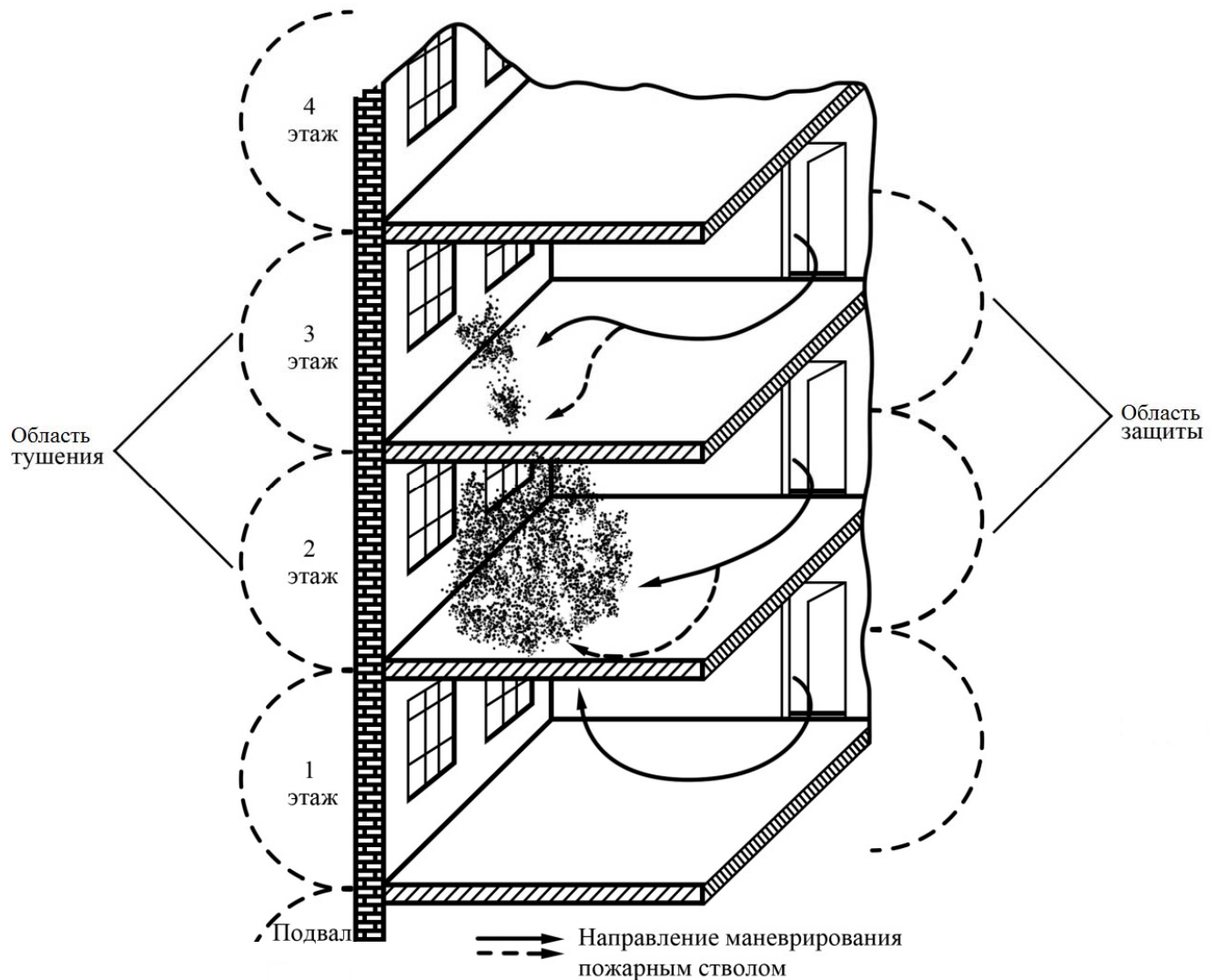


Рисунок 5.2 – Распределение (примерное) областей (зон) при локализации и ликвидации пожара на втором этаже здания

В Германии оперативно-тактические действия по локализации и ликвидации горения основаны, главным образом, на создании разрывов (разборке и вскрытии строительных конструкций, напылении пены), а также максимально возможном приближении позиций ствольщиков к местам горения и на обеспечении максимальных расходов огнетушащих веществ.

Причем эти оперативно-тактические действия проводятся независимо от стадии развития пожара и участка, т. е. независимо от момента, определяющего,

что еще может быть сохранено и что уже приведено опасными факторами пожара в полную негодность [202, 358, 456–458].

Особенность поддержки управления действиями российских пожарных – совершенная универсализация управления при оперативно-тактических действиях, т. е. по сути, применение всех вышеуказанных подходов к управлению. Система нормирования в России до настоящего времени позволяла генерировать управленческие решения с учётом того, что личный состав пожарно-спасательного подразделения достаточно долгое время мог совершать оперативно-тактические действия по спасанию людей внутри зданий и тушению пожара, располагая боевые позиции первоначально на решающем направлении, а затем на всех необходимых направлениях, одновременно проводя специальные работы и осуществляя защитные функции. А боевые уставы пожарной охраны России (СССР) 1937, 1940, 1953, 1970, 1985 годов традиционно требовали от участников тушения “высокой тактической выучки, активности, решительности в действиях, дисциплинированности и разумного риска при выполнении боевых задач по тушению” [309–314, 456, 457]. Наряду с наступательными действиями на определенных РТП направлениях пожарно-спасательные подразделения могут применять и действия по защите негорящих мест и участков от воздействия опасных факторов пожара. Кроме наступательных и защитных действий, при определенной сложившейся обстановке на пожаре пожарно-спасательные подразделения могут применять и такой вид действий, как отход с занимаемых позиций в соответствии с управленческими задачами РТП [182, 183, 202, 316].

Реализация управленческой задачи РТП на наступательные действия осуществляется путем сосредоточения достаточного количества сил и средств на решающем направлении, решительным и непрерывным наступлением на огонь с последующим его окружением и окончательной ликвидацией.

Реализация управленческой задачи РТП на защитные действия может проводиться как на заблаговременно подготовленных позициях, рубежах, опорных пунктах (противопожарные зоны, преграды, разрывы), так и на неподготовленных участках при переходе к защите в процессе наступательных

действий и при отходе с занятых позиций. Обычно к решению управленческой задачи на ведение защитных действий подразделениями РТП вынужден прибегать в тех случаях, когда наступательные действия невозможны или нецелесообразны, а также когда необходимо обеспечить наступление на огонь на других, более важных направлениях. Управленческая задача, реализуемая в виде отхода с позиций при тушении пожаров, ставится личному составу пожарно-спасательных подразделений весьма редко. Отход применяется с целью вывода сил и средств тушения из создающихся на пожаре опасных зон или участков и занятия наиболее выгодных позиций подразделениями для последующего выполнения управленческой оперативно-тактической задачи.

При осуществлении защитных действий на пожаре обычно РТП применяет методы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями, направленные на пассивную и (или) активную защиту помещений, оборудования объекта, где тушится пожар.

В зависимости от формы площади пожара (круговая, прямоугольная, угловая и т. д.), направления распространения огня (в одну или несколько сторон) и характера развития пожара (площадь пожара увеличивается во времени или остается постоянной), управленческое решение на ведение наступательных действий может быть нескольких видов: наступление навстречу распространению огня, наступление по направлению распространения огня, наступление на нераспространяющийся огонь [183, 202, 316].

### **5.3.1. Пространственный метод поддержки управления**

Прибывая на пожар, личный состав пожарно-спасательных подразделений реализует поставленные задачи управления и принятия решений РТП, осуществляя подачу огнетушащих веществ в очаг пожара на глубину тушения огнетушащими средствами (более 97 % – пожарные водяные стволы, 1,26 % – пожарные пенные стволы) или подаёт газовые, порошковые огнетушащие составы (около 0,03 % – пожарные порошковые стволы) [166, 167].

Сущность пространственного метода поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями заключается в выделении СиС на тушение пожара в зависимости от площади (объёма) пожара.

Методика его применения заключается в сравнении площади тушения, обеспечивающей средствами подачи огнетушащих веществ, и площади пожара. В том случае, если фактический расход и интенсивность огнетушащих веществ на единицу площади пожара равны или превосходят нормативные значения, то СиС на тушение пожара достаточно и должно быть запланировано решительное и непрерывное наступление на огонь, т. е. должен быть применён метод немедленной атаки. Если фактического расхода и (или) интенсивности огнетушащих веществ на единицу площади пожара недостаточно, должны быть запланированы действия по защите – метод защиты.

### 5.3.2. Энергетический метод поддержки управления

Любое загорание является источником большого количества физических параметров, характеризующих как сам очаг горения, так и изменения свойств среды вокруг него. Очаг горения 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 огнетушащих веществ с целью ликвидации пожара:

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

$$\begin{cases} q_{\text{отв}} < q_{\text{п}} \\ t_{\text{н}} < 20 \end{cases},$$

где  $q_{\text{отв}}$  – интенсивность теплоотвода от пожара,  $Bm$ ;  $q_{\text{п}}$  – интенсивность теплоотвыделения пожара,  $Bm$ ;  $t_{\text{н}}$  – начальная температура горючих материалов,  $^{\circ}C$ ;

в другие периоды развития пожара был оптимальным, необходимо:

$$\begin{cases} q_{\text{отв}} < q_{\text{п}} \\ t_{\text{пир}} < 250 \end{cases},$$

где  $t_{\text{н}}$  – температура начала пиролиза горючих материалов,  $^{\circ}C$ .

Измерение этих физических величин и использование для решения задач управления и принятия решений ведёт к дальнейшему повышению эффективности ведения оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями.

Сущность энергетического метода поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями заключается в выделении  $SiC$  на тушение пожара в зависимости от интенсивности выделения тепла от пожара [252].

Методика его применения заключается в сравнении необходимой огнетушащей мощности при данной интенсивности выделения тепла от пожара с количеством средств подачи огнетушащих веществ. То есть, если теплоемкость превосходит интенсивность выделения тепла, должно быть запланировано решительное и непрерывное наступление на огонь, т. е. должен быть применён метод немедленной атаки; если теплоемкость ниже интенсивности выделения тепла, должны быть запланированы действия по защите – метод защиты, таким образом, чтобы общая степень поглощения тепла была больше интенсивности выделения тепла, для того чтобы было возможно наступление на огонь [252].

### **5.3.3. Пространственно-временные методы поддержки управления**

#### **Метод поддержки управления при фронтальном тушении пожара**

В начальный период тушения пожара оперативно-тактические действия заключаются в подаче огнетушащих веществ по фронту распространяющегося

пожара для ограничения распространения по плоскости горения. Руководителю тушения пожара следует добиваться максимальной скорости локализации.

Утверждение 5.1. Оперативная управленческая задача РТП, формализованная как наступление навстречу распространению огня, может быть реализована при тушении пожара как в здании, когда к прибытию первых пожарно-спасательных подразделений огонь распространился только на часть здания, так и на открытой местности. При этом используется метод поддержки управления фронтальным тушением (рис. 5.3).

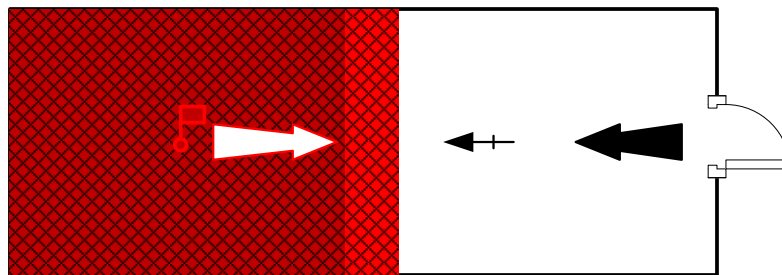


Рисунок 5.3 – Графическая интерпретация метода управления при фронтальном тушении

Изменение расходов огнетушащего вещества во времени приведено на рисунке 5.4, а изменение периметра пожара – на рисунке 5.5 [202, 358, 410].

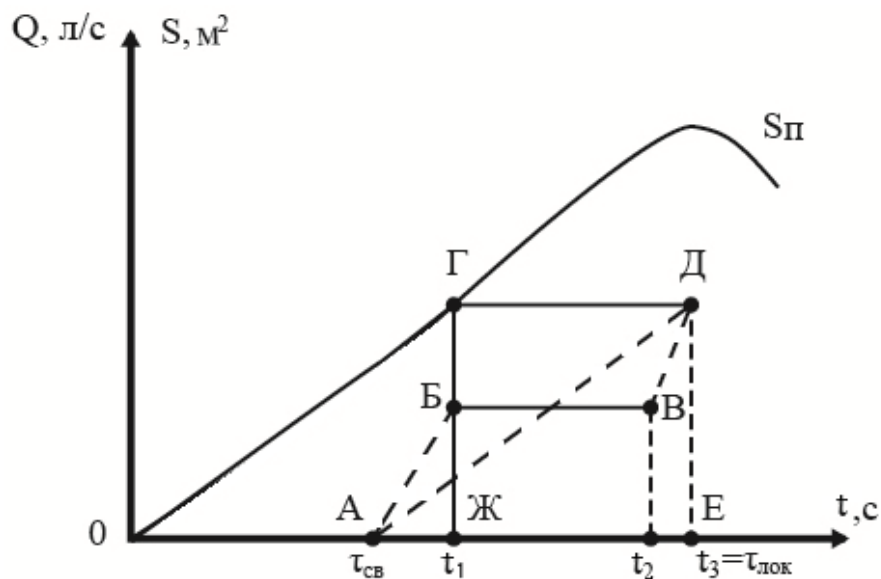


Рисунок 5.4 – Изменение площади пожара и расходов огнетушащего вещества при локализации пожара методом управления при фронтальном тушении



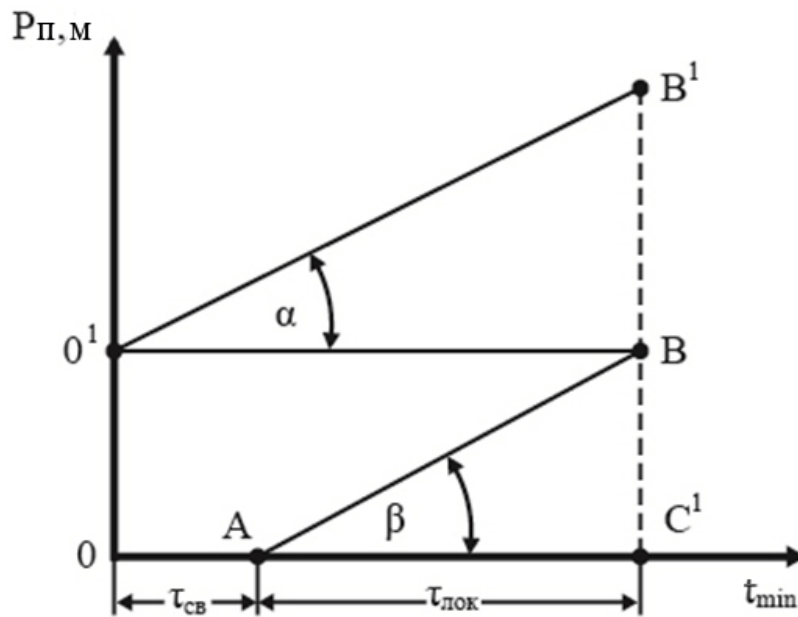


Рисунок 5.5 – Изменение периметра пожара при локализации пожара методом управления при фронтальном тушении

На рисунке 5.4 отображены: отрезки: ОГ – требуемый расход огнетушащего вещества в единицу времени ( $Q_{ТР}$ ); АБ – фактический расход огнетушащего вещества, подаваемого первым пожарно-спасательным подразделением ( $Q_{\phi 1}$ ); ВД – фактический расход огнетушащего вещества, подаваемого следующим пожарно-спасательным подразделением ( $Q_{\phi 2}$ ); АД – усредненный фактический расход огнетушащего вещества, поданного при тушении пожара ( $Q_{\phi}$ ); БЖ – требуемый расход огнетушащего вещества, необходимый для ограничения распространения пламени по его фронту ( $Q_{ТР1}$ ); ДЕ – общий требуемый расход для выполнения достаточного условия локализации ( $Q_{ТР}$ );

точки: А – начало подачи огнетушащего вещества первыми пожарно-спасательными подразделениями; Б – подача огнетушащего вещества первыми пожарно-спасательными подразделениями к моменту, когда создается равенство расходов  $Q_{\phi 1} = Q_{ТР1}$ ; В – подача огнетушащего вещества первыми пожарно-спасательными подразделениями к началу подачи огнетушащего вещества следующими пожарно-спасательными подразделениями; Д – подача

огнетушащего вещества следующими пожарно-спасательными подразделениями к моменту, когда создается равенство расходов  $Q_{\phi 2} = Q_{TP2}$ ;  $t_1$  – время сосредоточения сил и средств первого пожарно-спасательного подразделения;  $t_2$  – время от окончания сосредоточения сил и средств первого пожарно-спасательного подразделения до начала введения сил и средств следующих пожарно-спасательных подразделений;  $t_3$  – время сосредоточения сил и средств следующего пожарно-спасательного подразделения;  $\tau_{св}$  – время от начала возгорания до введения сил и средств первого пожарно-спасательного подразделения.

На рисунке 5.5 отображены: отрезки:  $OO^1$  – показывает величину фронта распространения огня, которая постоянна по времени и равна ширине сгораемого участка;  $AB^1C^1$  – общую величину периметра пожара;  $O^1B^1$  – увеличение периметра пожара во времени ( $P_{II}, м$ );  $AB$  – увеличение периметра локализации во времени ( $P_{лок}, м$ ); точки  $B^1$  и  $B$ , соответствуют моменту ограничения распространения огня.

Доказательство. Величина требуемого расхода огнетушащего вещества во времени остается постоянной для конкретного пожара. Она зависит от ширины площади пожара и интенсивности подачи огнетушащего вещества:

$$Q_{TP1} = a \cdot I_{TP} \cdot h_T, л/с, \quad (5.4)$$

где  $a$  – ширина площади пожара,  $м$ ;  $h_T$  – глубина полосы тушения пожарным стволом,  $м$ .

Требуемый расход огнетушащего вещества для локализации пожара на остальных направлениях:

$$Q_{TP2} = (S_T - a \cdot h_T) \cdot I_{TP}, л/с, \quad (5.5)$$

где  $S_T$  – площадь тушения,  $м^2$ .

Требуемая интенсивность подачи огнетушащего вещества определяется опытным путем или на основе анализа потушенных пожаров.

При этом общий расход, необходимый для тушения пожара:

$$Q_{TP} = Q_{TP1} + Q_{TP2}, л/с. \quad (5.6)$$

Требуемый расход огнетушащего вещества в этом случае (рис. 5.4) представим:

$$Q_{лок} = Q_{TP} = V_{TP}(\tau_{св} + \tau_1), л/с, \quad (5.7)$$

где  $V_{TP}$  – требуемая скорость сосредоточения огнетушащего вещества ( $tg\alpha$ , рис. 5.5),  $л/с^2$ .

При этом фактический расход огнетушащего вещества можно представить:

$$Q_{\phi} = \overline{V}_{\phi} \cdot \tau_{лок}, л/с, \quad (5.8)$$

где  $\overline{V}_{\phi}$  – фактическая усредненная скорость сосредоточения расхода огнетушащих веществ ( $tg\beta$ , рис. 5.5), подаваемых при тушении всеми силами и средствами пожарно-спасательных подразделений:

$$\overline{V}_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{\tau_{лок}}, л/с^2. \quad (5.9)$$

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

$$\overline{V}_{\phi} > V_{TP}. \quad (5.10)$$

где  $V_{TP}$  – требуемая скорость сосредоточения расхода огнетушащих веществ:

$$V_{TP} = V_{\Pi} \cdot I_{TP}, \quad (5.11)$$

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

Необходимо отметить, что при локализации пожара методом поддержки управления при фронтальном тушении – фактическая усредненная скорость сосредоточения расхода огнетушащих веществ может быть меньше требуемой скорости сосредоточения расхода огнетушащих веществ. 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.

Площадь пожара в момент локализации определяется из уравнения:

$$S_{лок} = V_{II} \cdot (\tau_{св} + \tau_1), м^2. \quad (5.12)$$

Величина площади пожара в момент его локализации зависит от времени свободного развития и реализации управленческих решений РТП в виде оперативно-тактических действий первого пожарно-спасательного подразделения, прибывшего на пожар.

Время локализации пожара определим, приравняв правые части формул (5.6) и (5.7) согласно (5.2) и решив полученное уравнение:

$$\tau_{лок} = \frac{V_{TP} \cdot (\tau_{св} + \tau_1)}{V_{\phi}}, с. \quad (5.13)$$

Продолжительность локализации пожаров зависит от промежутка времени свободного развития пожара, требуемой и фактической скоростей сосредоточения расходов огнетушащего вещества пожарно-спасательными подразделениями, определёнными РТП.

В связи с тем, что согласно [462, 463] расчеты требуемого количества сил и средств пожаротушения лесных пожаров основываются на среднестатистических данных о производительности средств тушения (скорости тушения) при локализации кромки пожара в зависимости от интенсивности пожаров и лесорастительных условий, рассмотрим интерпретацию фронтального метода управления при тушении пожаров на открытой местности.

Интенсивность пожара (лесного) определяют по ряду следующих признаков [410, 462, 463]: “высота нагара на стволах”, “высота пламени”, “интенсивность горения” (мощность тепловыделения с одного погонного метра кромки пожара), скорость распространения кромки пожара, вид сгорающих материалов, глубина прогорания слоя горючих материалов, величина невыгоревших участков в процентах от общей площади пожара.

Производительность средств тушения измеряется в *м/час* на одну машину или на одного пожарного, а также в *м/мин* на одного пожарного. Производительность средств тушения при создании заградительных и опорных полос измеряется в *м/час*, одним пожарным при “ручных работах” и (или) на одной машине.

Ширина кромки (“полоса горения, окаймляющая внешний контур пожара и непосредственно примыкающая к участкам, не пройденным огнем” [410]) при расчетах сил и средств не учитывается. Нет принятых при расчетах сил и средств пожаротушения в зданиях и сооружениях интенсивности подачи огнегасящих веществ на единицу площади пожара в единицу времени ( $л/м^2 \cdot с$ ), глубины тушения пожарными стволами, площади тушения, требуемого и фактического расходов огнетушащих веществ.

При определении скорости тушения кромки пожара одним пожарным или средством тушения прямым методом учитываются интенсивность пожара, способ тушения, высота пламени и тип леса. При косвенном методе управления тушением высота пламени не учитывается [410].

Условия локализации пожара:

$$V_{\text{лок}} > V_{\text{кр}}, V_{\text{лок}} > V_{\text{пер}};$$

где  $V_{\text{лок}}$  – скорость локализации пожара,  $м/мин$ ,  $м/час$ ;  $V_{\text{кр}}$  – скорость распространения кромки пожара,  $м/мин$ ,  $м/час$ ;  $V_{\text{пер}}$  – скорость роста периметра пожара,  $м/мин$ ,  $м/час$ .

При ведении наступательных действий, при одностороннем развитии пожара на открытой местности (рис. 5.6) периметр пожара ( $P$ ) и скорость распространения кромки пожара ( $V_{\text{кр}}$ ) – величины постоянные. Условие локализации пожара:  $V_{\text{лок}} > V_{\text{кр}}$ .

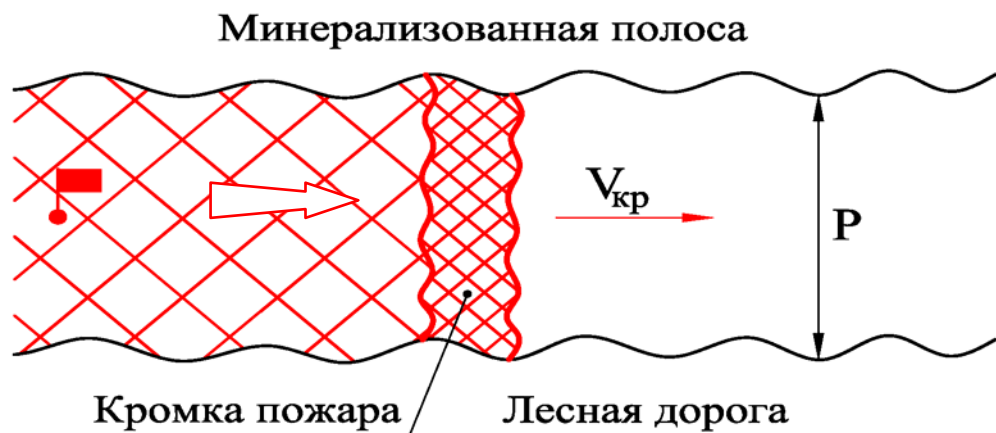


Рисунок 5.6 – Схема одностороннего развития пожара

При ведении наступательных действий, при введении сил и средств одновременно по всей длине периметра в достаточном для локализации пожара на открытой местности количестве (рис. 5.7), условие локализации пожара:

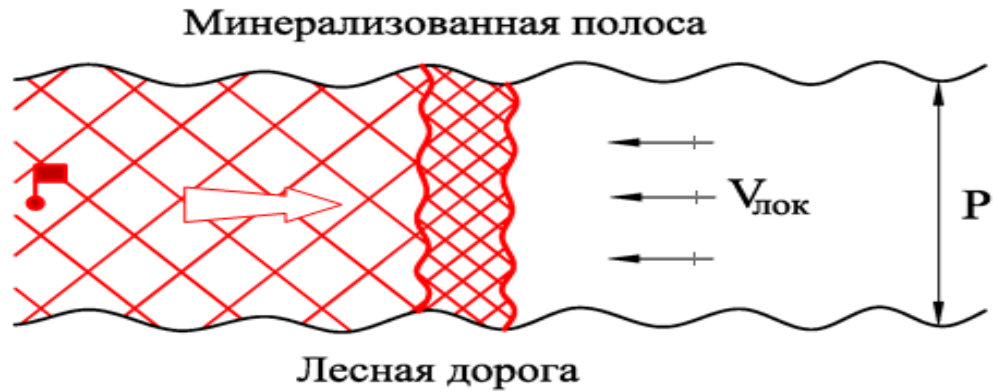
$$V_{\text{лок}} > V_{\text{кр}}$$


Рисунок 5.7 – Графическая интерпретация управленческого решения при тушении пожара с односторонним развитием

На рисунке 5.8 показан совмещенный график периметра пожара ( $P$ ), скорости распространения кромки пожара ( $V_{\text{кр}}$ ), требуемой ( $V_{\text{лок}}^{\text{ТР}}$ ) и фактической скорости ( $V_{\text{лок}}^{\text{Ф}}$ ) кромки пожара.

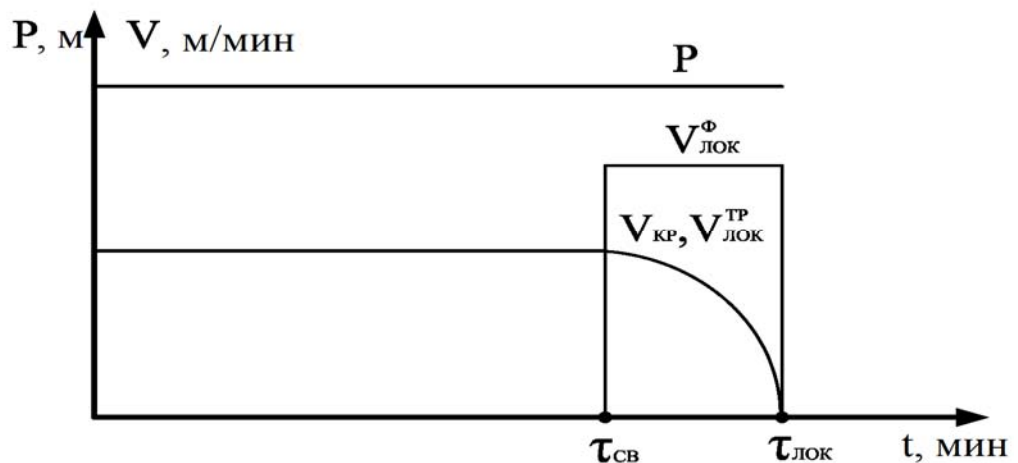


Рисунок 5.8 – Совмещенный график периметра пожара, скорости распространения кромки пожара, требуемой и фактической скоростей локализации кромки пожара:  $\tau_{\text{св}}$  – время введения сил и средств пожаротушения;  $\tau_{\text{лок}}$  – время локализации пожара

При решении управленческой задачи РТП на ведение наступательных действий силами и средствами пожаротушения на отдельном участке периметра (рис. 5.9) – периметр пожара на открытой местности ( $P$ ) за время тушения увеличивается, скорость распространения кромки ( $V_{кр}$ ) не изменяется, при этом условия локализации таких пожаров:  $V_{лок} > V_{кр}$ , скорость роста площади пожара ( $V_{п}$ ) уменьшается.

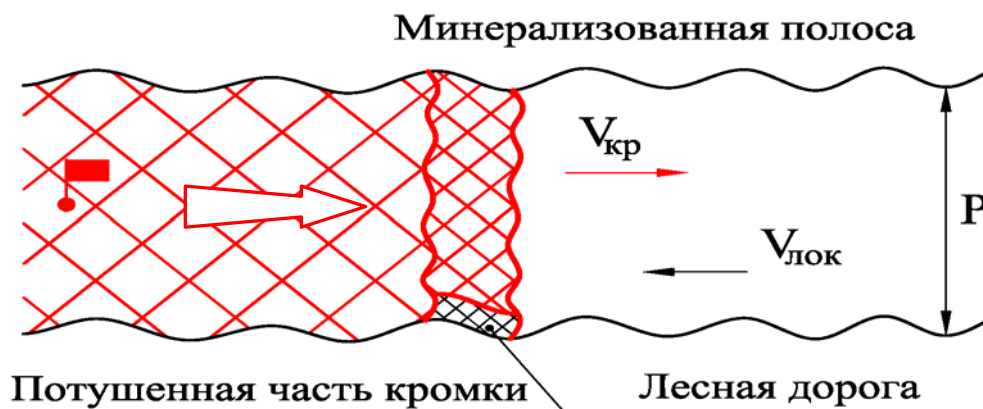


Рисунок 5.9 – Графическая интерпретация частного управленческого решения при тушении пожара с односторонним развитием

На рисунке 5.10 показан совмещенный график периметра пожара ( $P$ ), скорости распространения пожара ( $V_{кр}$ ), требуемой ( $V_{лок}^{TP}$ ) и фактической ( $V_{лок}^{\phi}$ ) скоростей локализации кромки пожара, скорости роста площади пожара ( $V_s$ ).

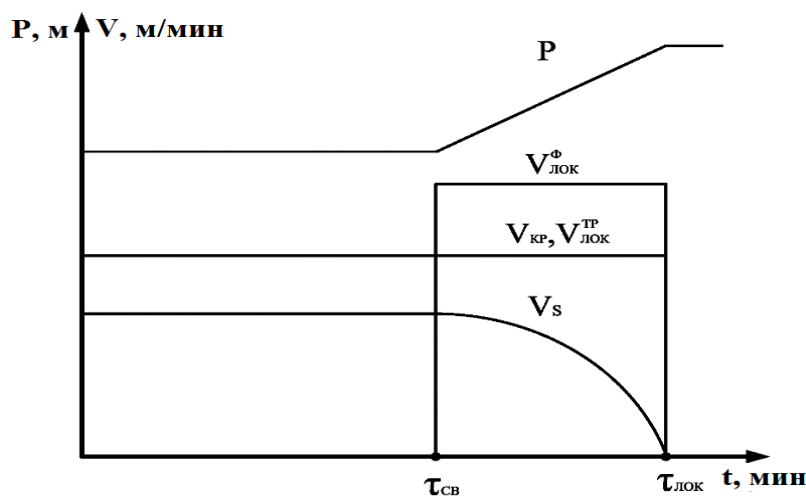


Рисунок 5.10 – Совмещенный график параметров реализации управленческого решения при тушении пожара с односторонним развитием

В том случае, если реализация управленческого решения РТП в форме наступления по направлению распространения огня не может проводиться из-за неблагоприятных условий (сильный встречный ветер, когда струя воды, подаваемая из пожарного ствола, значительно ослабляется или рассеивается), при этом используется метод управления окружением (тылового окружения и охвата) [202, 456, 462].

### **Метод поддержки управления при тушении пожара окружением**

Утверждение 5.2. При пожарах на открытой местности (лесном, почвенном, наружном торфяном пожаре), на складах лесопиломатериалов, когда огонь относительно равномерно распространяется во все стороны и пожарно-спасательные подразделения воплощают управленческую задачу РТП которая заключается в ограничении его развития по всему периметру пожара с последующим наступлением на всю глубину площади пожара, с целью недопущения его распространения на объекты экономики и социальной инфраструктуры. При этом используются метод поддержки управления при тушении пожара окружением. Ограничение распространения огня в этом случае (если не применяется опашка, создание разрывов и минерализованных полос и т. п.) наступит тогда, когда будет введено достаточное количество огнетушащих средств по всему периметру пожара (рис. 5.11), тогда и будет получено решение управленческой задачи РТП.

Доказательство. Изменение расходов огнетушащего вещества во времени в виде отрезков:  $OD$  – требуемый расход огнетушащего вещества в единицу времени ( $Q_{TR}$ );  $AD$  – фактический расход огнетушащего вещества, подаваемого первым пожарно-спасательным подразделением ( $Q_{\Phi}$ ); и точек:  $A$  – начало подачи огнетушащего вещества первым пожарно-спасательным подразделением (начало локализации пожара);  $D$  – подача огнетушащего вещества пожарно-спасательными подразделениями к моменту, когда создается равенство расходов  $Q_{\Phi} = Q_{TR}$  (момент локализации пожара), приведено на рисунке 5.12 (при отсутствии ветра).



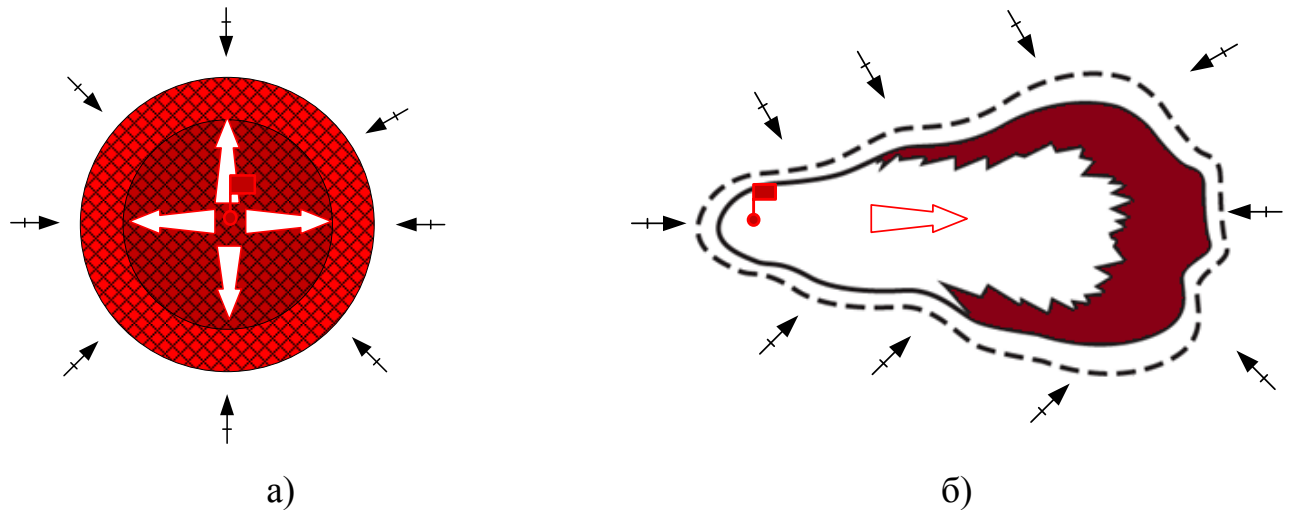


Рисунок 5.11 – Графическая интерпретация управленческого решения при ведении оперативно-тактических действий методом поддержки управления при тушении пожара окружением: а) при отсутствии ветра; б) при ветре

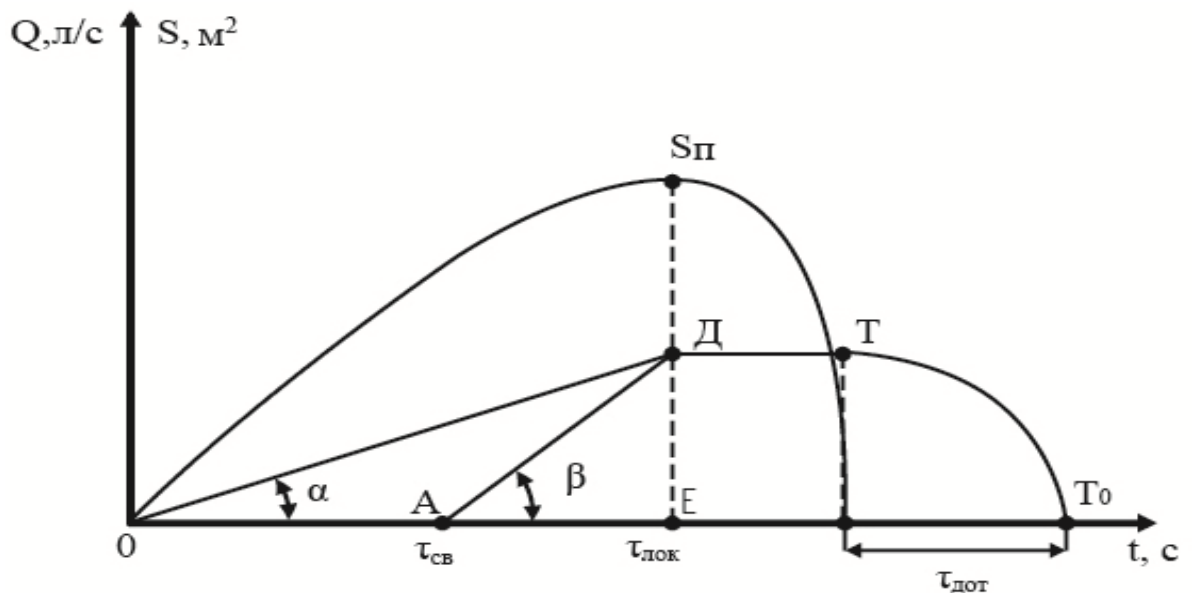


Рисунок 5.12 – Изменение площади пожара и расходов огнетушащего вещества при локализации пожара (при отсутствии ветра)

На рисунке 5.13 отображено изменение расходов огнетушащего вещества во времени при ветре, в виде отрезков:  $ODD'$  – изменение требуемого расхода огнетушащего вещества в единицу времени ( $Q_{TR}$ );  $AD$  – фактический расход огнетушащего вещества ( $Q_{\Phi}$ );  $D'B$  – величина требуемого расхода огнетушащего вещества к моменту создания условий для сведения площади пожара на клин;  $DE$  – величина фактического расхода огнетушащего вещества на момент локализации

пожара ( $Q_{\phi}$ ) и точек:  $\tau_{\text{фл}}$  – время создания условий для сведения площади пожара на клин сосредоточения сил и средств первого пожарно-спасательного подразделения (подача огнетушащих веществ с флангов). А изменение периметра пожара изображено на рисунке 5.14 [202, 464].

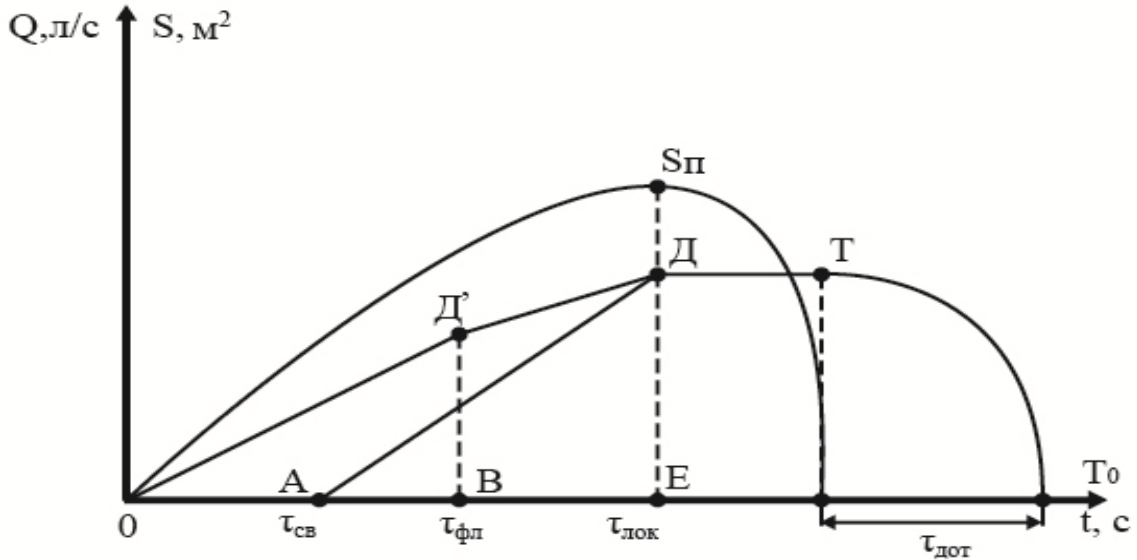


Рисунок 5.13 – Изменение площади пожара и расходов огнетушащего вещества при локализации (при ветре)

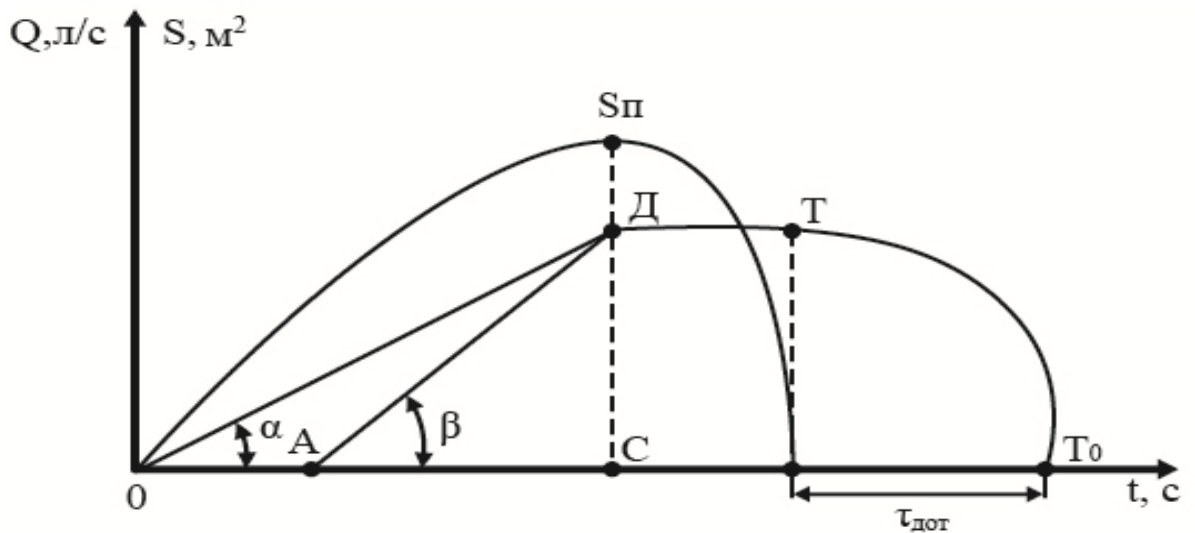


Рисунок 5.14 – Изменение периметра пожара при его локализации в результате реализации метода поддержки управления при тушении пожара окружением: отрезки:  $OD$  показывают увеличение периметра пожара во времени;  $AD$  – увеличение периметра локализации во времени

Необходимые условия решения управленческой задачи на локализацию пожара в данном случае идентичны приведённым при доказательстве утверждения 5.1. Если фактическая усредненная скорость сосредоточения расхода огнетушащих веществ будет равна или меньше требуемой скорости, то по законам геометрии линии ОД и АД не пересекутся, следовательно, в этом случае равенство требуемого и фактического расходов огнетушащего вещества наступить не может. Поэтому неравенство (5.10) является необходимым условием локализации пожара с учётом метода поддержки управления при тушении пожара окружением.

Выполнение условий (5.3) и (5.10) может быть достигнуто путем выполнения личным составом решения РТП по подаче огнетушащих веществ с применением различных типов пожарных стволов. Однако подаваемые из них огнетушащие вещества могут не достигать горящих поверхностей (работа по дыму, подача на высоту и т. п.), поэтому для достижения успешной локализации пожара РТП необходимо создать такие условия, при которых подаваемые в достаточном количестве огнетушащие вещества могли бы вводиться непосредственно на горящие поверхности. Это достигается выполнением достаточного условия локализации пожара:

$$I_{TP} = I_{\phi}, \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), \quad (5.14)$$

$$I_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{S_{\Pi}}, \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), \quad (5.15)$$

где  $I_{\phi}$  – фактическая интенсивность огнетушащего вещества.

По данным Рисунка 5.13 можно определить величину скорости изменения периметра пожара во времени ( $tg\alpha$ ) и скорость локализации пожара ( $tg\beta$ ):

$$tg\alpha = V_{\Pi} = \frac{ДС}{\tau_{св} + \tau_{лок}} = \frac{P_{\Pi}}{\tau_{св} + \tau_{лок}}, \text{ м}/\text{с}, \quad (5.16)$$

$$tg\beta = V_{лок} = \frac{ДС}{\tau_{лок}} = \frac{P_{лок}}{\tau_{лок}} = \frac{n_{ств} \cdot Q_{ств}}{I_{TP} \cdot \tau_{лок}}, \text{ м}/\text{с}, \quad (5.17)$$

где  $n_{ств}$  – количество пожарных стволов, ед.;  $Q_{ств}$  – расход пожарного ствола, л/с.

Требуемый расход огнетушащего вещества на локализацию пожара в этом случае (рис. 5.12) можно представить:

$$Q_{TP} = V_{TP} (\tau_{св} + \tau_{лок}), \text{ л/с.} \quad (5.18)$$

При этом фактический расход огнетушащего вещества (рис. 5.11):

$$Q_{\phi} = V_{\phi} \cdot \tau_{лок}, \text{ л/с,} \quad (5.19)$$

где  $V_{\phi}$  – фактическая скорость сосредоточения расхода огнетушащих веществ ( $tg\beta$ , рис. 5.12), подаваемых при тушении всеми силами и средствами пожарно-спасательных подразделений.

Время локализации пожара определим, приравняв правые части формул (5.17) и (5.18) согласно (5.2) и решив полученное уравнение:

$$\tau_{лок} = \frac{V_{TP} \cdot \tau_{св}}{V_{\phi} - V_{TP}}, \text{ с.} \quad (5.20)$$

Площадь локализации пожара в этом случае может быть определена:

$$S_{лок} = V_{\Pi} \cdot (\tau_{св} + \tau_{лок}), \text{ м}^2. \quad (5.21)$$

Анализ рисунка 5.13 позволяет сделать вывод, что для локализации при реализации метода поддержки управления при тушении пожара окружением – скорость локализации должна быть больше скорости роста периметра пожара (подтверждается практикой тушения таких пожаров). В том случае, если РТП не может добиться выполнения этой закономерности пожарно-спасательными подразделениями, которые не могут ограничить распространение огня, так как увеличение периметра пожара будет таким, что фактически сосредоточиваемое и вводимое РТП количество сил и средств будет всегда меньше требуемого.

Осуществляя управленческое решение РТП на наступательные действия при круговом развитии пожара в безветренную погоду (рис. 5.15), периметр пожара ( $P$ ) увеличивается, скорости распространения кромки ( $V_{кр}$ ) и увеличения периметра пожара ( $V_{пер}$ ) не изменяются, пожарно-спасательные подразделения должны добиться следующих условий локализации пожара:  $V_{лок} > V_{кр}$ ,  $V_{лок} > V_{пер}$ .

В общем случае управленческое решение РТП на ведение наступательных действий заключается в введении сил и средств пожаротушения одновременно по

всей длине периметра в достаточном для локализации пожара количестве для достижения следующих условий:  $V_{лок} > V_{кр}$ ,  $V_{лок} > V_{пер}$ .

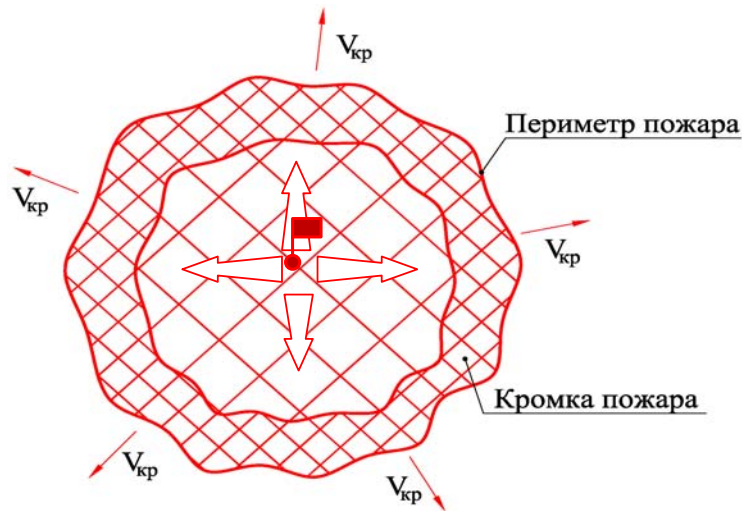


Рисунок 5.15 – Схема кругового развития пожара в безветренную погоду

На рисунке 5.16 приведён совмещенный график реализации управленческого решения РТП на наступательные действия сил и средств пожаротушения.

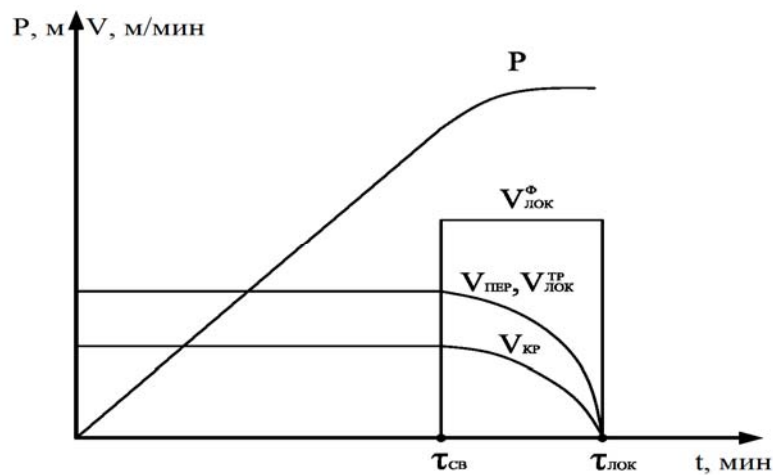


Рисунок 5.16 – Совмещенный график показателей реализации управленческого решения РТП на наступательные действия сил и средств пожаротушения одновременно по всей длине периметра в достаточном для локализации пожара количестве при круговом развитии пожара в безветренную погоду

Действия осуществляются одновременно по всей длине периметра ( $P$ ) в достаточном для локализации пожара количестве при круговом развитии пожара

в безветренную погоду с отображением скорости распространения кромки пожара ( $V_{кр}$ ), скорости роста периметра пожара ( $V_{пер}$ ), требуемой ( $V_{лок}^{ТР}$ ) и фактической ( $V_{лок}^{фак}$ ) скоростей локализации пожара.

Реализуя управленческое решение на наступательные действия и вводя силы и средства пожаротушения на отдельном участке с дальнейшим их продвижением вдоль кромки пожара (рис. 5.17), РТП добивается уменьшения периметра пожара ( $P$ ), скорости его роста ( $V_{пер}$ ), скорости роста площади пожара ( $V_s$ ).

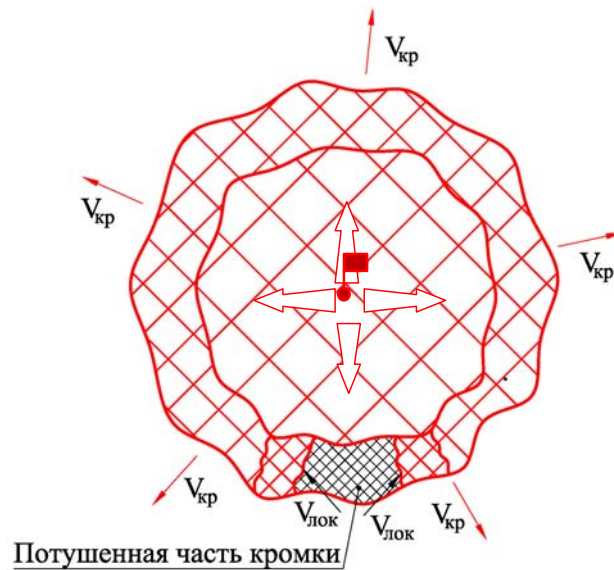


Рисунок 5.17 – Графическая интерпретация управленческого решения при ведении оперативно-тактических действий при круговом развитии пожара в безветренную погоду

На рисунке 5.18 приведён совмещенный график изменения периметра пожара ( $P$ ), скорости распространения кромки пожара ( $V_{кр}$ ), скорости изменения периметра пожара ( $V_{пер}$ ), скорости увеличения площади пожара, пройденной огнем ( $V_s$ ), требуемой ( $V_{лок}^{ТР}$ ) и фактической ( $V_{лок}^{фак}$ ) скоростей локализации пожара, интерпретирующих реализацию управленческого решения РТП на введение сил и средств при тушении пожара.

В общем случае управленческое решение на ведение наступательных действий при круговом варианте развития пожара в ветреную погоду (рис. 5.19), когда скорость распространения кромки пожара ( $V_{кр}$ ) увеличивается при

продвижении вдоль периметра от тыла к фронту, где достигает наибольшего значения, и скорость роста периметра в тыльной части пожара наименьшая, а во фронтальной части – наибольшая, РТП должен добиться выполнения условий:

$$V_{\text{лок}} > V_{\text{кр}}, V_{\text{лок}} > V_{\text{пер}}$$

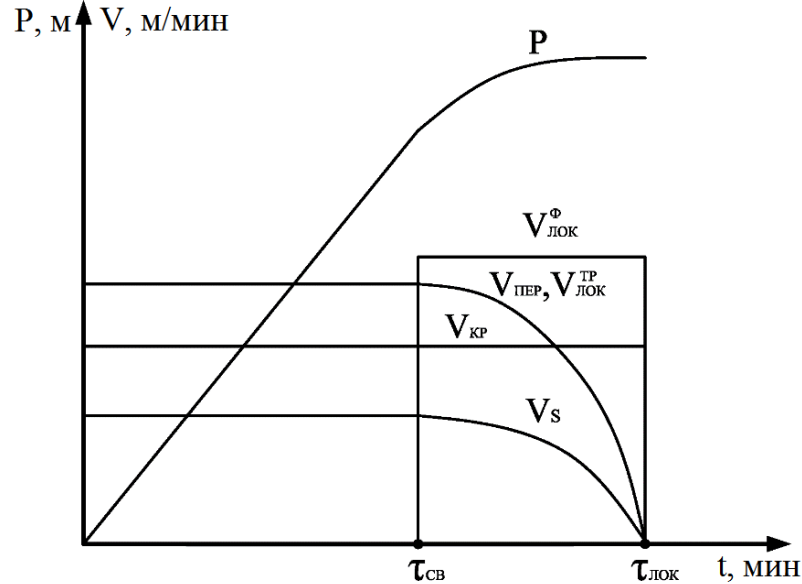


Рисунок 5.18 – Совмещенный график показателей реализации управленческого решения РТП на введение сил и средств при тушении пожара на отдельном участке с дальнейшим их продвижением вдоль кромки пожара, когда пожар развивается по кругу в безветренную погоду

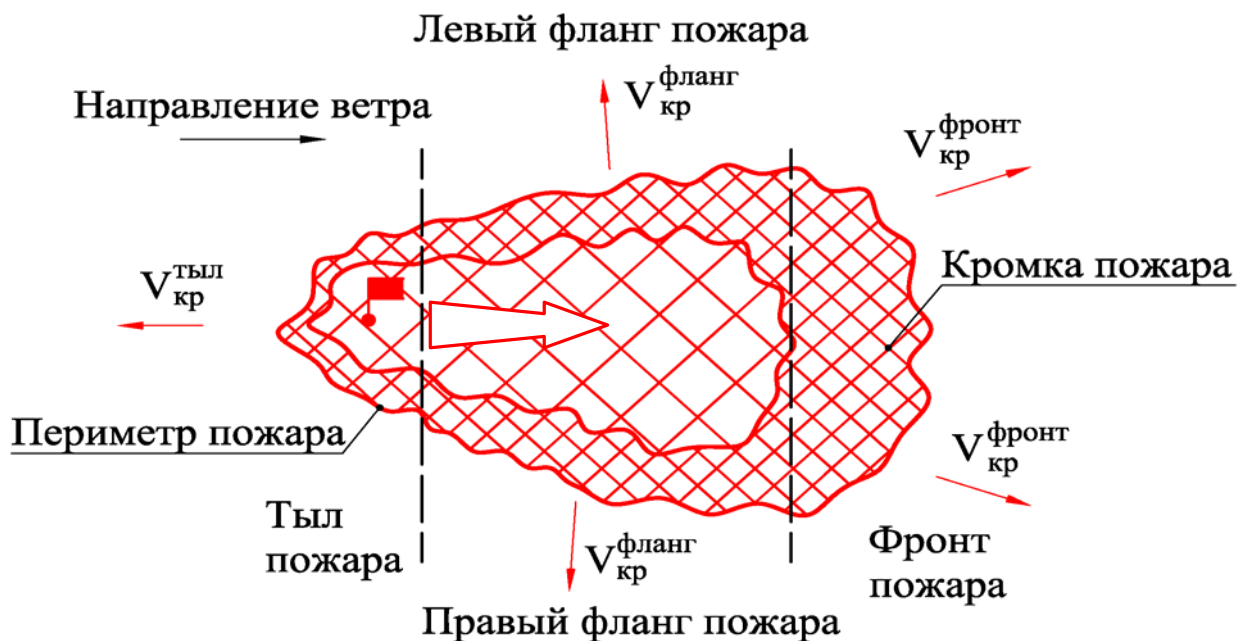


Рисунок 5.19 – Схема распространения пожара в ветреную погоду

Осуществляя управленческое решение РТП на наступательные действия при круговом развитии пожара, одновременно все силы и средства работают по всей длине периметра для достижения условий локализации пожара:  $V_{\text{лок}} > V_{\text{кр}}$ ,  $V_{\text{лок}} > V_{\text{пер}}$ , показанного на рисунке 5.19.

Управленческие решения РТП на наступательные действия при круговом развитии пожара одновременно всеми силами и средствами по всей длине периметра для локализации показанного на рисунке 5.19 пожара осуществляются до достижения условия локализации пожара:  $V_{\text{лок}} > V_{\text{кр}}$ ,  $V_{\text{лок}} > V_{\text{пер}}$ .

На рисунке 5.20 приведены показатели реализации управленческого решения РТП на введение сил и средств при тушении пожара: скорость распространения кромки пожара ( $V_{\text{кр}}$ ), скорость роста периметра пожара ( $V_{\text{пер}}$ ), требуемая ( $V_{\text{лок}}^{\text{тр}}$ ) и фактическая скорости ( $V_{\text{лок}}^{\text{фак}}$ ) локализации пожара в тылу ( $V_{\text{лок тыл}}^{\text{фак}}$ ), на флангах ( $V_{\text{лок фланг}}^{\text{фак}}$ ) и фронте ( $V_{\text{лок фронт}}^{\text{фак}}$ ).

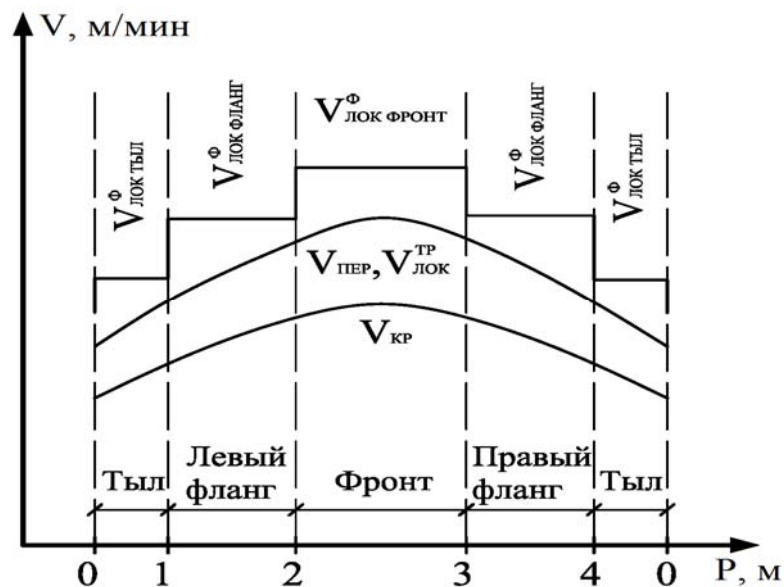


Рисунок 5.20 – График скоростей изменения параметров реализации управленческого решения РТП на введение сил и средств при тушении пожара, распространяющегося по кругу

На рисунке 5.21 приведен совмещенный график параметров реализации управленческого решения РТП на введение сил и средств с тыла пожара. На графике показаны периметр пожара  $P_{\text{тыл}}$ , максимальные скорости



распространения кромки пожара в тылу  $V_{кр}^{тыл}$  и роста периметра пожара в тылу  $V_{пер}^{тыл}$ , требуемая  $V_{лок}^{тыл}$  и фактическая  $V_{лок}^{фак}$  скорости локализации пожара.

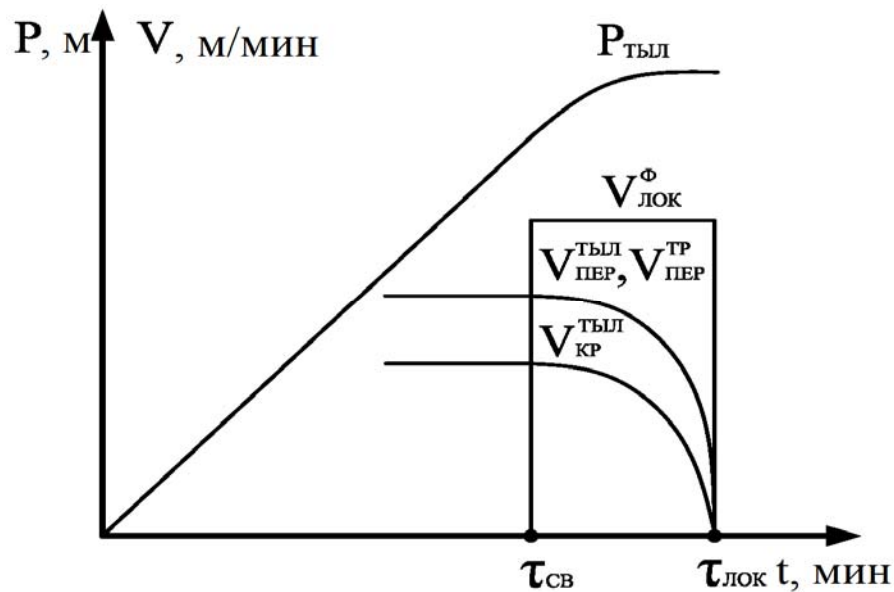


Рисунок 5.21 – Совмещенный график параметров реализации управленческого решения РТП на введение сил и средств по всей длине периметра тыла пожара с целью его локализации

Осуществляя управленческое решение РТП, личный состав пожарно-спасательного подразделения вводит средства пожаротушения на отдельном участке правого фланга в ветреную погоду и совершают дальнейшее продвижение вдоль кромки пожара (рис. 5.22) в условиях увеличения при продвижении к фронту пожара скорости распространения кромки пожара  $V_{кр}$ , скорости роста периметра пожара  $V_{пер}$  и уменьшения их – в сторону тыла. Соответственно, управленческое решение будет реализовано в том случае, если требуемая скорость  $V_{лок}^{гр}$  будет больше со стороны фронта пожара и меньше со стороны его тыла и при условии локализации пожара на правом фланге:

$$V_{лок} > V_{кр}^{max}, V_{лок} > V_{пер}^{max}.$$

На рисунке 5.23 отображен совмещенный график параметров осуществления управленческого решения РТП на введение сил и средств для правого фланга пожара. На графике показаны периметр правого фланга пожара  $P_{пр.фланг}$ , наибольшее значение скорости распространения пожара  $V_{кр}^{max}$  и

скорости роста периметра пожара  $V_{\text{пер}}^{\text{max}}$  на правом фланге, требуемая  $V_{\text{лок}}^{\text{тр}}$  и фактическая  $V_{\text{лок}}^{\text{фак}}$  скорости локализации пожара.

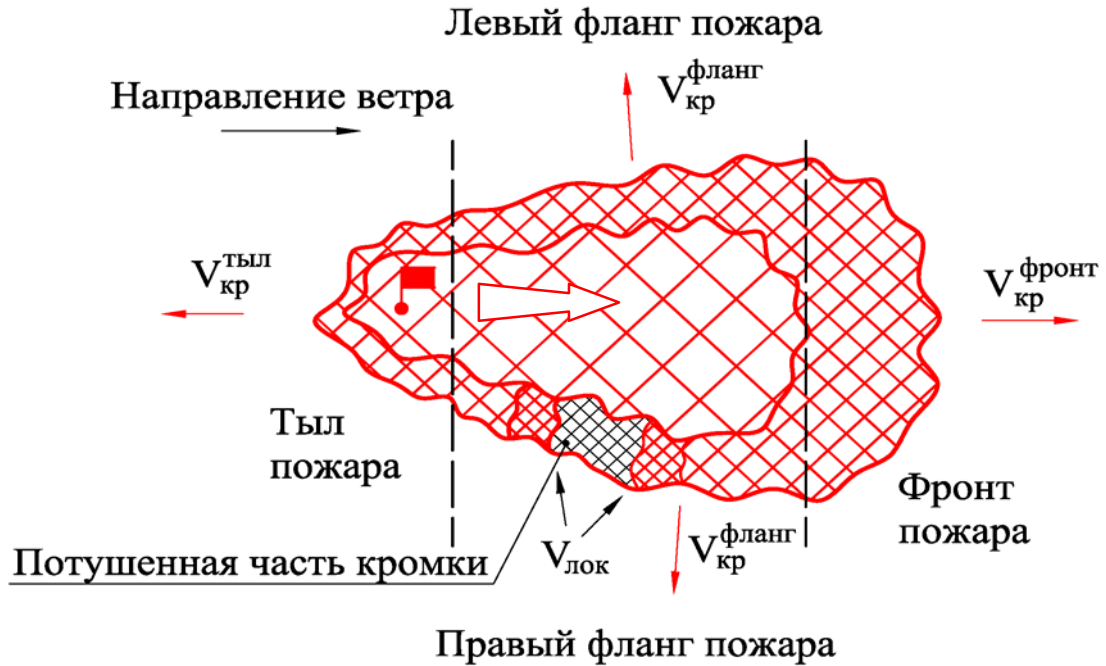


Рисунок 5.22 – Графическая интерпретация управленческого решения при ведении оперативно-тактических действий при тушении пожара в ветреную погоду на правом фланге

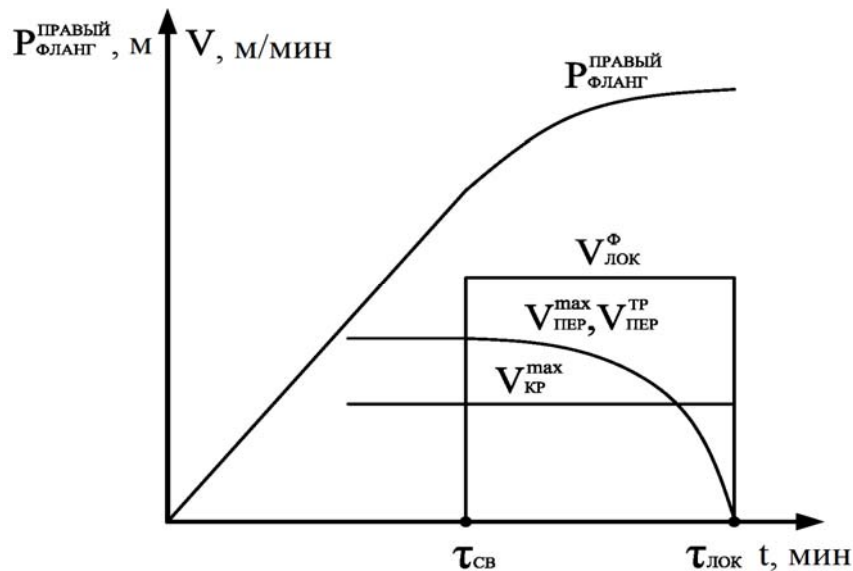


Рисунок 5.23 – Совмещенный график параметров реализации управленческого решения РТП на введение сил и средств пожаротушения на отдельном участке правого фланга пожара в ветреную погоду и дальнейшего их продвижения вдоль кромки пожара

Поэтому этот метод поддержки управления при локализации пожара возможен только при условии быстрого сосредоточения сил и средств и введения их по всему периметру пожара, и определяющим фактором успешного тушения пожаров является фактор времени

### **Метод поддержки управления при тушении пожара немедленной атакой**

Наступление на огонь, не распространяющийся по площади, может проводиться при пожаре в резервуаре или когда к прибытию первых пожарно-спасательных подразделений огонь распространился на всё здание и т. д.; при нем используются следующие методы поддержки управления – немедленной и подготовленной атаки.

Утверждение 5.3. В том случае, если для достижения целей выезда подразделений пожарной охраны на пожар достаточно сил и средств, руководитель тушения пожара может для ведения оперативно-тактических действий применить метод поддержки управления – немедленная атака на очаг пожара [175, 202, 410, 464].

Доказательство. Необходимые условия решения управленческой задачи на локализацию пожара в данном случае характеризуются тем, что выполняются общие условия локализации пожаров (5.3) и (5.14) на начальном этапе пожаротушения мобильными средствами. Изменение расходов огнетушащего вещества во времени, как подтверждение одного из условий локализации пожара, приведено на Рисунке 5.24 [202, 410, 464]. На нём отображены отрезки:  $OB$  – требуемый расход огнетушащего вещества в единицу времени ( $Q_{\text{ТР}}$ );  $AD$  – фактический расход огнетушащего вещества, подаваемого пожарно-спасательным подразделением ( $Q_{\text{Ф}}$ );  $ED$  – величина требуемого расхода огнетушащего вещества; точки:  $A$  – начало подачи огнетушащего вещества пожарно-спасательным подразделением (начало локализации пожара);  $B$  – момент окончания распространения огня (горение продолжается внутри ограждения);  $D$  – момент локализации пожара.

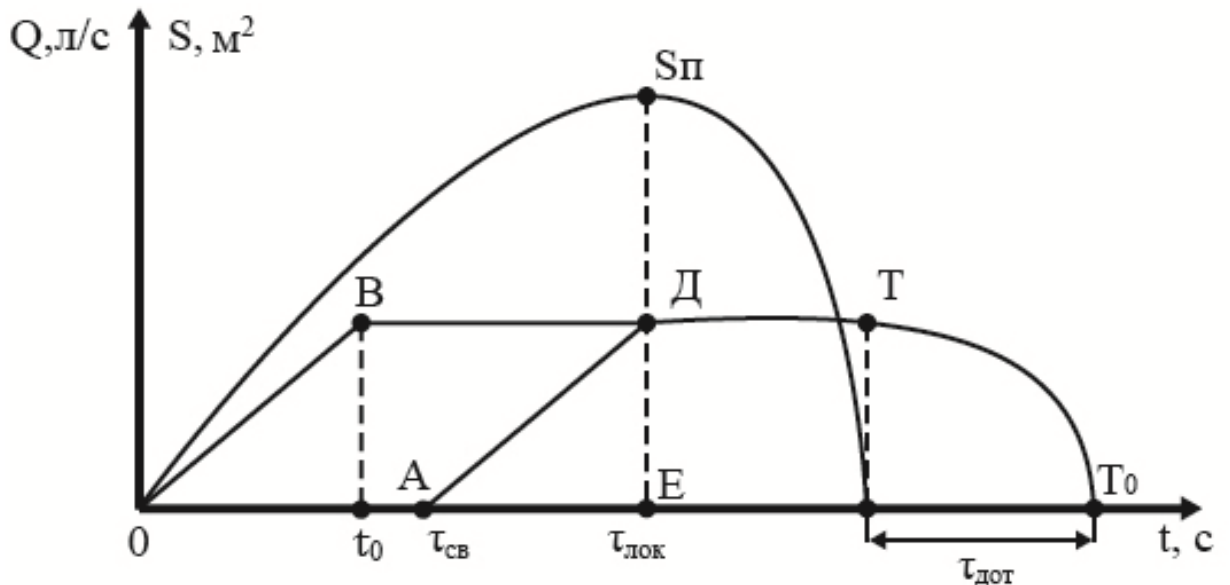


Рисунок 5.24 – Изменение площади пожара и расхода огнетушащего вещества, отражающих реализацию управленческого решения РТП на введение сил и средств пожаротушения при локализации пожара в результате реализации метода поддержки управления при тушении пожара немедленной атакой

Требуемый расход огнетушащего вещества на локализацию пожара реализуя метод поддержки управления при тушении пожара немедленной атакой в этом случае представим:

$$Q_{\text{ТР}} = V_{\text{ТР}} \cdot \tau_0, \text{ л/с.} \quad (5.22)$$

Время локализации пожара определим, приравняв правые части формул (5.19) и (5.22) согласно (5.3) и решив полученное уравнение:

$$\tau_{\text{лок}} = \frac{Q_{\text{ТР}}}{V_{\phi}}, \text{ с.} \quad (5.23)$$

И тогда необходимые условия локализации пожара методом поддержки управления при тушении пожара немедленной атакой идентичны приведённым при доказательстве утверждения 5.2. Площадь локализации пожара в этом случае будет равна площади горения. Руководителю тушения пожара необходимо стремиться к достижению максимально возможной скорости сосредоточения необходимых сил и средств для подачи требуемого расхода огнетушащих веществ. В противном случае использование этого метода не принесёт успеха.

### Метод поддержки управления при тушении пожара подготовленной атакой

Утверждение 5.4. При тушении пожаров газовых и нефтяных фонтанов, в резервуарах, объёмном способе тушения объектов экономики и социальной инфраструктуры, как правило, локализация пожаров происходит в результате реализации метода поддержки управления подготовленной атакой на очаг пожара. Управленческая задача РТП, осуществляемая последовательным введением сил и средств по 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 силы и средства для тушения пожара на исходных позициях (рубежах) 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 сил и средств на исходных позициях, а второй – одновременное, решительное и непрерывное наступление всех сил и средств на очаг пожара [202, 358, 410, 456, 464–467].

Доказательство. Необходимые условия решения управленческой задачи РТП при локализации пожара в данном случае характеризуются тем, что момент локализации зафиксировать практически очень сложно. Если при локализации пожаров в результате реализации других методов поддержки управления пожаротушением момент локализации РТП может определить визуально, то при данном методе это сделать невозможно. Поэтому моментом локализации пожара этим методом считаем то время в оперативно-тактических действиях пожарно-спасательных подразделений, когда будут выполнены общие условия локализации пожаров (5.3) и (5.14) (рис. 5.25) [202, 358, 410, 456, 462, 466–471]. Изменение параметров площади пожара и расходов огнетушащего вещества характеризуют отрезки:  $AD_3$  – изменение фактического расхода огнетушащего вещества, подаваемого на защиту, в единицу времени ( $Q_{фз}$ );  $AD$  – фактический расход огнетушащего вещества, подаваемого при тушении ( $Q_{ф}$ );  $KD_3$  – величина требуемого расхода огнетушащего вещества, подаваемого на защиту ( $Q_{ТРЗ}$ );  $AD_T$  –

величина требуемого расхода огнетушащего вещества, подаваемого при тушении ( $Q_{TP}$ ); точки:  $B$  – момент окончания распространения огня (горение продолжается внутри ограждения);  $A$  – момент начала подачи огнетушащего вещества пожарно-спасательными подразделениями для защиты;  $A_T$  – момент начала подачи огнетушащего вещества пожарно-спасательными подразделениями на тушение;  $t_3$  – время подачи огнетушащего вещества на защиту;  $t_r$  – время подачи огнетушащего вещества на тушение;  $t_0$  – время окончания распространения горения.

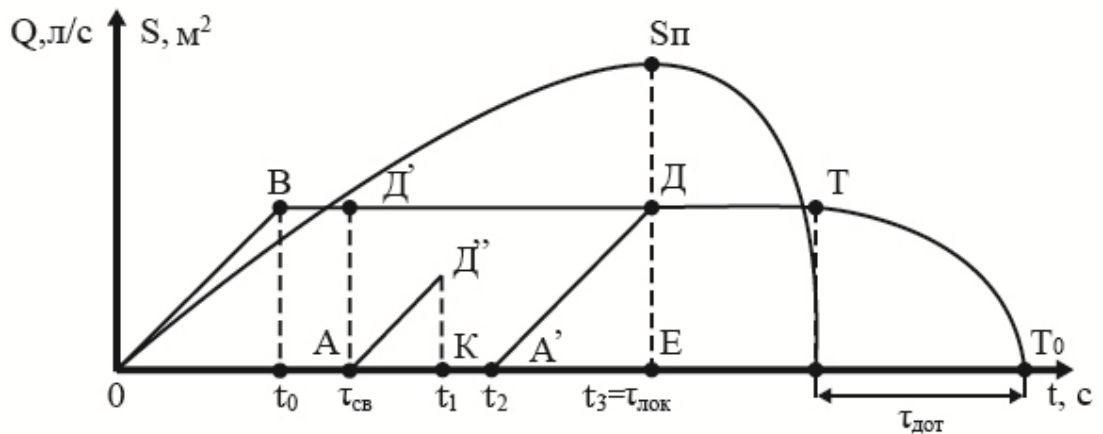


Рисунок 5.25 – Изменение площади пожара и расхода огнетушащего вещества, отражающих реализацию управленческого решения РТП на введение сил и средств пожаротушения при локализации пожара методом поддержки управления – подготовленная атака

Принимая управленческое решение, РТП должен добиться того, чтобы величина требуемого расхода была постоянной, тогда продолжительность локализации пожара этим методом будет зависеть от фактической скорости ввода огнетушащих веществ в очаг пожара:

$$\tau_{лок} = t_3 \cdot \tau_T \cdot \tau_{лок} = \frac{Q_{TP3}}{V_{фз}} + \tau_T + \frac{Q_{TP}}{V_{ф}}, \text{ с}, \quad (5.24)$$

где  $V_{фз}$  – фактическая скорость введения огнетушащих веществ на защиту;  $V_{ф}$  – фактическая скорость введения огнетушащих веществ на тушение пожара.

При рациональном использовании огнетушащих средств, продолжительность локализации пожара будет приближаться к очень небольшой величине, а при тушении пожаров-фонтанов она будет равна долям секунды.

Необходимые условия локализации пожара в результате реализации метода поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями в данном случае идентичны приведённым при доказательстве утверждения 5.2. Следовательно, продолжительность локализации горения, используя метод поддержки управления при тушении пожара подготовленной атакой в комбинации с защитными методами управления при пожаротушении будет складываться из трех промежутков времени: из продолжительности осуществления защитных управленческих методов; времени, затрачиваемого на подготовку атаки, и собственно времени локализации наступательным методом управления (подготовленной атаки на очаг пожара).

Выбор методов поддержки управления при тушении для обеспечения успешной локализации, а, следовательно, и ликвидации пожара зависит от конкретной складывающейся обстановки на пожаре (подготовки РТП и личного состава, количества имеющихся сил и средств, характера распространения огня, стадии развития, климатических, метеорологических и других условий). Общая продолжительность локализации пожаров складывается из времени локализации защитными и наступательными действиями пожарно-спасательных подразделений.

### **Метод поддержки управления при тыловом тушении пожара**

Утверждение 5.5. При пожаре на складе лесопиломатериалов, лесном, почвенном, торфяном пожаре, при пожарах в ограждении, когда по тем или иным причинам руководитель тушения пожара не может ввести требуемые огнетушащие вещества по фронту распространения огня, применяется метод поддержки управления – тыловое тушение (рис. 5.26).

Доказательство. Необходимые условия решения управленческой задачи РТП при локализации пожара в данном случае идентичны приведённым при

доказательстве утверждения 5.1. Моментом локализации пожара этим методом следует считать то время в оперативно-тактических действиях пожарно-спасательных подразделений, когда будут выполнены общие условия локализации пожаров (5.3) и (5.14).

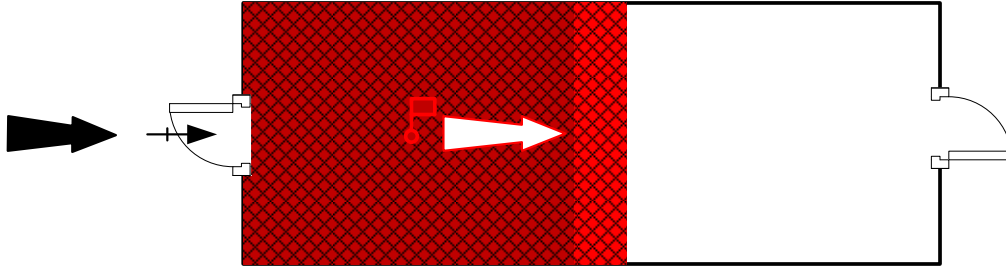


Рисунок 5.26 – Графическая интерпретация управленческого решения при ведении оперативно-тактических действий при тушении пожара с тыла

Отображение исполнения управленческой задачи пожарно-спасательным подразделениям в виде расходов огнетушащего вещества во времени и площади пожара приведено на Рисунке 5.27, а изменение периметра пожара – на рисунке 5.13 [202, 456, 464]. На Рисунке 5.27 в качестве обозначений используются отрезки:  $OD$  – требуемый расход огнетушащего вещества в единицу времени ( $Q_{TP}$ );  $AD$  – фактический расход огнетушащего вещества, подаваемого пожарно-спасательным подразделением ( $Q_{\Phi}$ );  $AB$  – фактический расход огнетушащего вещества в единицу времени, подаваемый первым пожарно-спасательным подразделением;  $CD$  – фактический расход огнетушащего вещества, подаваемого пожарно-спасательным подразделением, прибывшим по повышенному номеру вызова;  $\Phi B$  – величина требуемого расхода огнетушащего вещества, подаваемого первым пожарно-спасательным подразделением для ограничения распространения горения с тыла;  $ED$  – величина общего требуемого расхода огнетушащего вещества, подаваемого на локализацию пожара; точки:  $A$  – начало подачи огнетушащего вещества пожарно-спасательным подразделением, прибывшим по повышенному номеру вызова;  $C$  – начало подачи огнетушащего вещества первым пожарно-спасательным подразделением;  $D$  – момент локализации пожара;  $\tau_{dot}$  – время дотушивания.



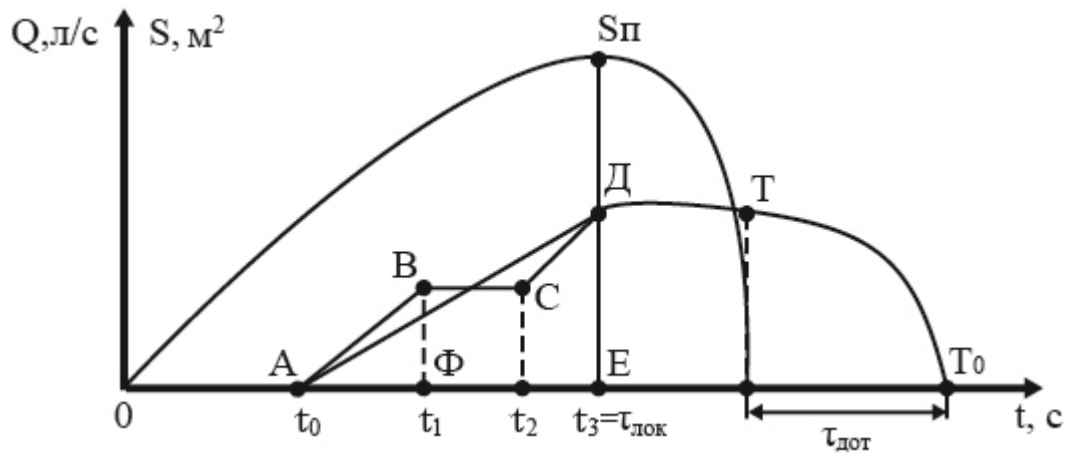


Рисунок 5.27 – Изменение параметров, отражающих реализацию управленческого решения РТП на введение сил и средств пожаротушения при локализации пожара методом поддержки управления при тыловом его тушении

### Метод поддержки управления при защитных мероприятиях

Нормативно-распорядительные документы рекомендуют всегда выполнять защитные мероприятия по проведению аварийно-спасательных работ и ведению оперативно-тактических действий по тушению пожаров [309–317, 402, 468, 469].

Утверждение 5.6. РТП на основе полученной информации в результате разведки реализует управленческое решение задействовать силы и средства пожарно-спасательных подразделений для реализации водного способа обеспечения безопасных оперативно-тактических действий на пожаре – метод поддержки управления при защитных мероприятиях.

Доказательство. Отображение исполнения управленческой задачи пожарно-спасательным подразделениям в виде расходов огнетушащего вещества во времени и площади пожара приведено на рисунках 5.28, 5.29 [202, 456, 462, 469]. На этих рисунках в качестве обозначений используются отрезки:  $OD_T$  – изменение требуемого расхода огнетушащих веществ на тушение;  $OD_3$  – изменение требуемого расхода огнетушащих веществ на защиту защищаемой поверхности;  $AD_3$  – изменение фактического расхода, подаваемого на защиту защищаемой поверхности;  $D_T E$  – величина требуемого расхода огнетушащих веществ на

тушение в момент локализации пожара;  $D_3E$  – величина требуемого расхода огнетушащих веществ на защиту защищаемой поверхности в момент локализации пожара.

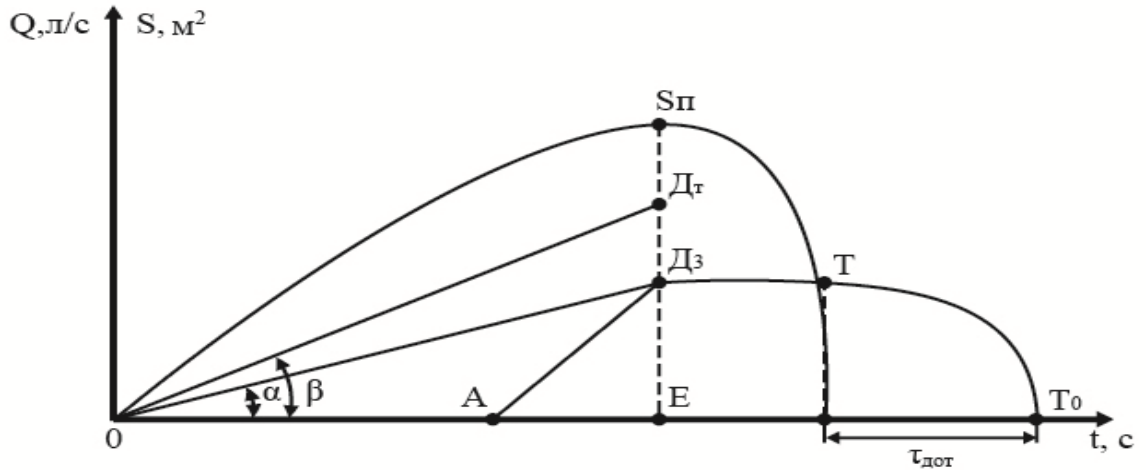


Рисунок 5.28 – Изменение параметров, отражающих реализацию управленческого решения РТП использовать метод защиты с увеличением площади защищаемой поверхности во времени

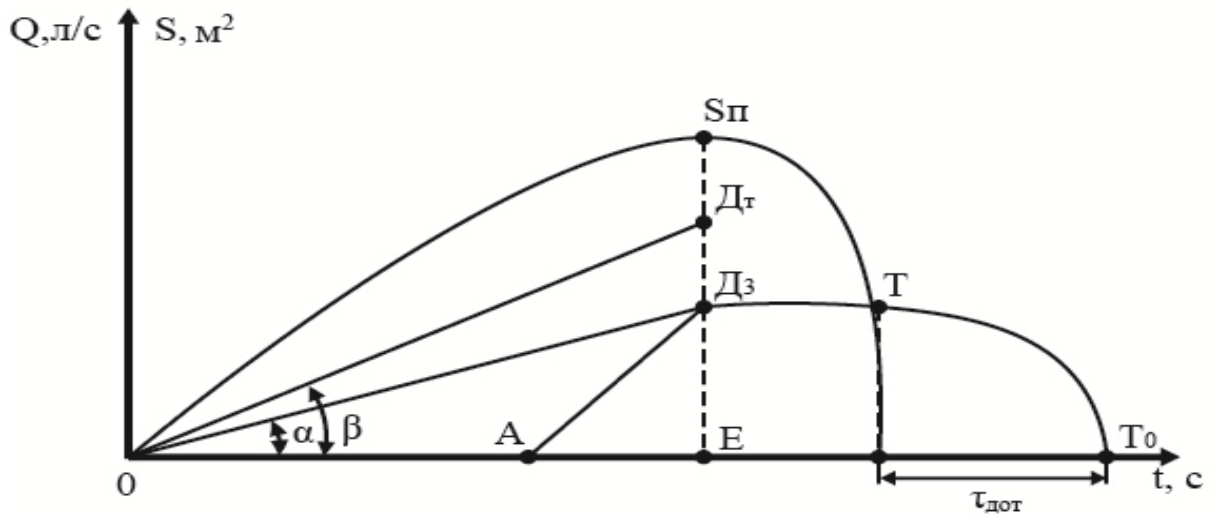


Рисунок 5.29 – Изменение параметров, отражающих реализацию управленческого решения РТП использовать метод защиты с постоянной площадью защищаемой поверхности во времени

Моментом локализации пожара этим методом управления следует считать то время в оперативно-тактических действиях пожарно-спасательных

подразделений, когда будут выполнены общие условия локализации пожаров (5.3) и (5.14) и требуемая скорость сосредоточения расхода огнетушащих средств на защиту защищаемой поверхности ( $tg\alpha$ , рис. 5.28) будет меньше фактической скорости сосредоточения расхода огнетушащих веществ ( $tg\beta$ , рис. 5.28), подаваемых на тушение всеми силами и средствами пожарно-спасательных подразделений:

$$V_{\phi} > V_3, \quad (5.25)$$

где  $V_3 = V_{ПЗ} \cdot I_3$  – требуемая скорость сосредоточения расхода огнетушащих средств на защиту защищаемой поверхности,  $m^2/c$ ;  $V_{ПЗ}$  – скорость роста площади защиты,  $m^2/c$ ;  $I_3$  – интенсивность подачи огнетушащего вещества на защиту защищаемой поверхности,  $л/м^2 c$ .

Время локализации пожара определяем по формуле:

$$\tau_{лок} = \frac{V_3 \cdot \tau_{св}}{V_{\phiз} - V_{ТР}}, \quad c. \quad (5.26)$$

Площадь локализации пожара в этом случае может быть определена:

$$S_{лок} = V_{П} \cdot (\tau_{св} + \tau_{лок}), \quad m^2. \quad (5.27)$$

Моментом локализации пожара с учётом этого метода поддержки управления следует считать то время в оперативно-тактических действиях пожарно-спасательных подразделений, когда будут выполнены общие условия локализации пожаров (5.3) и (5.14) и требуемый расход огнетушащего вещества должен быть сосредоточен руководителем тушения пожара, раньше подхода огня к защищаемой поверхности к области защиты.

Требуемый расход огнетушащего вещества на защиту найдем по формуле:

$$Q_{ТР}^3 = S_3 \cdot I_3, \quad л/с, \quad (5.28)$$

где  $S_3$  – площадь защищаемой поверхности,  $m^2$ .

Фактический расход огнетушащего вещества на защиту:

$$Q_{ТР}^3 = V_{\phiз} \cdot \tau_{лок}. \quad (5.29)$$

Приравнивая правые части уравнений (5.28, 5.29), получим время локализации:

$$\tau_{лок}^3 = \frac{S_3 \cdot I_3}{V_{фз}}, \text{ с.} \quad (5.30)$$

Принимая управленческое решение на использование защитных управленческих методов, РТП должен добиться удаления горючего материала с пути движения огня, тогда продолжительность локализации пожара этим методом поддержки управления будет определяться как частное от деления объема работ, которое необходимо выполнить при создании полосы препятствий на объем работ, который выполнит личный состав в единицу времени.

На основе вышеизложенного предлагается графическая интерпретация формализованного метода поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями при локализации и ликвидации пожара, если пожар имеет линейную скорость распространения огня (рис. 5.30) [410, 456, 469].

Сущность пространственно-временных методов поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями заключается в выделении СиС на тушение пожара в зависимости от площади (объёма) тушения.

Методика их применения заключается в сравнении скорости роста площади тушения, обеспечивающиеся средствами подачи огнетушащих веществ, 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.

Между методами поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий в процессе тушения пожара существует тесная взаимосвязь,

и в чистом виде они применяются при организации участков (секторов) тушения пожара или когда сил и средств пожарно-спасательных подразделений достаточно (не достаточно).

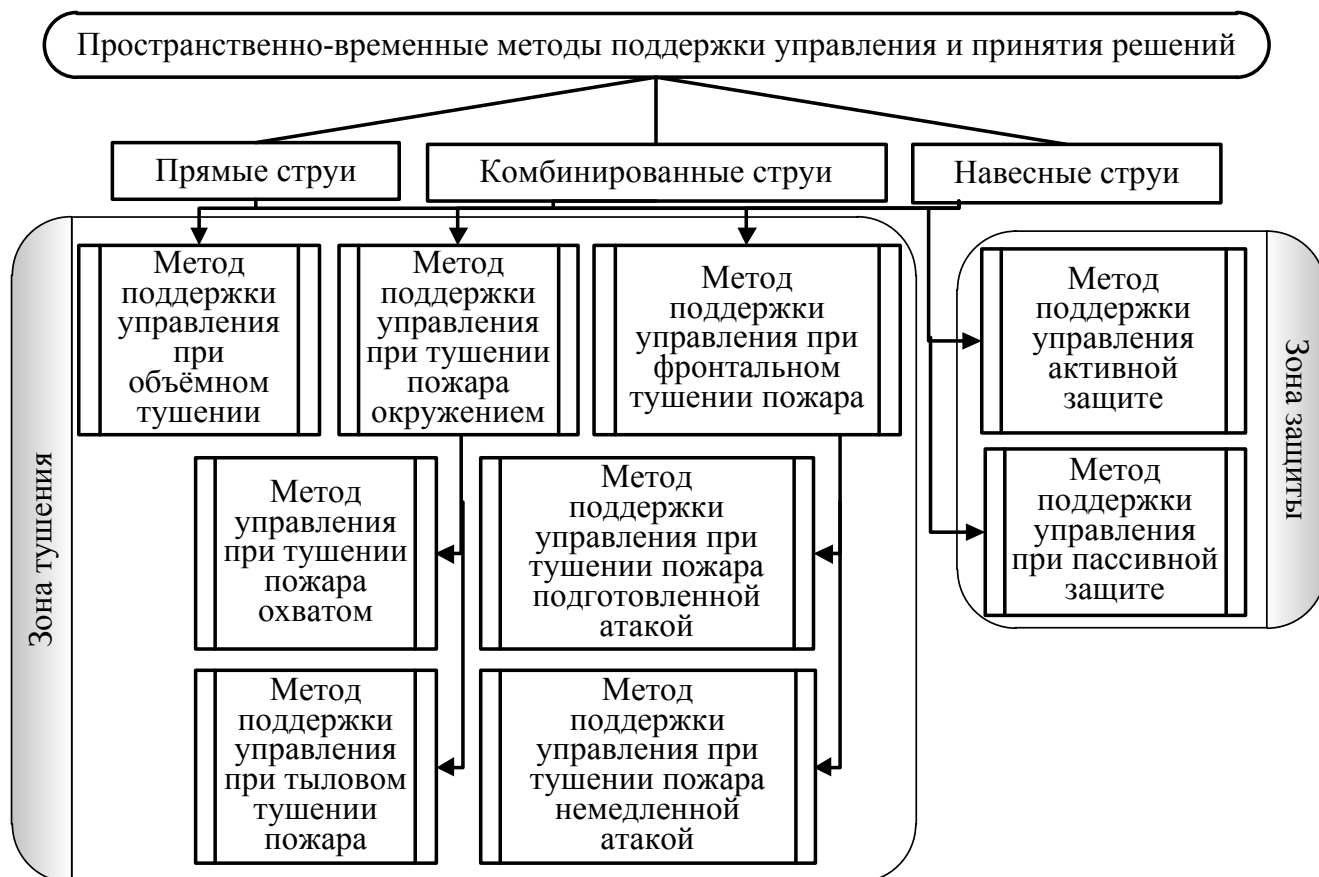


Рисунок 5.30 – Формализованный метод поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательных подразделений для тушения пожара с учетом способа подачи огнетушащих веществ

Обычно в процессе тушения преобладают методы поддержки управления, связанные с тактикой тушения, но независимо от применяемых методов поддержки управления конечная цель процесса управления тушением пожара заключается в ликвидации горения.

Пример принятия решения по выбору метода поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара приведён в приложении Ж.

Выбор того или иного метода поддержки управления при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями

зависит от квалификации РТП, наличия подготовленных сил и средств, характера пожара, погодных-метеорологических условий, климатических факторов и т. п.  
Рис. 5.31.

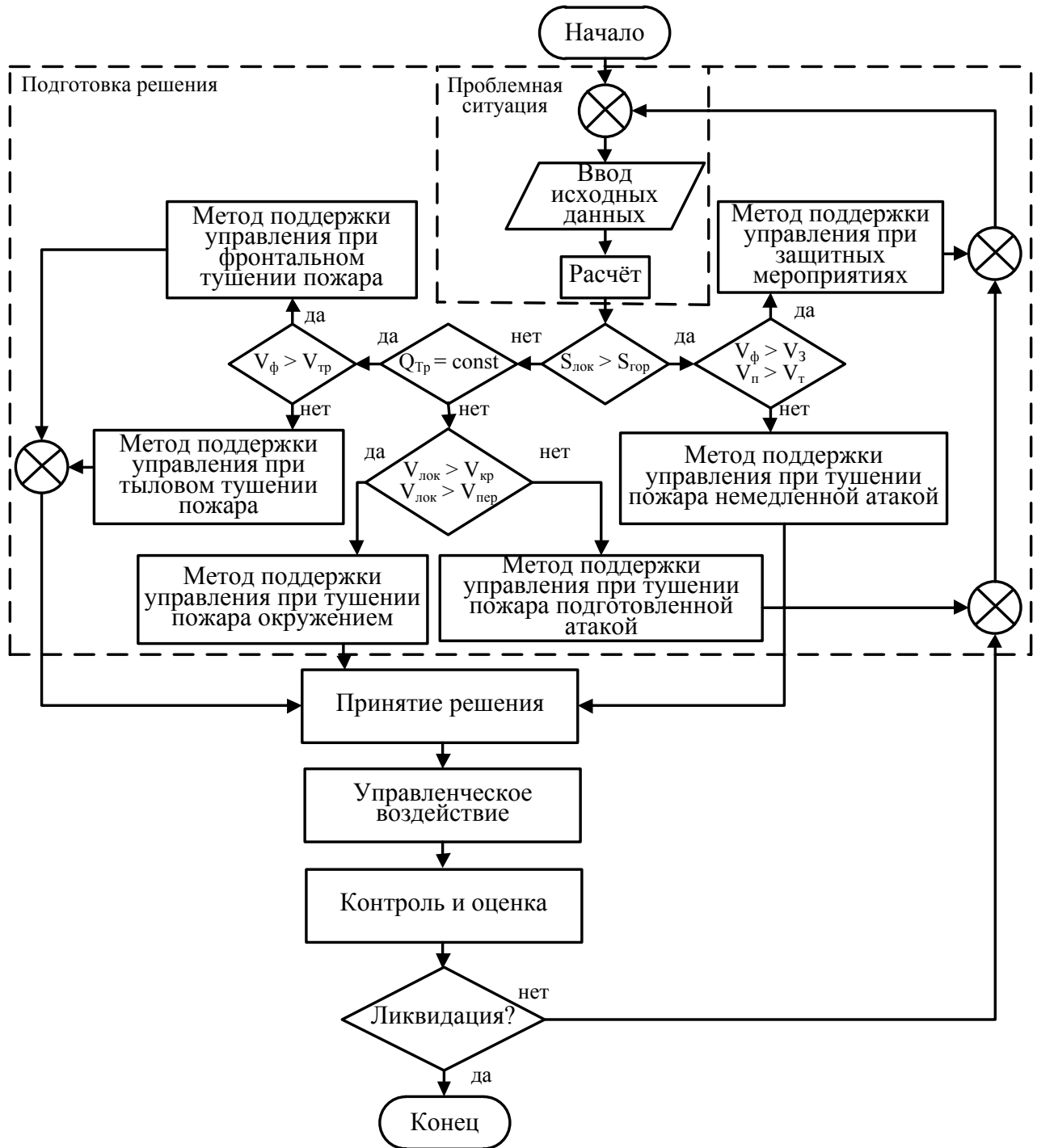


Рисунок 5.31 – Процесс поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров

## Выводы по 5 главе

На основе анализа общей классификации пожаров, статистических данных, описаний крупных и характерных пожаров, произошедших в стране и за рубежом, разработаны, формализованы и обоснованы методы поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями относительно тактики пожаротушения, а именно:

1. Формализован пространственный метод поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров. Сущность метода заключается в выделении СиС на тушение пожара в зависимости от площади (объёма) пожара. Методика его применения заключается в сравнении площади тушения, обеспечиваемой средствами подачи огнетушащих веществ, и площади пожара.

2. Формализован энергетический метод поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров. Сущность метода 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 огнетушащих веществ.

3. Доказано, что оперативная управленческая задача РТП, формализованная как наступление навстречу распространению огня (метод поддержки управления при фронтальном тушении), может быть реализована при тушении пожара как в здании, когда к прибытию первых пожарно-спасательных подразделений огонь распространился только на часть объекта экономики или социальной инфраструктуры, так и на открытой местности. Предложена графическая интерпретация формализованного метода.

4. Доказано, что при пожарах на открытой местности (лесном, почвенном, наружном торфяном пожаре), на складах лесопиломатериалов, когда огонь относительно равномерно распространяется во все стороны и пожарно-

спасательные подразделения воплощают управленческую задачу РТП (метод поддержки управления при окружении пожара), заключающуюся в ограничении его развития по всему периметру пожара с последующим наступлением на всю глубину площади пожара, ограничение распространения огня в этом случае наступит тогда, когда будет введено достаточное количество огнетушащих средств по всему периметру пожара, тогда и будет получено решение управленческой задачи РТП. Предлагается графическая интерпретация формализованного метода.

5. Доказано, что в том случае, если для достижения целей выезда подразделений пожарной охраны на пожар достаточно сил и средств (выполняются общие условия локализации пожаров на начальном этапе пожаротушения), то руководитель тушения пожара для выбора способа ведения оперативно-тактических действий применить метод поддержки управления при немедленной атаке на очаг пожара. Предлагается графическая интерпретация формализованного метода.

6. Доказано, что при тушении пожаров газовых и нефтяных фонтанов, в резервуарах, объёмном способе тушения в зданиях объектов экономики и социальной инфраструктуры, как правило, локализация пожаров происходит в результате реализации метода поддержки управления подготовленной атакой. Управленческая задача РТП, осуществляемая последовательным введением сил и средств по мере их прибытия на такие пожары, не оказывает ожидаемого эффекта в создании условий прекращения горения, поэтому РТП модифицирует управленческое решение и сначала сосредотачивает все необходимые силы и средства для тушения пожара на исходных позициях (рубежах) и только после этого проводит атаку на очаг пожара. Предлагается графическая интерпретация формализованного метода.

7. Доказано, что при пожаре на складе лесопиломатериалов, лесном, почвенном, торфяном пожаре, при пожарах в ограждении, когда по тем или иным причинам руководитель тушения пожара не может ввести требуемые огнетушащие вещества по фронту распространения огня, применяется метод



поддержки управления при тыловом тушении. Предлагается графическая интерпретация формализованного метода.

8. Доказано, что руководитель тушения пожара на основе полученной информации в результате разведки реализует управленческое решение задействовать силы и средства пожарно-спасательных подразделений для реализации водного способа обеспечения безопасности оперативно-тактических действий на пожаре – метод поддержки управления при защитных мероприятиях. Предлагается графическая интерпретация формализованного метода.

9. Обосновано, что методы поддержки управления при фронтальном или тыловом тушении пожара, тушении пожара подготовленной или немедленной атакой, окружением или при защитных мероприятиях консолидируются в пространственно-временные методы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями. Сущность пространственно-временных методов поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями 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 огнетушащих веществ, и скорости роста площади пожара.

10. Обосновано, время локализации пожара при том или ином методе поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями.

Методы поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями при пожаротушении будут эффективно работать, если РТП сможет определить их рациональное сочетание, вычленит из них основной на настоящее время управления метод и создаст условия его главенствования над другими с целью реализации основной цели пожарной охраны.

## 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 подразделениям 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.

Таким образом, диссертационное исследование выполнено в соответствии с положениями пп. 2 и 4 областей исследований паспорта научной специальности 05.13.10 – “Управление в социальных и экономических системах”.

**Список сокращений**

- АД – пожарный автомобиль дымоудаления  
АЛ –автолестница пожарная  
АРО – автомобиль рукавного обеспечения  
АСО – пожарный автомобиль связи и освещения  
АСР – аварийно-спасательные работы  
АЦ – пожарная автоцистерна  
АШ – пожарный штабной автомобиль  
ВПОС – воздушно-пенные огнетушащие составы  
ГДЗС – газодымозащитная служба  
ГОС – газовые огнетушащие составы  
ДПП – документы предварительного планирования  
ЕДДС – единая дежурно-диспетчерская служба  
ИСУ – информационная система управления  
НСТ – начальник сектора тушения пожара  
НТ – начальник тыла  
НУТ – начальник участка тушения пожара  
НЦУКС – Национальный центр управления в кризисных ситуациях МЧС России  
НШ – начальник штаба  
ОВ – огнетушащие вещества  
ОС – огнетушащие средства  
ОТВ – огнетушащее вещество  
ОТУ – открытая технологическая установка  
ОФП – опасные факторы пожара  
ПА – пожарный автомобиль  
ПОС – порошковые огнетушащие составы  
ПП – пожарно-спасательное подразделение  
ПСЧ – пункт связи пожарной части  
ПТП – план тушения пожара  
ПФ – поражающий фактор

ПЧ – пожарно-спасательная часть

РТП – руководитель тушения пожара

СИЗОД – средство индивидуальной защиты органов дыхания

СиС – силы и средства

СППУРП – система поддержки принятия управленческого решения при пожаротушении

СПТ – служба пожаротушения

УТП – участок тушения пожара

ЦППС – центральный пункт пожарной связи

ЦУКС – центр управления в кризисных ситуациях МЧС России

ЭВМ – электронная вычислительная машина, персональный компьютер

**Список литературы**

1. Alter S.L. Decision support systems: current practice and continuing challenges. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub., 1980.
2. Берталанфи, Л. фон. История и статус общей теории систем / Л. фон Берталанфи // Системные исследования. – М.: Наука, 1973.
3. Блэйр, Д.Х. Рациональный коллективный выбор / Д.Х. Блэйр, Р.Э. Поллак // В мире науки. – 1983. – № 10.
4. Джарратано, Дж. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли. – Вильямс, 2007. – 1152 с.
5. Eom S.B., Lee S. Decision Support Systems Applications Research: A Bibliography (1971-1988) // European Journal of Operational Research, 1990. – N 46. – pp. 333-342.
6. Eom S.B. Decision support systems research: reference disciplines and a cumulative tradition. – The International Journal of Management Science, 23, 5, October 1995, p. 511-523.
7. Фишберн, П. Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн; пер. с англ. – 1978. – 352 с.
8. Гиг, Дж. ван. Прикладная общая теория систем / Дж. ван Гиг; пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 336 с.
9. Ginzberg M.I., Stohr E.A. Decision Support Systems: Issues and Perspectives // Processes and Tools for Decision Support / ed. by H.G. Sol. — Amsterdam: North-Holland Pub.Co, 1983.
10. Keen P.G.W. Decision support systems: a research perspective. Decision support systems: issues and challenges. G. Fick and R. H. Sprague. Oxford; New York: Pergamon Press, 1980.
11. Keen P.G.W. Decision Support Systems: The next decades // Decision Support Systems, 1987. - v. 3. - pp. 253-265.
12. Keen P.G.W., Scott Morton M. S. Decision support systems: an organizational perspective. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1978.



13. Кини, Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х.Райфа; под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
14. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
15. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара; под ред. С.В. Емельянова. – М.: Мир, 1978. – 312 с.
16. Michael C. Jackson. 2000. Systems Approaches to Management. London: Springer. 447 p.
17. Науман, Э. Принять решение. Но как? / Э. Науман. – М.: Мир, 1987. – 198 с.
18. Поллак, Р.Э. Численные методы оптимизации. Единый подход / Р.Э. Поллак. – М.: Мир, 1974. – 374 с.
19. Льюс, Р.Д. Игры и решения. Введение и критический обзор / Р.Д. Льюс, Х. Райфа. – Изд-во иностранной литературы. 1961. – 642 с.
20. Саати, Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т.Л. Саати. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
21. Саати, Т.Л. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы / Т.Л. Саати. – М.: Мир, 1973. – 302 с.
22. Басакер, Р.Г. Конечные графы и сети / Р.Г. Басакер, Т.Л. Саати. – М.: Наука, 1974. – 366 с.
23. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
24. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
25. Scott Morton M. S. Management Decision Systems: Computer-based Support for Decision Making. — Boston: Harvard University, 1971.
26. Simon H.A. The new science of management decision. Englewood Cliffs, N.J., Prentice - Hall Inc., 1975.
27. Уотермен, Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен; пер. с англ. 1989. – 388 с.

28. Эшби, У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Иностранная литература, 1959. – 432 с.
29. Болтянский, В.Г. Математические методы оптимального управления / В.Г. Болтянский. – М.: Наука, 1969. – 408 с.
30. Болтянский, В.Г. Оптимальное управление дискретными системами / В.Г. Болтянский. – М.: Наука, 1973. – 446 с.
31. Бурков, В.Н. Моделирование экономических механизмов повышения уровня пожарной безопасности / В.Н. Бурков, А.И. Половинкина // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2002. – № 1. – С. 102-107.
32. Бурков, В.Н. Методы оптимизации комплексной программы развития с учетом риска / В.Н. Бурков, А.И. Половинкина // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2002. – № 1. – С. 87-95.
33. Бурков, В.Н. Модели оптимизации программ обеспечения безопасности объектов различного назначения / В.Н. Бурков, А.И. Половинкина, Ю.А. Петренко // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 2 (36). – С. 59-62.
34. Бурков, В.Н. Метод сетевого программирования в управлении целевыми программами / В.Н. Бурков // Автомат. и телемех. – 2014. – № 3. – С. 73–86.
35. Бурков, В.Н. Теория управления организационными системами и другие науки об управлении организациями / В.Н. Бурков и др. // Пробл. управл. – 2012. – № 4. – С. 2–10.
36. Бурков, В.Н. Метод сетевого программирования в задачах управления проектами / В.Н. Бурков, И.В. Буркова // УБС. – 30.1 (2010). – С. 40–61.
37. Бурков, В.Н. Теория активных систем (история развития и современное состояние) / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков // Пробл. управл. – 2009. – № 3. – С. 29–35.
38. Бурков, В.Н. Метод сетевого программирования / В.Н. Бурков и др. // Пробл. управл. – 2005. – № 3. – С. 23–29.

39. Бурков, В.Н. Задача оптимального распределения ресурсов по множеству независимых операций / В.Н. Бурков и др. // Автомат. и телемех. – 2002. – № 5. – С. 108–119.
40. Кульба, В.В. Сценарное исследование сложных систем: анализ методов группового управления / В.В. Кульба и др. // УБС. – 30.1 (2010). – С. 154–186.
41. Кульба, В.В. Автоматизированные информационно-управляющие системы социально-экономических и организационных структур / В.В. Кульба, С.А. Косяченко, В.Н. Лебедев // Пробл. управл. – 2009. – № 3.1. – С. 73–86.
42. Кононов, Д.А. Формирование и анализ сценариев развития социально-экономических систем с использованием аппарата операторных графов / Д.А. Кононов, С.А. Косяченко, В.В. Кульба // Автомат. и телемех. – 2007. – № 1. – С. 121–136.
43. Кульба, В.В. Особенности управления в условиях чрезвычайных ситуаций / В.В. Кульба, А.С. Серегин. – М.: РСПИ, 1991. – 469 с.
44. Ларичев, О.И. Объективные модели и субъективные решения / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 1987. – 144 с.
45. Ларичев, О.И. Качественные методы принятия решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Наука; Физматлит, 1996. – 208 с.
46. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: учебник / О.И. Ларичев. – Изд. второе, перераб. и доп. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
47. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
48. Моисеев, Н.Н. Численные методы теории оптимального управления / Н.Н. Моисеев. – М.: Б. и., 1968. – 163 с.
49. Моисеев, Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1971. – 424 с.
50. Моисеев, Н.Н. Элементы теории оптимальных систем / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1975. – 528 с.

51. Моисеев, Н.Н. Методы оптимизации / Н.Н. Моисеев, Ю.П. Иванилов, Е.М. Столярова. – М.: Наука, 1978. – 351 с.
52. Новиков, Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д.А. Новиков. – М.: Фонд “Проблемы управления”, 1999. – 150 с.
53. Новиков, Д.А. Теория графов в управлении организационными системами / Д.А. Новиков, В.Н. Бурков, А.Ю. Заложнев. – М.: Синтег, 2001. – 124 с.
54. Новиков, Д.А. Теория игр в управлении организационными системами / Д.А. Новиков, М.В. Губко. – М.: Синтег, 2002. – 148 с.
55. Новиков, Д.А. Сетевые структуры и организационные системы / Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 108 с.
56. Новиков, Д.А. Рефлексивные игры / Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: Синтег, 2003. – 160 с.
57. Новиков, Д.А. Стимулирование в организационных системах / Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 2003. – 306 с.
58. Новиков, Д.А. Модели и методы управления портфелями проектов / Д.А. Новиков, А.А. Матвеев, А.В. Цветков. – М.: ПМСОФТ, 2005. – 206 с.
59. Новиков, Д.А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы / Д.А. Новиков. – М.: КомКнига, 2006. – 336 с.
60. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков, А.А. Иващенко. – 2-е изд. – М.: Физматлит., 2007. – 584 с.
61. Новиков, Д.А. Методология / Д.А. Новиков, А.М. Новиков. – М.: Синтег, 2007. – 664 с.
62. Губанов, Д.А. Методы анализа терминологической структуры предметной области (на примере методологии) / Д.А. Губанов, А.В. Макаренко, Д.А. Новиков // УБС. – № 43 (2013). – С. 5–33.
63. Петровский, А.Б. Интерактивная система поддержки принятия решений для задач координации научных исследований / А.Б. Петровский // Системы и методы поддержки принятия решений. – М.: ВНИИСИ, 1986. – С. 92-100.

64. Петровский, А.Б. Системы поддержки принятия решений / А.Б. Петровский, М.Ю. Стернин, В.К. Моргоев. – М.: ВНИИСИ, 1987. – 42 с.
65. Петровский, А.Б. Система поддержки принятия решений для конкурсного отбора научных проектов / А.Б. Петровский, Г.И. Шепелев // Проблемы и методы принятия уникальных и повторяющихся решений. – М.: ВНИИСИ, 1990. – С. 25-31.
66. Петровский, А.Б. Компьютерная поддержка принятия решений / А.Б. Петровский // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1995-1996. – М.: ИСА РАН, Эдиториал УРСС, 1996. – С. 81-112.
67. Прангишвили, И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И.В. Прангишвили; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова. – М.: Наука, 2003. – 428 с.
68. Прангишвили, И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
69. Пригожин, И. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
70. Трахтенгерц, Э.А. Построение распределенных систем группового проектирования / Э.А. Трахтенгерц // АиТ. – 1993. – № 9. – С. 154-174.
71. Трахтенгерц, Э.А. Повышение надежности последовательно-параллельного проектирования сложных технических объектов / Э.А. Трахтенгерц // АиТ. – 1994. – № 5. – С. 128-157.
72. Трахтенгерц, Э.А. Методы генерации, оценки и согласования решений в распределенных системах поддержки принятия решений / Э.А. Трахтенгерц // АиТ. – 1995. – № 4. – С. 3-52.
73. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная система поддержки принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: Синетег, 1998. – 376 с.
74. Трахтенгерц, Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 2001. – 246 с.

75. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная поддержка управления ликвидацией последствий радиационного воздействия / Э.А. Трахтенгерц, В.М. Шершаков, Д.А. Камаев. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 460 с.
76. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерные методы реализации экономических и информационных управленческих решений: в 2 томах / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 2009. – 396 с.
77. Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации в теории управления: учебное пособие / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: Питер, 2004. – 256 с.
78. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
79. Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации. Компьютерные технологии / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 375 с.
80. Шапиро, Д.И. Принятие решений в системах организационного управления. Использование расплывчатых категорий / Д.И. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.
81. Шапиро, Д.И. Управление проектами / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро и др. – М.: Высшая школа, 2001. – 875 с.
82. Абдурагимов, И.М. Всегда ли автоматика эффективнее оперативных служб пожарной охраны / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 2. – С. 53-59.
83. Абдурагимов, И.М. К проблеме тушения крупных пожаров твёрдых горючих материалов в зданиях в черте города / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 2. – С. 75-78.
84. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 256 с.
85. Артамонов, В.С. Принципы системного подхода к проблеме моделирования профессиональной адаптации обучаемого / В.С. Артамонов // Материалы межвузовской научно-технической конференции. – СПб.: СПб. ЮИ МВД России, 1994. – Ч. 2. – С. 47-49.

86. Артамонов, В.С. Новые технологии в деятельности подразделений и организаций МЧС России / В.С. Артамонов // Вестник СПбИГПС. – 2004. – № 2.
87. Белозеров, В.В. О новом уравнении оперативно-тактической деятельности государственной противопожарной службы [Электронный ресурс] / В.В. Белозеров, В.М. Гаврилей // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 1 (29). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
88. Белозеров, В.В. Проектирование автоматизированной системы управления пожарной охраной региона / Н.В. Афанасьев, В.В. Белозеров, Ю.А. Киреев // Техника пожарной и охранной сигнализации: сб. науч. трудов. – М.: ВНИИПО, 1985. – С. 82-85.
89. Белозеров, В.В. Дифференциальная модель оценки выполнения оперативно-тактических задач противопожарной службы / В.В. Белозеров, А.А. Глушко, Р.А. Кононенко // Системы безопасности – СБ 2004: материалы 13 межд. конф. – М.: АГПС МЧС РФ, 2004. – С. 285-288.
90. Белозеров, В.В. Синергетика безопасности жизнедеятельности в жилом секторе: монография / В.В. Белозеров, Т.Б. Долаков, С.Н. Олейников, А.В. Периков. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 184 с.
91. Брушлинский, Н.Н. Оргпроектирование противопожарной службы России / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XXI Международной конференции / под редакцией Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. – М., 2013. – С. 34-36.
92. Брушлинский, Н.Н. Теоретические основы организации и управления деятельностью противопожарной службы. Моделирование процесса ее функционирования / Н.Н. Брушлинский и др. // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 1. – С. 3-15.
93. Исследование вопросов построения критериев оценки эффективности деятельности пожарной охраны. Том № 2: отчёт ВИПТШ МВД СССР. Руководитель Н.Н. Брушлинский. Инв. № 909. – М., 1980.

94. Разработка методики комплексной оценки эффективности пожарных подразделений: отчёт ВИПТШ МВД СССР. Руководитель Н.Н. Брушлинский. Инв. № 1012. – М., 1982.
95. Исследование вопросов построения критериев оценки эффективности деятельности пожарной охраны. Том № 1: отчёт ВИПТШ МВД СССР. Руководитель Н.Н. Брушлинский. Инв. № 813. – М., 1979.
96. Брушлинский, Н.Н. О распределении эрланга и некоторых его приложениях / Е.М. Алехин, Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 6. – С. 11-17.
97. Гаврилей, В.М. О стратегии развития науки и инноваций с точки зрения безопасности жизнедеятельности / П.П. Баранов, В.М. Гаврилей // Глобальная безопасность. – 2008. – № 1. – С. 144.
98. Гаврилей, В.М. К вопросу о техносферной безопасности [Электронный ресурс] / В.В. Белозеров, В.М. Гаврилей, Ю.В. Прус // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 3 (31). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
99. Глуховенко, Ю.М. Методология проектирования организационной структуры Государственной противопожарной службы: монография / Ю.М. Глуховенко. – М., 2001. – 272 с.
100. Глуховенко, Ю.М. Пожарная безопасность зданий и сооружений в контексте действия двух федеральных законов: технического регламента о требованиях пожарной безопасности и технического регламента о безопасности зданий и сооружений / В.Б. Коробко, Ю.М. Глуховенко // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19, № 7. – С. 43-57.
101. Демёхин, Ф.В. Внедрение инновационных технологий в систему противопожарной защиты критически важных и сложных объектов / А.Н. Тупицын, Ф.В. Демёхин, А.Н. Членов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2014. – № 4. – С. 24-27.
102. Демёхин, Ф.В. О проблеме тушения пожаров в резервуарах с кольцевой защитной стенкой / Ф.В. Демёхин, А.А. Таранцев, Д.И. Белов // Научно-



аналитический журнал “Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России”. – 2013. – № 2. – С. 68-75.

103. Демёхин, Ф.В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности резервуаров с защитной стенкой / Ф.В. Демёхин, А.А. Цой // Научно-аналитический журнал “Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России”. – 2015. – № 1. – С. 34-40.

104. Евграфов, П.М. Ноу-хау обучающих программ и деловых игр / П.М. Евграфов, Ю.М. Глуховенко. – М.: АРС, 2004. – 222 с.

105. Евграфов, П.М. Концепция построения систем интеллектуальной поддержки принятия решений посредством планирования-обучения [Электронный ресурс] / П.М. Евграфов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2008. – № 1 (17). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

106. Евграфов, П.М. Контрольно-обучающая программа для подготовки сотрудников объектов к действиям при пожаре [Электронный ресурс] / П.М. Евграфов, И.П. Евграфов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2008. – № 4 (20). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

107. Кафидов, В.В. Инфраструктурный подход к оценке эффективности систем безопасности / В.В. Кафидов // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2015. – № 1. – С. 125-129.

108. Кафидов, В.В. Социология пожарной безопасности / В.В. Кафидов, В.М. Севастьянов; под общей редакцией В.В. Кафидова. – М.: ВНИИПО, 2003. – 362 с.

109. Качанов, С.А. Анализ этапов развития концепции "Безопасный город" [Электронный ресурс] / С.А. Качанов и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 1 (65). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

110. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок "Национальная безопасность". Махутов Н.А., Пучков В.А., Качанов С.А. и др. в 6 томах / Под общей редакцией Н.А.

Махутова. Москва, 2012. Сер. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Том 2. Безопасность и защищенность критически важных объектов. Часть 1. Научные основы безопасности и защищенности критически важных для национальной безопасности объектов.

111. Качанов, С.А. Система комплексного управления безопасностью промышленного предприятия / С.А. Качанов и др. // Технологии гражданской безопасности. – 2015. Т. 12. – № 3. – С. 32-39.

112. Коробко, В.Б. К вопросу организации подразделений пожарной охраны [Электронный ресурс] / В.Б. Коробко, И.А. Лобаев, А.Н. Барбосов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 3 (55). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

113. Коробко, В.Б. Современные тенденции изменения организационных форм обеспечения пожарной безопасности [Электронный ресурс] / В.Б. Коробко, А.Н. Барбосов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2011. – № 6 (40). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

114. Коробко, В.Б. О динамике нормирования противопожарной службы [Электронный ресурс] / В.Б. Коробко, А.Н. Барбосов, М.В. Коробко // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – № 6 (64). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

115. Косоруков, О.А. Задача управления ресурсами на сетевых графиках как задача оптимального управления / О.А. Косоруков, А.Г. Белов // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. – 2014. – № 2. – С. 29-33.

116. Косоруков, О.А. Модель поддержки принятия решений при проведении эвакуации из крупных городов / Р.С. Хайрулин, О.А. Косоруков // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2010. – № 8 (88). – С. 45-48.

117. Косоруков, О.А. Методы решения оптимизационных задач защиты объекта от чрезвычайных ситуаций / А.И. Овсяник О.И Чурбанов О.А. Косоруков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2002. – № 3. – С. 88.
118. Матюшин, А.В. Классификация промышленных предприятий в целях их защиты объектовыми подразделениями пожарной охраны / А.В. Матюшин и др. // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2013. – № 1. – С. 65-69.
119. Матюшин, А.В. Современные геоинформационные технологии в проектировании гарнизонов пожарной охраны / А.В. Матюшин и др. // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2012. – № 3. – С. 107-119.
120. Матюшин, А.В. Анализ оперативно-тактических возможностей гарнизона пожарной охраны г. Ханоя (Республика Вьетнам) / А.В. Матюшин и др. // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2016. – № 1. – С. 89-96.
121. Мешалкин, Е.А. Экспертные системы и перспектива их использования в пожарной охране / Е.А. Мешалкин, В.А. Кокушкин, Г.И. Дударев // Обзор информации. – М.: ГИЦ МВД СССР, 1988. – 43 с.
122. Мешалкин, Е.А. Системы поддержки принятия решений и перспектива их использования в пожарной охране / Е.А. Мешалкин, В.А. Кокушкин, Г.И. Дударев // Обзор информации. – М.: ГИЦ МВД СССР, 1989. – 39 с.
123. Мешалкин, Е.А. Структура программно-аппаратного комплекса поддержки принятия решений РТП / Е.А. Мешалкин, В.Т. Олейников, А.П. Абрамов // Крупные пожары: предупреждение и тушение: материалы XVI научно-практической конференции. ФГУ ВНИИПО МВД РФ. – Ч. 2. – М., 2001.
124. Мешалкин, Е.А. К вопросу автоматизации информационной поддержки действий должностных лиц на пожаре / Е.А. Мешалкин и др. // Материалы 11 международной конференции “Системы безопасности” – СБ-2002. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – С. 11-13.
125. Микеев, А.К. Социально-экономическая оценка риска пожаров как чрезвычайных ситуаций / А.К. Микеев // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2001. – № 3. – С. 110–116.

126. Микеев, А.К. Снижение риска пожаров до социально приемлемого уровня / А.К. Микеев и др. // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 3. – С. 14-16.
127. Минаев, В.А. Учет территориальных особенностей пожарных рисков на основе методов теории активных систем / В.А. Минаев, Н.Г. Топольский, Чу Куок Минь // Спецтехника и связь. – 2015. – Т. 2. – С. 34-38.
128. Минаев, В.А. Методы и модели управления пожарными рисками на основе теории активных систем / В.А. Минаев, Н.Г. Топольский // Теория активных систем: материалы международной научно-практической конференции / под общей редакцией В.Н. Буркова. – М., 2014. – С. 175-176.
129. Минаев, В.А. Моделирование взаимосвязей ресурсы противопожарной службы – характеристики пожарной безопасности / В.А. Минаев, Н.Г. Топольский, А.И. Овсяник и др. // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 11. – С. 62-70.
130. Ноженкова, Л.Ф. Применение методов оперативного анализа данных для обработки результатов мониторинга ЧС на региональном уровне управления / Л.Ф. Ноженкова // Сиббезопасность-Спасиб. – 2010. – № 1. – С. 3-11.
131. Ноженкова, Л.Ф. Средства построения систем поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС / Л.Ф. Ноженкова и др. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2008. – № 4. – С. 46-55.
132. Ноженкова, Л.Ф. Экспертные геоинформационные системы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций / Л.Ф. Ноженкова // Вычислительные технологии. – 1999. – Т. 4. № С. – С. 111.
133. Овсяник, А.И. Управляющая система проведения эвакуации из крупных городов на основе комплекса оптимизационных математических моделей / О.А. Косоруков, А.И. Овсяник, О.В. Виноградов // Вестник Казанского технологического университета. – 2006. – № 6. – С. 163-169.
134. Овсяник, А.И. Методы решения оптимизационных задач защиты объекта от чрезвычайных ситуаций / А.И. Овсяник, О.И. Чурбанов, О.А. Косоруков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2002. – № 3. – С. 88.

135. Порошин, А.А. Разграничение зон ответственности различных видов пожарной охраны в городских и сельских поселениях Российской Федерации от численности населения / А.А. Порошин, А.В. Матюшин и др. // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2015. – № 1. – С. 69-71.
136. Порошин, А.А. Индексы деятельности пожарных подразделений при организации тушения пожаров на объектах топливно-энергетического комплекса [Электронный ресурс] / К.С. Власов, А.А. Порошин // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – № 2 (60). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
137. Порошин, А.А. Оценка профессионального риска и обоснование необходимости резерва численности пожарных / А.А. Порошин, А.В. Матюшин и др. // Проблемы анализа риска. – 2009. – Т. 6, № 2. – С. 6-13.
138. Пранов, Б.М. Вложенные цепи Маркова при обслуживании установок безопасности с приоритетами [Электронный ресурс] / Б.М. Пранов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2009. – № 2 (24). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
139. Пранов, Б.М. Математическое моделирование оптимального размещения ресурсов в системах безопасности [Электронный ресурс] / Б.М. Пранов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 3 (31). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
140. Пранов, Б.М. Об одном классе задач оптимального размещения ресурсов / Б.М. Пранов // Пожарная безопасность – 97: материалы науч.-практ. конф. – М.: МИПБ МВД России, 1997. – С. 148.
141. Пранов, Б.М. Оценка сложности задачи оптимального размещения ресурсов / Б.М. Пранов // Пожарная безопасность – 97: материалы науч.-практ. конф. – М.: МИПБ МВД России, 1997. – С. 162.
142. Прус, Ю.В. Определение ранга пожара на объекте по диаграммам состояния / Н.Г. Топольский, Ю.В. Прус, В.М. Климовцов // Материалы 13 международной конференции “Системы безопасности” СБ-2004. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – С. 297–299.

143. Прус, Ю.В. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах [Электронный ресурс] / Ю.В. Прус и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал: – 2008. – № 4 (20). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
144. Прус, Ю.В. Методология разработки экспертных систем для оперативного управления пожарными подразделениями [Электронный ресурс] / И.М. Тетерин, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2008. – № 5 (21). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
145. Седнев, В.А. Научно-методический подход поддержки принятия должностными лицами РСЧС решений на реализацию мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации / В.А. Седнев, А.В. Смуров // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 6. – С. 24-43.
146. Седнев, В.А. Технология повышения эффективности управления территориями на основе интеграции автоматизированных систем и информационных технологий / В.А. Седнев, С.Н. Хаустов // Экономика и менеджмент систем управления. – 2013. – Т. 8, № 2. – С. 68-78.
147. Семиков, В.Л. Теория организации. Антология: монография / В.Л. Семиков. – М.: Академический проект, 2005. – 960 с.
148. Семиков, В.Л. Об эвристических методах решения проблем безопасности [Электронный ресурс] / В.Л. Семиков // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2012. – № 3 (43). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
149. Соколов, С.В. О времени прибытия и времени следования пожарных подразделениях к месту вызова / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожарное дело. – 1997. – № 1. – С. 48-51.
150. Alekhin E.M., Brushlinsky N.N., Sokolov S.V., Wagner P. Russian simulation for strategic planning. “Fire International”, 11/1996/ p. 32-33.

151. Соколов, С.В. О статистике пожаров и о пожарных рисках / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 4. – С. 40-48.
152. Таранцев, А.А. Методы расчётной оценки динамики пожаров в помещениях / А.А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 3. – С. 82.
153. Таранцев, А.А. Инженерные методы теории массового обслуживания / А.А. Таранцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Наука, 2007. – 175 с.
154. Таранцев, А.А. Моделирование достаточности мобильных подразделений экстренных служб при возникновении ситуаций повышенной сложности [Текст] / А.А. Таранцев и др. // Пожаровзрывобезопасность. - 2016. - Т. 25, № 10. - С. 59-66.
155. Тетерин, И.М. Модели, методы и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами, образующимися в результате чрезвычайных ситуаций, аварий, пожаров и взрывов [Электронный ресурс] / А.В. Мокшанцев, И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – № 5 (51). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
156. Тетерин, И.М. Теоретико-игровые методы в системах поддержки принятия решений для руководителя тушения пожара [Электронный ресурс] / И.М. Тетерин // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2008. – № 5 (51). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
157. Топольский, Н.Г. Комплексная безопасность территорий [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, Н.Г. Фирсов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2006. – № 4 (8). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
158. Топольский, Н.Г. Интерактивный оптимизационный метод декомпозиции графов причинно-следственных связей в системах поддержки принятия решений [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2009. – № 5 (27). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

159. Топольский, Н.Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов / Н.Г. Топольский. – М.: МИПБ МВД России, 1997. – 164 с.
160. Топольский, Н.Г. Основы обеспечения интегральной безопасности высокорисковых объектов / Н.Г. Топольский, Н.П. Блудчий. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 97 с.
161. Топольский, Н.Г. Применение экспертных систем для поддержки принятия решений руководящим составом ГПС и метод определения компетентности экспертов / Н.Г. Топольский, В.М. Климовцов, К.А. Афанасьев // Технологии безопасности: материалы 9 международного форума. – М., 2004. – С. 405–407.
162. Харисов, Г. Задачи гражданской обороны и федеральной противопожарной службы / А. Овсяник, В. Подставков, Г. Харисов // Гражданская защита. – 2008. – № 2. – С. 23-25.
163. Харисов, Г.Х. К вопросу о создании пожарной части специального назначения в Москве / И.М. Тетерин, Г.Х. Харисов, В.П. Назаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2008. – № 1. – С. 3-9.
164. Членов, А.Н. О построении вероятностной модели обнаружения и тушения пожара на объектах атомной электростанции [Электронный ресурс] / А.Н. Членов, Т.А. Буцынская, Буй Суан Хоа // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – № 1 (47). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
165. Членов, А.Н. Новые возможности управления противопожарной защитой объектов / А.Н. Членов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2013. – № 3. – С. 48-53.
166. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: статистический сборник / под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2017. – 124 с.
167. Отчеты по НИР “Анализ действий пожарной охраны при тушении крупных пожаров и проведении связанных с ними аварийно-спасательных работ на территории Российской Федерации”, ВНИИПО. 2000–2016 гг.



168. 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.
169. 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>.
170. 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.
171. 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>.
172. Денисов, А.Н. Технологии применения робототехнических средств для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: учеб. Пособие / А.Н. Денисов и др. – М.: ВНИИПО, 2016. – 88 с.
173. Об утверждении порядка учета пожаров и их последствий: приказ МЧС России № 714 от 21.11.2008 г.
174. Денисов, А.Н. Экспериментальное исследование развития и тушения пожаров в жилых квартирах / А.Н. Денисов, Д.Ю. Пигусов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: сборник тезисов научно-практической конференции. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – С. 151-154.
175. СП 11.13130.2009. Свод правил. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения.
176. О формировании электронных баз данных учёта пожаров (загораний) и их последствий: приказ МЧС России № 760 от 10.12.2008 г.

177. О совершенствовании деятельности по формированию электронных баз данных учета пожаров (загораний) и их последствий: приказ МЧС России № 727 от 26.12.2014 г.
178. СП 232.1311500.2015. Свод правил. Пожарная охрана предприятий. Общие требования.
179. The Open Graph Viz Platfor. – <https://gephi.github.io>
180. Канке, В.А. Философия учебника: монография / В.А. Канке. – М.: Университетская книга, 2007. – 118 с.
181. 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.
182. Требезов, Н.П. Пожарная тактика / Н.П. Требезов. – М.: НКВД РСФСР, 1928. – 360 с.
183. Повзик, Я.С. Пожарная тактика / Я.С. Повзик. – М.: Спецтехника, 1999. – 411 с.
184. Тербнев, В.В. О терминах и определениях / В.В. Тербнев и др. // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2009. – № 3. – С. 21–28.
185. ГОСТ 12.1.004-91\*. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 14.06.1991 № 875).
186. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.
187. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
188. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности.

189. СП 4.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.
190. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.
191. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
192. СП 6.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности.
193. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования.
194. СП 8.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности.
195. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности.
196. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
197. СП 13.13330.2009. Атомные станции. Требования пожарной безопасности.
198. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\*.
199. Денисов, А.Н. Первый закон пожарной тактики / А.Н. Денисов, С.В. Гундар, Н.М. Журавлев, М.В. Шевцов // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: третья межведомственная научно-практическая конференция (17 апреля 2009 года). – Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России, 2009. – Ч. 1. – С. 123.
200. Молчадский, И.С. Пожар в помещении / И.С. Молчадский. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.

201. Бушмин, В.А. Пожарно-строевая подготовка / В.А. Бушмин, А.В. Плеханов, А.В. Сафронов. – М.: Стройиздат, 1985. – 223 с.
202. Панарин, В.М. Основы теории процесса тушения пожаров: методические указания к изучению курса “Пожарная тактика” / В.М. Панарин, Н.М. Евтюшкин. – М.: УКиУЗ МООП РСФСР, 1964. – 77 с.
203. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
204. Верзилин, М.М. Пожарная тактика / М.М. Верзилин, Я.С. Повзик. – М.: СПЕЦТЕХНИКА НПО, 2007. – 442 с.
205. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России № 444 от 16 октября 2017 г.
206. Проект методики оценки боевых действий подразделений профессиональной пожарной охраны при тушении пожаров в зданиях V СО: отчёт ВИПТШ МВД СССР. Руководитель Я.С. Повзик. Инв. № 651. – М., 1976.
207. Инструкция по изучению пожаров. – М.: ГУПО МВД СССР, 1970.
208. Инструкция по изучению пожаров. – М.: ГУПО МВД СССР, 1986.
209. Методические рекомендации по изучению пожаров: письмо МЧС России № 43-1965-18 от 19.07.2005.
210. Методические рекомендации по проведению разборов пожаров: письмо МЧС России от 05.12.2006 г. № 43-4056-18.
211. Методические рекомендации по изучению пожаров: письмо МЧС России № 1-4-60-2-18 от 13.03.2007.
212. Методические рекомендации по изучению пожаров: письмо МЧС России № 2-4-87-2-18 от 27.02.2013.
213. Методика оценки деятельности органов управления и подразделений ГПС МЧС России. – М.: ВНИИПО, 2004.
214. Об утверждении Инструкции по проверке и оценке деятельности территориальных органов МЧС России: приказ МЧС России № 700 от 30.11.2006 г.

215. Об утверждении Инструкции по проверке и оценке деятельности территориальных органов МЧС России: приказ МЧС России № 500 от 26.09.2007 г.
216. Методика оценки деятельности пожарных частей по охране населённых пунктов. – М.: ВНИИПО, 1975.
217. Минаев, С.Н. К вопросу оценки деятельности пожарной службы / С.Н. Минаев // Вопросы экономики в пожарной охране: сб. науч. трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1975.
218. Разработка системы оценки качества деятельности пожарной охраны: отчёт ВНИИПО МВД СССР. Руководитель С.Н. Минаев. Инв. № 665. – М., 1976.
219. Ливчиков, А.П. К вопросу о тактических возможностях подразделений на основных пожарных автомобилях / А.П. Ливчиков // Труды Высшей инженерной пожарно-технической школы: сб. науч. трудов. – М.: МВД СССР, 1976. – С. 137-140.
220. Евтюшкин, Н.М. Тактические возможности отделения при тушении пожара / Н.М. Евтюшкин, А.П. Ливчиков // Противопожарная техника и безопасность: сб. науч. трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1977. – С. 84-89.
221. Артемьев, Н.С. О тактико-технических возможностях отделения на автоцистерне / Н.С. Артемьев, В.В. Теремнёв, А. Каминский // Стационарные и передвижные средства борьбы с пожарами: сб. науч. трудов. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. – С. 140-142.
222. Теремнёв, В.В. Концептуальные основы теории оценки эффективности управления силами и средствами на пожаре / В.В. Теремнев // Совершенствование средств и способов ликвидации пожаров, аварий и катастроф: сб. науч. трудов. – М.: ВИПТШ МВД РФ, 1993. – С. 27-29.
223. Бубырь, Н.Ф. Математическая модель боеспособности пожарных подразделений / Н.Ф. Бубырь, М.Д. Безбородько // Противопожарная защита зданий и сооружений: сб. науч. трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1977. – С. 175-182.

224. Девлишев, П.П. Организация работы тыла на пожаре / П.П. Девлишев. – М.: Стройиздат, 1967. – 88 с.
225. Белоносов, В.А. Организация работы тыла при тушении крупных пожаров / В.А. Белоносов. – Свердловск: ИПЛ УПО УВД Свердловскоблсполкома, 1980.
226. Даниленко, А.С. Модель боевых действий пожарных подразделений / А.С. Даниленко // Тактика и процессы пожаротушения: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – С. 14-19.
227. Безбородько, М.Д. Эргономические свойства пожарных автомобилей / М.Д. Безбородько, Ю.П. Самохвалов. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1989. – 127 с.
228. Baird B.Sc. Borrowing your watch // Fire fight. Can. – 1986. – Vol. 30, № 6.
229. Baird B.Sc. CFO Lloyd asks if public properly informed about: Fire Service // Fire. – 1992. – Vol. 30, № 6.
230. Silvi E. Lee. Fire loss estimating using percents // Fire Chief. – 1986. – Vol. 30, № 9.
231. Чальков, В. Оценяване дейността на специализираните органи за противопожарна охрана / В. Чальков // Огнеборец. – 1988. – Vol. 44, № 4.
232. Присадков, В.И. Модель оценки тушения пожара первым прибывшим подразделением / В.И. Присадков, Л.В. Гуринович, В.А. Колганов // Организация тушения пожаров и аварийно-спасательных работ: сб. науч. трудов. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1990. – С. 52-55.
233. Даниленко, А.С. Стоимостной показатель оценки эффективности боевой работы / А.С. Даниленко // Динамика пожаров и их тушение: сб. науч. трудов. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. – С. 49-52.
234. Провести исследования по совершенствованию методики оценки эффективности деятельности гарнизона пожарной охраны области, края, республики: отчет ВНИИПО МВД СССР; Руководитель В.М. Гаврилей. Инв. № 3032. – М., 1982.
235. Каминский, А. Оценка оперативности управления подразделениями при тушении пожаров / А. Каминский, Е. Михайловский // Обнаружение, тактика и

техника тушения пожаров: сб. науч. трудов. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983. – С. 165-168.

236. Беляев, А.В. Эффективность боевых действий по вскрытию конструкций при тушении пожара / А.В. Беляев // Пожарная техника и пожаротушение на объектах народного хозяйства: сб. науч. трудов. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986. – С. 28-36.

237. Журавлёв, Ю.Г. Методика расчёта запаса кислорода при тушении пожаров в подземных сооружениях / Ю.Г. Журавлёв, Ю.А. Бадер, В.А. Прохоров // Динамика пожаров и их тушение: сб. науч. трудов. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. – С. 37-42.

238. Порошин, А.А. Уровень пожарной опасности АТЕ и ресурсная оснащённость ГПС / А.А. Порошин, М.А. Чумаченко // Научно-техническое обеспечение деятельности ГПС. – М.: ВНИИПО, 1997. – С. 72-95.

239. Порошин, А.А. Зависимость травматизма пожарных от сложности пожара / А.А. Порошин и др. // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2013. – № 2. – С. 92-94.

240. Денисов, А.Н. Управление силами и средствами безопасности при проведении массовых мероприятий [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, И.П. Денисов, А.В. Подгрушный // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 5 (33). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

241. Григорьев, А.Н. Тактические приёмы и способы тушения пожаров в кабельных коллекторах для инженерных коммуникаций оперативными подразделениями пожарной охраны / А.Н. Григорьев, А.В. Подгрушный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 1. – С. 75-82.

242. Денисов, А.Н. Ресурсное обоснование водного способа тушения пожаров на открытой местности / А.Н. Денисов и др. // Сборник тезисов Научно-практической конференции “Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – С. 135-139.

243. 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>.
244. 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.
245. 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>.
246. 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>.
247. 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>.
248. 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).
249. 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>.



250. 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>.
251. 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>.
252. Денисов, А.Н. Метод оперативного управления пожарными подразделениями. Проблемы управления безопасностью сложных систем / А.Н. Денисов и др. // Труды XVII международной конференции. Москва, декабрь 2009 г. / под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. – М.: РГГУ, 2009. – С. 323-327.
253. Денисов, А.Н. Метод расчета предельного расстояния позиции ствольщика при охлаждении резервуара на основе граничного условия по радиусу компактной и раздробленной части струи воды / А.Н. Денисов, Н.М. Хыонг // Материалы семнадцатой научно-технической конференции “Системы безопасности” СБ-2008. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – С. 183-185.
254. Денисов, А.Н. Метод (хозяйственный) обеспечения безопасности природных систем / А.Н. Денисов // Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XVIII международной конференции. Москва, декабрь 2010 г. / под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. – М.: РГГУ, 2010. – С. 384-387.
255. Денисов, А.Н. Теоретическое обоснование метода принятия решений в сложных иерархических системах / А.Н. Денисов, М.М. Данилов // Материалы второй международной научно-технической конференции “Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С. 156-158.
256. Денисов, А.Н. Методы опорных решений рационального управления пожарным подразделением / А.Н. Денисов, С.В. Гундар, С.Н. Захаревская // Материалы второй международной научно-технической конференции

“Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С. 127-131.

257. Денисов, А.Н. Метод управления оперативно-тактическими действиями при решении задачи пожаротушения резервуара с двойной стенкой / А.Н. Денисов, М.М. Данилов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции: в 2 ч. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – Ч. 1. – С. 67-71.

258. Денисов, А.Н. Метод, модель и алгоритмы компьютерной поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в резервуарном парке / А.Н. Денисов, М.М. Данилов // Каталог научных проектов – 2015: проекты молодых учёных и специалистов Академии ГПС МЧС России. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 17.

259. Степанов, О.И. Теоретические основы применения метода поэтапного ввода сил и средств пожарных подразделений [Электронный ресурс] / О.И. Степанов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – № 3 (49). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

260. Степанов, О.И. Реализация поэтапного метода ввода сил и средств пожарных подразделений при тушении пожаров [Электронный ресурс] / О.И. Степанов, М.В. Стахеев, М.Д. Джабаев // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 6 (58). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

261. Степанов, О.И. Обоснование метода поэтапного ввода сил и средств пожарных подразделений при тушении пожаров [Электронный ресурс] / О.И. Степанов, В.В. Теряев, С.В. Молинов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 1 (53). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

262. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения. – 5 с.

263. Ловцов, Д.А. Введение в информационную теорию АСУ: монография / Д.А. Ловцов. – М.: ВА им. Ф.Э. Дзержинского, 1996. – 435 с.

264. Russell L. Ackoff, Fred E. Emery. On Purposeful Systems. — Aldine-Atherton, 1972. P. 288.
265. Рассел Л. Акофф. О целеустремлённых системах / Рассел Л. Акофф, Фредерик Э. Эмери; перевод с английского Г.Б. Рубальского; под редакцией И.А. Ушакова. — М., 1974. — 242 с.
266. Russell L. Ackoff. The Art of Problem Solving. — John Wiley & Sons, 1978. Акофф, Р.Л. Искусство решения проблем [Электронный ресурс] / Р.Л. Акофф; перевод с английского Е.Г. Коваленко; под редакцией кандидата технических наук Е.К. Масловского. — М., 1982. — Режим доступа: <http://gtmarket.ru/library>.
267. Ackoff R.L. Games, decision, and organizations // General Systems. Vol. IV. 1959. P. 145–150.
268. Bertalanffy L. von. General System Theory – A Critical Review // General Systems. Vol. VII. 1962. P. 1–20.
269. Ashby W.R. General Systems Theory as a New Discipline // General Systems. Vol. III. 1958. P. 1–6.
270. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем [Электронный ресурс] / Н.П. Бусленко. — М.: Наука, 1968. — 357 с. — Режим доступа: <http://www.mtas.ru>.
271. Малиновский, Б.Н. Академик В. Глушков / Б.Н. Малиновский. — К.: Наукова думка, 1993. — 141 с.
272. Автоматизация управления / под ред. В.А. Абчука. — М.: Радио и связь, 1984. — 264 с.
273. Винер, Н. Кибернетика / Н. Винер. — М.: Наука, 1983. — 340 с. Глушков, В.М. Кибернетика: вопросы теории и практики / В.М. Глушаков. — М.: Наука, 1986. — 477 с.
274. Андросов, А.С. Теория горения и взрыва / А.С. Андросов, И.Р. Бегишев, Е.П. Салеев. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. — 238 с.
275. Корольченко, А.Я. Процессы горения и взрыва / А.Я. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2007. — 266 с.
276. 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.

277. Денисов, А.Н. Факторы, влияющие на управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в помещениях с регрессивным газообменом / А.Н. Денисов, Р.А. Усманов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 89-90.

278. Денисов, А.Н. Методические указания к решению тактических задач по теме “Основы прогнозирования обстановки на пожаре. Локализация и ликвидация пожаров”: учебно-методическая разработка / А.Н. Денисов и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 38 с.

279. Денисов, А.Н. Методические указания к решению тактических задач по теме “Основы построения схем подачи огнетушащих средств к месту пожара”: учебно-методическая разработка / А.Н. Денисов и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 47 с.

280. Денисов, А.Н. Управление силами и средствами пожарных подразделений (Принятие решений): методические указания по выполнению контрольной работы / А.Н. Денисов и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – 31 с.

281. Денисов, А.Н. Задачи для подготовки к олимпиаде по пожарной тактике: учебное пособие / А.Н. Денисов и др. – Ивановский институт ГПС МЧС России, 2012. – 88 с.

282. Денисов, А.Н. Специальная первоначальная пожарная подготовка спасателя: учеб. Пособие / А.Н. Денисов и др. – Химки: АГЗ МЧС России, 2012 – 232 с.

283. Распространение горения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agps-mipb.ru/index.php/poz-delo/795-8-4-rasprostranenie-goreniya.html>.

284. Нормативы по пожарно-строевой и тактико-специальной подготовке для личного состава федеральной противопожарной службы / МЧС РФ от 10.05.2011 г.

285. Денисов, А.Н. Методические указания к деловой игре по теме “Порядок смены караулов в подразделении пожарной охраны” / А.Н. Денисов, К.Ю. Кириченко, А.В. Хачиров. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 21 с.
286. Денисов, А.Н. Определение времени следования пожарного автомобиля к месту вызова / А.Н. Денисов, В.В. Роечко, Ю.М. Сверчков // Материалы восьмой международной конференции “Системы безопасности” – СБ-99. – М: МИПБ ГПС МВД России, 1999. – 281 с.
287. Денисов, А.Н. Автомобильная навигация. Перспективы деятельности органов внутренних дел и государственной противопожарной службы / А.Н. Денисов // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции. – Иркутск: Восточно-Сибирский институт МВД России, 2000. – 368 с.
288. Денисов, А.Н. Методика расчёта времени реагирования подразделений пожарной охраны на ликвидацию различных чрезвычайных ситуаций / А.Н. Денисов, В.В. Роечко, В.А. Пряничников // Инновационная деятельность: сборник. – М.: АГПС МЧС России, 2012. – С. 49-51.
289. Денисов, А.Н. Планирование маршрута следования пожарных автомобилей / А.Н. Денисов, В.В. Роечко, Ю.М. Сверчков // Снижение риска гибели людей при пожарах: материалы XVIII науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО, 2003.
290. Денисов, А.Н. Управление пожарными подразделениями (выезд и следование): монография / А.Н. Денисов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 87 с.
291. Денисов, А.Н. Методика расчета реагирования подразделений ГПС МЧС России на ДТП, связанные с тушением пожаров, проведением спасательных работ, а также ликвидации различных чрезвычайных ситуаций на транспорте / А.Н. Денисов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 74 с.
292. Денисов, А.Н. Динамика роста пожаров, времени следования к месту вызова (пожара) и тушения в Республике Казахстан / А.Н. Денисов, А.Б. Булкаиров // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: сб. материалов науч.-практ. конференции в 2-х ч. – Гомель: ГИИ, 2010. – Ч. 1. – С. 56-57.

293. Григорьев, А.Н. Статистическое исследование возможностей пожарных подразделений по тушению крупных пожаров / А.Н. Григорьев, О.Л. Громовенко // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков: материалы пятнадцатой научно-практической конференции. – М.: ВНИИПО, 1999. – Ч. 2. – С. 202–203.
294. Григорьев, А.Н. Результаты статистических исследований возможностей пожарных подразделений по тушению крупных пожаров / А.Н. Григорьев, О.Л. Громовенко // Пожарная безопасность: научно-технический журнал. – 2001. – № 4. – С. 143-151.
295. Гаврилей, В.М. Распределение оперативных подразделений пожарной охраны по районам города / В.М. Гаврилей и др. // Экономика и управление в пожарной охране: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1983. – С. 25-130.
296. Роевко, В.В. Выбор маршрута и прогнозирование времени следования пожарных автомобилей к месту вызова / В.В. Роевко, В.А. Пряничников, Ю.М. Кислых // Тактика и процессы пожаротушения: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – С. 34-45.
297. Тарасов-Агалаков, Н.А. Обоснование радиуса выезда пожарных частей (команд) и численности оперативных отделений пожарной охраны городов / Н.А. Тарасов-Агалаков, Н.П. Андреевко // Пожарная безопасность: сб. работ факультета инженеров противопожарной техники и безопасности Высшей школы МООП РСФСР. – М.: Издательство литературы по строительству, 1964. – Вып III. – С. 87-94.
298. Пранов, Б.М. О моделях оптимального размещения ресурсов пожарной охраны / Б.М. Пранов // Опасные факторы пожара и противопожарная защита: сб. науч. тр. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1989. – С. 197-200.
299. Абдурагимов, Г.И. К оптимизации районов выезда пожарных частей г. Москвы / Г.И. Абдурагимов // Противопожарная защита жилого комплекса города Москвы: материалы науч.-практ. конф. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – С. 90-91.

300. Денисов, А.Н. О боевом развёртывании и не только / А.Н. Денисов // Пожары и окружающая среда: материалы XVII Международной науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО, 2002. – 477 с.
301. Денисов, А.Н. Анализ и оценка эффективности управления силами и средствами при ведении оперативно-тактических действий: методические указания по выполнению контрольной работы / А.Н. Денисов и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 27 с.
302. Денисов, А.Н. Анализ данных количества пожарной техники, привлекаемой для тушения тактически сложных пожаров / А.Н. Денисов, К.С. Власов, В.В. Зыков // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сб. ст. по материалам IV всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч., 9-10 окт. 2013 г. / ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2013. – С. 104-108.
303. Денисов, А.Н. Электронный комплекс по дисциплине “Пожарная тактика” [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов и др. // Портал Дистанционное обучение. – Режим доступа: <http://www.academygps.ru/>.
304. Денисов, А.Н. Разработка методических рекомендаций по составлению документов предварительного планирования боевых действий пожарных подразделений / А.Н. Денисов и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 62 с.
305. 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>.
306. Денисов, А.Н. Оперативно-тактические действия пожарных подразделений по тушению пожаров в зданиях низкой устойчивости (IV–V степени) при пожаре: учебно-методическое пособие / А.Н. Денисов и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 58 с.

307. Обзор “О состоянии пожаротушения в Российской Федерации за 2001 год”: письмо ГУГПС МЧС России от 28.05.2002 г. № 30/11/1522.
308. Григорьев, А.Н. Исследование статистических показателей возможностей пожарных подразделений по тушению крупных пожаров / А.Н. Григорьев, О.Л. Громовенко // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – Том 9, №5. – С. 5-8.
309. Проект Боевого устава пожарной охраны. – М.: Гостранстехиздат: ГУПО НКВД СССР, 1937. – 128 с.
310. С объявлением Боевого Устава пожарной охраны НКВД СССР 1940: приказ НКВД СССР № 86 от 10.02.1940 г.
311. Об утверждении Боевого Устава пожарной охраны: приказ МВД СССР № 150 от 28.10.1953 г.
312. Об утверждении Боевого устава пожарной охраны: приказ МВД СССР № 380 от 09.11.1970 г.
313. Об утверждении Боевого устава пожарной охраны: приказ МВД СССР № 211 от 01.11.1985 г.
314. Об утверждении нормативных правовых актов в области организации деятельности Государственной противопожарной службы (вместе с «Боевым уставом пожарной охраны»): приказ МВД России № 257 от 5 июля 1995 г. (в ред. Приказа МВД России № 477 от 06.05.2000 г.).
315. О признании утратившими силу нормативных правовых актов МВД России: приказ МВД России № 538 от 6 июля 2005 г.
316. Методические рекомендации по действиям подразделений ФПС при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ: письмо № 43-2007-18 от 26 мая 2010 г.
317. Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы: приказ Минтруда России № 1100н от 23.12.2014 г. (Зарегистрировано в Минюсте России 08.05.2015 № 37203).
318. 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>.

319. Кудряшов, А.В. Определение противопожарных расходов воды / А.В. Кудряшов // Инф. сб. “Пожарная профилактика”. – М.: Министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1961. – С.132-184.

320. Кубышкин, В.А. Подвижное управление в системах с распределенными параметрами / В.А. Кубышкин, В.И. Финягина. – М.: СИНТЕГ, 2005. – 232 с.

321. Иванов, Е.Н. Противопожарное водоснабжение / Е.Н. Иванов. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.

322. Спышнов, П.А. Фонтаны. Описание, конструкции, расчёт / П.А. Спышнов. – М.: ГИАиГ, 1950. – 174 с.

323. Методические рекомендации руководителю тушения пожара. – Николаев: ОПО УВД НО, 1987. – 88 с.

324. Артемьев, Н.С. Глубина тушения пожара водяными струями / Н.С. Артемьев, А.В. Подгрушный // Материалы одиннадцатой научно-технической конференции “Системы безопасности” СБ-2002. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – С. 228–231

325. Определение площади тушения пожара ручными водяными пожарными стволами при выработке управленческих решений / Н.М. Хыонг и др. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – № 2. – С. 59-61.

326. Степанов, О.И. Формализация метода поэтапного ввода сил и средств пожарных подразделений при тушении развившихся пожаров в зданиях низкой устойчивости [Электронный ресурс] / О.И. Степанов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2012. – № 3 (43). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

327. 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>.

328. 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.
329. 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. – 2011. – № 4 (56). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
330. Денисов, А.Н. Риск потерь воды при тушении лесных пожаров / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Материалы двадцатой научно-технической конференции “Системы безопасности-2011”. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – С. 166-169.
331. Денисов, А.Н. Теория пожарной тактики / А.Н. Денисов // Сборник тезисов Научно-практической конференции “Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. – М: Академия ГПС МЧС России, 2012. – С. 139-140.
332. Einführung in die Logistik. Prof. D-r X. Krampe. D-r Hans Ioachim Lucke. HUSS. Verlag, München. 40. – P. 230.
333. 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>.
334. Rosenzweig M.L. Why the prey curve has a hump. Amer. Natur. 1969. - Vol. 103. - P. 81-87.
335. Хартман Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения. — Мир, 1972. — 720 с.
336. Kermack W.O. and McKendrick A.G. Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics, Proceedings of the Royal Statistical Society A. 1927. – Vol. 115. – P. 700–721.
337. Шилейко, А.В. Введение в информационную теорию систем / А.В. Шилейко, В.Ф. Кочнев, Ф.Ф. Химушин. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.

338. Куликовский, Л.Ф. Теоретические основы информационных процессов / Л.Ф. Куликовский, В.В. Мотов. – М.: Высш. шк., 1987. – 248 с.
339. Глушков, В.М. Что такое ОГАС? / В.М. Глушков, В.Я. Валах. – М.: Наука, 1981. – 160 с.
340. Ростовцев, Ю.Г. Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации / Ю.Г. Ростовцев. – М.: СП-б. ВИККА им. А.Ф. Можайского, 1992. – 717 с.
341. Мамиконов, А.Г. Основы построения АСУ / А.Г. Мамиконов. – М.: Высш. шк., 1981. – 248 с.
342. Пинус, А.Г. Основы универсальной алгебры: учебное пособие / А.Г. Пинус. – Новосибирск: НГТУ, 1998. – 138 с.
343. Пушкин, В.Н. Психология и кибернетика / В.Н. Пушкин. – М.: Педагогика, 1971. – 230 с.
344. Ловцов, Д.А. Основы лингвистического и информационного обеспечения АСУ. В 2-х кн. / Д.А. Ловцов. – М.: ВА им. Ф.Э. Дзержинского, 1989. – Кн 1. – 95 с.
345. Болл, У. Математическое эссе и развлечения / У. Болл, Г. Коксетер. – М.: Мир, 1986. – 474 с.
346. 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.
347. Котов, В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – М.: Наука, 1984. – 196 с.
348. Копнин, М.Ю. Применение языка сетей Петри в системах сетевого планирования и управления при дефиците ресурсов / М.Ю. Копнин, В.В. Кульба, Е.А. Микрин // Пробл. управл. – 2003. – № 2. – С. 35–42.
349. Копнин, М.Ю. Структурно-технологический резерв и его использование для повышения устойчивости производственных систем / М.Ю. Копнин, В.В. Кульба, Е.А. Микрин // Пробл. управл. – 2005. – № 4. – С. 55–60.

350. 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>.
351. Шатихин, Л.Г. Структурные матрицы и их применение для исследования систем / Л.Г. Шатихин. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1991. – 257 с.
352. Митрофанов, В.А. Особенности логистизации процесса жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / В.А. Митрофанов. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. гос. ун-та экономики и финансов, 2001. – 17 с.
353. Денисов, А.Н. Постановка задач сатисфакционного ситуационного планирования при тушении пожаров в иерархической сети управления пожарными подразделениями / А.Н. Денисов, А.Н. Григорьев // Системы безопасности: материалы двадцатой научно-технической конференции – СБ-2011. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – С. 170-174.
354. Денисов, А.Н. Принятие управленческого решения при тушении пожара на основе опорного плана [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, С.Н. Захаревская, Н.М. Хыонг // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – № 4 (62). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
355. Денисов, А.Н. Управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в быстровозводимых складских зданиях 4-5 степени огнестойкости [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Н.М. Хыонг, Д.Ю. Пигусов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – № 4 (62). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
356. 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>.
357. 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>.

358. 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.

359. 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>.

360. Hanneman R., Riddle M. Introduction to social network methods, University of California, Riverside 2005, p. 322.

361. Hanneman R., Izquierdo L.R. Introduction to the Formal Analysis of Social Networks Using Mathematica, Ver. 2. 2006, p. 29.

362. Халафян, А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А.А. Халафян. – Учеб. изд. 3-е. – М.: Бином-Пресс, 2007. – 512 с.

363. Веревкин, А.П. Анализ и синтез автоматических систем регулирования сложных объектов нефтепереработки и нефтехимии: учеб. пособие / А.П. Веревкин, Л.Г. Дадаян. – Уфим. нефт. ин-т, 1989. – 94 с.

364. Абдурагимов, И.М. О нормативном времени тушения ординарных внутренних пожаров ТГМ / И.М. Абдурагимов // Пожарное дело. – 2007. – № 8. – С. 36.

365. Абдурагимов, И.М. Несостоятельность идеи применения тонкораспыленной и “термоактивированной” (перегретой) воды для пожаротушения / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 6. – С. 54-58.

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

367. Терещнев, В.В. Анализ и поддержка решений при тушении пожаров / В.В. Терещнев и др. // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – № 5. – С. 10.
368. Семенов, А.О. Алгоритм многокритериального выбора вариантов расстановки сил и средств при тушении пожаров с применением имитационного моделирования / А.О. Семенов, Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2011. – № 4 (38). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
369. Тараканов, Д.В. Компьютерная модель ликвидации пожаров для тактической подготовки пожарных [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, И.Ф. Саттаров // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 6 (58). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
370. Семенов, А.О. Алгоритмы принятия решений при тушении пожаров на объектах химической промышленности / А.О. Семенов, А.Н. Лабутин, Д.В. Тараканов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 1. – С. 105-106.
371. Мешалкин, Е.А. Концепция создания информационной системы поддержки оперативных решений при тушении пожаров / Е.А. Мешалкин, В.Т. Олейников, А.П. Абрамов // Пожары и окружающая среда: материалы XVII международной научно-практической конф. – М.: ВНИИПО, 2002. – С. 358-361.
372. Подгрушный, А.В. Сценарный подход к тактике тушения пожаров / А.В. Подгрушный, А.И. Григорьев // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15, № 6. – С. 72-77.
373. Маслова, Н.А. Методы теории вычислений в решении задач управления технологическими процессами / Н.А. Маслова // Штучний інтелект. – 2009. – № 3. – С. 165–171.
374. Михалевич, В.С. Методы последовательной оптимизации в дискретных сетевых задачах оптимального распределения ресурсов / В.С. Михалевич, А.И. Кукса. – М.: Наука, 1983. – 208 с.

375. Резников, Б.А. Анализ и оптимизация сложных систем. Планирование и управление в АСУ / Б.А. Резников. – Л.: ВИККИ им. А.Ф. Можайского, 1981. – 148 с.
376. Юдин, Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования / Д.Б. Юдин. – Изд. 2. – 2010. – 392 с.
377. Yudin D.B. "Mathematical methods of control with incomplete information: Problems and methods of stochastic programming". (In Russian), 2010. 400 с.
378. Кебец, Е.П. Об одном классе алгоритмов оптимизации при векторном критерии качества / Е.П. Кебец // Модели и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах. – Фрунзе: Илим, 1977. – С. 53.
379. Живоглядов, В.П. Диалоговые системы принятия решений и управления / В.П. Живоглядов, Е.П. Кебец. – Фрунзе, 1982. – 139 с.
380. Сверчков, Ю.М. Основы моделирования боевых действий в системе микроэлементного нормирования / Ю.М. Сверчков, А.В. Терещнев // Современные проблемы тушения пожаров: материалы науч.-практ. конф. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – С. 95–96.
381. Терещнев, А.В. Совершенствование нормирования боевых действий пожарных подразделений / А.В. Терещнев // Современные проблемы тушения пожаров: материалы науч.-практ. конф. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – С. 97–98.
382. О пожарной безопасности: федеральный закон Российской Федерации от 18 ноября 1994 г. № 69-ФЗ.
383. Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде: приказ МЧС России № 3 от 9 января 2013 г.
384. Евстигнеев, В.А. Теория графов: алгоритмы обработки деревьев / В.А. Евстигнеев, В.Н. Касьянов. – Новосибирск: Наука, 1994. – 360 с.
385. Уилсон, Р. Введение в теорию графов / Р. Уилсон. – М.: Мир, 1977. – 208 с.

386. Голубков, Е.П. Технология принятия управленческих решений / Е.П. Голубков. – М.: Экономика, 2005. – 544 с.
387. Гермейер, Ю.Б. Введение в теорию исследования операций / Ю.В. Гермейер. – М.: Наука, 1971. – 384 с.
388. Карлин, С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике / С. Карлин. – М.: Мир, 1964. – 838 с.
389. О федеральной целевой программе “Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2017 года”: постановление Правительства РФ от 30 декабря 2012 г. № 1481.
390. Денисов, А.Н. Приемлемый лесопожарный риск / А.Н. Денисов, С.В. Гундар, Н.Я. Трифионов // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2009. – № 3 (Том 18). – С. 57–66
391. 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.
392. Денисов, А.Н. Экономическая эффективность управления тушением лесного пожара в населённых пунктах и прилегающим к ним территориях / А.Н. Денисов, С.В. Гундар, А.Н. Григорьев // Материалы второй международной научно-технической конференции “Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С. 127-131.
393. Вешняков, Я.Д. Разработка и внедрение нормативной методической базы оценки интегральных показателей рисков возникновения чрезвычайных ситуаций / Я.Д. Вешняков и др. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2006. – № 1. – С. 50-70.
394. Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 26 сентября 2013 г. № 1724-р.



395. Денисов, А.Н. О кодексе управления пожарами / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Пожаровзрывобезопасность: научно-технический журнал. – 2007. – № 5 (Том 16). – С. 10–15.
396. Денисов, А.Н. Коррекция парадигм управления безопасностью / А.Н. Денисов и др. // Актуальные проблемы пожарной безопасности: тезисы докладов XXI Международной научно-практической конференции. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – Ч. 2. – С. 90-92.
397. Денисов, А.Н. О себестоимости тушения пожара / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Материалы третьей международной научно-практической конференции “Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. 20-21 марта Часть 1 (секции 1-2). – М: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 94-97.
398. Денисов, А.Н. Управление безопасностью по критериям риска (лесопожарный риск) / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: сб. материалов научн.-практ. конференции. В 2-х ч. – Гомель: ГИИ, 2008. – Ч. 1. – С. 303-308.
399. Денисов, А.Н. Методика “разумной достаточности” в тушении лесных пожаров / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Актуальные проблемы пожарной безопасности: тезисы докладов XXI Международной научно-практической конференции. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – Ч. 2. – С. 45–47.
400. Денисов, А.Н. Экономическое обоснование управленческих решений на тушение лесных пожаров / А.Н. Денисов, С.В. Гундар // Сборник тезисов Научно-практической конференции “Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. – М: Академия ГПС МЧС России, 2012. – С. 133–135.
401. Лесной кодекс РФ: федеральный закон от 04.12.2006 г. № 200-ФЗ с изм.
402. Об утверждении Правил тушения лесных пожаров: приказ Минприроды России № 313 от 08.07.2014 г.
403. Щетинский, Е.А. Спутник руководителя тушения лесных пожаров [Электронный ресурс] / Е.А. Щетинский. – Режим доступа: <http://airbase23.ru/node/901>.

404. Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб. ФСЛХ от 17 ноября 1997 г.
405. Требования к мерам пожарной безопасности в лесах в зависимости от целевого назначения лесов, показателя природной пожарной опасности лесов и показателей пожарной опасности в лесах по условиям погоды: приказ Минприроды России № 32 от 06.02. 2008 г.
406. Положение о порядке отнесения территорий лесного фонда Российской Федерации и не входящих в лесной фонд Российской Федерации лесов к зонам и районам охраны: утверждены Заместителем руководителя Федеральной службы лесного хозяйства России В.Д. Отставновым 19.09.1997 г.
407. Методические рекомендации по применению сил и средств для тушения лесных пожаров: утв. МЧС России 16.07.2014 г. № 2-4-87-9-18.
408. Методика тушения ландшафтных пожаров: утв. МЧС России 14.09.2015 г. № 2-4-87-32-16.
409. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2007 году. – М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2008. – 250 с.
410. 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.
411. Площадь лесных земель, пройденная пожарами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/38496.do>.
412. Писаренко, А.И. Лесное хозяйство России: от пользования – к управлению / А.И. Писаренко, В.В. Страхов. – М.: Юриспруденция, 2004. – 552 с.
413. Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации до 2010 г.: распоряжение Правительства Российской Федерации от 18 января 2003 г. № 69–Р, с изменениями.

414. Об утверждении инструкции по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами: приказ Федеральной службы лесного хозяйства России № 53 от 03.04.1998 г.
415. Валендик, Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами / Э.Н. Валендик. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ния. 1990. – 193 с.
416. 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>.
417. Степин, Ю.П. Компьютерная поддержка управления нефтегазовыми технологическими процессами и производствами: в 2 томах / Ю.П. Степин, Э.А. Трахтенгерц; РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – М.: МАКС-Пресс, 2008. – Том 2. – 528 с.
418. Денисов, А.Н. Оценка принятия решения руководителем тушения пожара на основе функции полезности / А.Н. Денисов, М.М. Данилов // Сборник тезисов Научно-практической конференции “Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – С. 124–128.
419. Метод деления отрезка пополам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://math.semestr.ru/optim/dichotomy-minimum.php>.
420. Коган, Б.М. Вероятностные модели информационно-вычислительных сетей на основе динамики средних / Б.М. Коган, А.Ф. Короганов // Автоматика и телемеханика. – 1970. – № 1. – С. 100-110.
421. Аптерман, О.В. Многокритериальная оценка эффективности и ранжирование энергосберегающих мероприятий в газораспределительных организациях / О.В. Аптерман, И.В. Журавлев, Ю.П. Степин // Наука и техника в газовой промышленности. – 2013. – № 3 (55). – С. 71-83.
422. Тараканов, К.В. Аналитические методы исследования систем / К.В. Тараканов, Л.А. Овчаров, А.Н. Тырышкин. – М.: Сов. радио, 1974. – 240 с.
423. О Методических рекомендациях по составлению планов тушения пожаров и карточек тушения пожаров: письмо от 1 марта 2013 года № 43-956-18.

424. Липский, В. Комбинаторика для программистов / В. Липский. – М.: Мир. – 1988. – С. 45-64.
425. Кудрявцев, Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах / Е.М. Кудрявцев. – М.: Радио и связь, 1984. – С. 143-149.
426. Жиглявский, А.А. Математическая теория глобального случайного поиска / А.А. Жиглявский. – Л.: Изд. Ленинградского университета, 1985. – 296 с.
427. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике. В двух томах / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел. – М.: Мир, 1986. – Том 2. – 321 с.
428. Болдырев, В.И. Метод кусочно-линейной аппроксимации для решения задач оптимального управления [Электронный ресурс] / В.И. Болдырев. – Режим доступа: <http://www.neva.ru/journal>.
429. Borzenko V.I., Trakhtengerts E.A., Shershakow V.M. Approximation multicriteria scheduling in computer system // 12 IFIP Conference on System Modeling and Optimization. Budapest, Sept. 2-6 1985. Abstract i.6, p. 59-60.
430. Chen Arlee L.P., Brill D., Templeton M., Clement T. Distributed query processing in a multiple database system // IEEE J. Selec. Arleas Commun. V.7, N 3, 1989, p. 390-398.
431. Борзенко, В.И. Многокритериальный выбор параметров оптимального режима функционирования в вычислительных системах / В.И. Борзенко // АиТ. – 1988. – № 2. – С. 173-177.
432. Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта: приказ МЧС РФ № 506 от 4 ноября 2004 г.
433. Программа подготовки личного состава ГПС МЧС: утв. МЧС России 29.12.2003 г.
434. Колмогоров, А.Н. Три подхода к определению понятия “количество информации” / А.Н. Колмогоров // Проблемы передачи информации. – 1965. – Т. 1, Вып. 1. – С. 3-11.
435. Колмогоров, А.Н. Теория информации и теория алгоритмов / А.Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1987. – 303 с.

436. Kolmogorov A.N., Fomin S.V., Elements of the Theory of Functions and Functional Analysis. Dover Publications (February 16, 1999), p. 288.
437. Пентус, А.Е. Теория формальных языков: учебное пособие / А.Е. Пентус, М.Р. Пентус. – М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом ф-те МГУ, 2004. – 80 с.
438. Стратонович, Р.Л. Теория информации / Р.Л. Стратонович. – М.: Сов. радио, 1975. – 424 с.
439. Теория информации и её приложения: сборник переводов / Л. Заде и др.; под ред. А.А. Харкевича. – М.: Физматгиз, 1959. – 328 с.
440. Харкевич, А.А. О ценности информации / А.А. Харкевич // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1960. – Вып. 4. – С. 53-59.
441. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: ИЛ, 1963. – 830 с.
442. Bloor D. Wittgenstein: A Social Theory of Knowledge. Macmillan and Columbia, 1983. 209 p.
443. Brainchildren. Essays on Designing Minds. Cambridge MA, Bradford Book, 1998, IX, 418 p.
444. Шрейдер, Ю.А. Об одной модели семантической теории информации / Ю.А. Шрейдер // Проблемы кибернетики. – 1965. – Вып. 13. – С. 233-240.
445. Горский, Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления / Ю.М. Горский. – М.: Наука, 1988. – 328 с.
446. Гришкин, И.И. Понятие информации / И.И. Гришкин. – М.: Наука, 1973. – 232 с.
447. Мазур, М. Качественная теория информации / М. Мазур; предисловие А.В. Солодова. – М.: Мир, 1974. – 240 с.
448. Урсул, А.Д. Отражение и информация / А.Д. Урсул. – М.: Мысль, 1973. – 231 с.
449. Ногин, В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.Д. Ногин, В.В. Подиновский. – М.: Наука, 1982. – 256 с.

450. Пахомов, Г. Новейшая технология пожаротушения тонкораспылённой водой [Электронный ресурс] / Г. Пахомов. – Режим доступа: <http://www.firesprinkler.ru>.
451. Пузач, С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности: монография / С.В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
452. Ларичев, О.И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям / О.И. Ларичев // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 8. – С. 131-141.
453. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
454. 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.
455. 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>.
456. 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>.
457. Подгрушный, А.В. Четыре подхода к тактике тушения пожаров [Электронный ресурс] / А.В. Подгрушный // Материалы 12-й научно-технической конференции “Системы безопасности” – СБ-2003. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – Режим доступа: [http://ipb.mos.ru/konf/2003/sb-2003/sec\\_2.html](http://ipb.mos.ru/konf/2003/sb-2003/sec_2.html). – 23.01.11.
458. Тетерин, И.М. Системы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров / И.М. Тетерин и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – 102 с.

459. Sårdqvist S. An Engineering Approach to Fire-Fighting Tactics / S. Sårdqvist. – Lund, 1996. – 83 p.
460. Fire in the United States 1989-1998. – Twelfth Edition. August, 2001, – 268 p.
461. Report of the Technical Investigation of the Station Nightclub Fire. – Vol. I. – 250 p.
462. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров: приказ ФСЛХ России № 100 от 30 июня 1995 г.
463. 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>.
464. 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>.
465. 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. Хьюнг // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 4 (32). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
466. 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>.
467. 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>.
468. Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров: утв. Рослесхозом 17.12.1997 г.

469. 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>.
470. 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.
471. Денисов, А.Н. Комбинированный метод тушения пожаров в высотных зданиях с использованием насосно-рукавной системы высокого давления / Денисов А.Н., Зеленков С.А., Подгрушный А.В., Бордик Р.И.// Научно-технический журнал “Пожаровзрывобезопасность” № 8 (том 26) 2017. Стр. 56-64.



## Приложения

### Приложение А

#### Производные понятия пожаротушения

аварийно-спасательные работы, связанные с тушением пожаров – действия по спасанию людей, материальных ценностей и снижению вероятности воздействия опасных факторов пожара [205];

безводный участок – участок местности, на котором водоотдача в сети наружного противопожарного водопровода составляет менее 10 литров в секунду или расстояние от места пожара до водоисточника более 500 метров [А.1];

возникновение пожара (загорания) – совокупность процессов, приводящих к пожару (загоранию) [262];

время ликвидации последствий пожара – промежуток времени, начинающийся от момента прекращения свободного горения до момента полного прекращения горения и завершения проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, связанных с ликвидацией пожара (определяется руководителем тушения пожара) [А.2];

время ликвидации свободного горения – промежуток времени, начинающийся от момента локализации пожара до момента времени, когда свободное горение прекращено (определяется руководителем тушения пожара) [А.2];

время локализации – промежуток времени, начинающийся от момента подачи первого ствола на тушение пожара до момента времени, когда ликвидирована угроза людям или животным, прекращено распространение пожара, созданы условия для его ликвидации имеющимися силами и средствами (определяется руководителем тушения пожара) [А.2];

время свободного развития пожара – временной промежуток от момента возникновения горения до начала подачи первых приборов тушения на его ликвидацию [А.2];

время свободного развития пожара – интервал времени от момента возникновения пожара до момента подачи огнетушащих веществ [А.3];

гарнизон пожарной охраны – совокупность расположенных на определенной территории органов управления, подразделений и организаций независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности, к функциям которых отнесены профилактика и тушение пожаров, а также проведение аварийно-спасательных работ [382];

дежурная смена – личный состав подразделения пожарной охраны, осуществляющий дежурство [314];

жертва пожара – погибший человек, смерть которого находится в прямой причинной связи с пожаром [262];

интенсивность подачи огнетушащего вещества – количество огнетушащего вещества, подаваемого на единицу площади (объема) в единицу времени [А.3];

караул – основное тактическое подразделение пожарной охраны в составе двух и более расчетов (отделений), способное самостоятельно решать задачи по тушению пожара и проведению АСР [314];

карточка тушения пожара – документ, содержащий основные данные об организации (объекте) и путях эвакуации, позволяющий РТП быстро и правильно организовать действия подразделений пожарной охраны по спасанию людей и тушению пожара [208];

класс функциональной пожарной опасности зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков – классификационная характеристика зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков, определяемая назначением и особенностями эксплуатации указанных зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков, в том числе особенностями осуществления в указанных зданиях, сооружениях, строениях и пожарных отсеках технологических процессов производства [186];

компьютерный план тушения пожара – программное средство, обеспечивающее эффективное выполнение функций управления деятельностью пожарных подразделений по организации тушения пожаров в организации, построенное на основе использования теории управления, математических

методов и информационных моделей, а также высокопроизводительных средств сбора, фиксации, передачи, хранения и переработки информации [208];

критическая продолжительность пожара – время, в течение которого достигается предельно допустимое значение опасного фактора пожара в установленном режиме его изменения [185];

крупный пожар – пожар с убытком в 3420 минимальных размеров оплаты труда и более, с крупным материальным ущербом: 2007 г. с 01.01 по 31.08 – 3762 тыс. руб. и более; 2007 г. с 01.09 по 31.12 – 7866 тыс. руб. и более; 2008 г. с 01.01 по 31.12 – 7866 тыс. руб. и более; 2009 г. с 01.01 по 31.12 – 14809 тыс. руб. и более; 2010 г. с 01.01 по 31.12 – 14809 тыс. руб. и более; 2011 г. с 01.01 по 31.05 – 14809 тыс. руб. и более; 2011 г. с 01.06 по 31.12 – 15769 тыс. руб. и более, с групповой гибелью 5 и более человек, травмированием 10 и более человек, в том числе и сотрудников (работников) пожарной охраны [166, 167];

ликвидация пожара – стадия (этап) тушения пожара, на которой прекращено горение и устранены условия для его самопроизвольного возникновения [185];

линейная скорость распространения горения (скорость распространения пламени) – расстояние, пройденное фронтом пламени в единицу времени по горючей газопаровоздушной смеси в данном направлении [А.4];

локализация пожара – действия, направленные на предотвращение возможности дальнейшего распространения горения и создание условий для его ликвидации имеющимися силами и средствами [382];

номер (ранг) пожара – условный признак сложности пожара, определяющий в расписании выезда необходимый состав сил и средств гарнизона пожарной охраны, привлекаемый к тушению пожара [314];

нормативная интенсивность подачи огнетушащего вещества (пены) – интенсивность подачи огнетушащего вещества (пены), соответствующая требованиям нормативной документации [А.3];

нормативные документы по пожарной безопасности – национальные стандарты, своды правил, содержащие требования пожарной безопасности (нормы и правила), правила пожарной безопасности, а также действовавшие до

дня вступления в силу соответствующих технических регламентов нормы пожарной безопасности, стандарты, инструкции и иные документы, содержащие требования пожарной безопасности [382];

общий расход – это весовое или объемное количество огнетушащего средства, необходимого на весь период прекращения горения и защиты негорящих объектов с учетом запаса (резерва) [203];

объект защиты – здание, сооружение, помещение, процесс, технологическая установка, вещество, материал, транспортное средство, изделия, а также их элементы и совокупности. В состав объекта защиты входит и человек [185];

огнетушащее вещество – вещество, обладающее физико-химическими свойствами, позволяющими создать условия для прекращения горения [262];

опасный фактор пожара – фактор пожара, воздействие которого приводит к травме, отравлению или гибели человека, а также к материальному ущербу [262];

оперативно-тактические особенности района выезда – совокупность условий, которые могут способствовать или препятствовать возникновению, развитию и тушению пожара, а также определить его возможные масштабы и последствия [А.1];

оперативно-тактические действия – предусмотренное нормативными и распорядительными документами организованное применение сил и средств пожарной охраны для выполнения основной задачи;

оперативный штаб пожаротушения – временно сформированная нештатная структура управления действиями на пожаре [205];

опорный пункт тушения пожаров – специально оборудованное место (сооружение), предназначенное для размещения действующего резерва пожарной техники, огнетушащих веществ и эксплуатационных материалов, согласно нормам типовой табельной положенности для опорных пунктов тушения пожаров [А.1];

организация тушения пожаров – совокупность оперативно-тактических и инженерно-технических мероприятий (за исключением мероприятий по обеспечению первичных мер пожарной безопасности), направленных на спасение

людей и имущества от опасных факторов пожара, ликвидацию пожаров и проведение аварийно-спасательных работ [382];

ординарный пожар – пожар обыкновенный, часто повторяющийся, ничем не выдающийся, достаточно заурядный с точки зрения участника тушения пожара и (или) исследователя, принявший площадь до 5 м<sup>2</sup> [364];

основная задача – спасание людей в случае угрозы их жизни, здоровью, достижение локализации и ликвидации пожара в кратчайшие сроки [205];

очаг пожара – место первоначального возникновения пожара [262];

первичное тактическое подразделение (отделение) – подразделение, способное самостоятельно решать отдельные задачи по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров [205];

периметр пожара – длина внешней границы площади пожара [278];

план пожаротушения объекта – документ, устанавливающий основные вопросы организации тушения развившегося пожара на объекте [262];

план тушения пожара – документ, прогнозирующий обстановку и устанавливающий основные вопросы организации тушения развившегося пожара в организации (на объекте) [208];

площадь пожара – площадь проекции зоны горения на горизонтальную (вертикальную) плоскость [84];

площадь тушения – это часть площади (или вся площадь) пожара в направлении распространения огня, на которую реально может быть подано огнетушащее вещество [203];

пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства [382];

пожарная безопасность – состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров [382];

пожарная охрана – совокупность созданных в установленном порядке органов управления, подразделений и организаций, предназначенных для организации профилактики пожаров, их тушения и проведения возложенных на них аварийно-спасательных работ [382];

пожарное депо – объект пожарной охраны, в котором расположены помещения для хранения пожарной техники и ее технического обслуживания, служебные помещения для размещения личного состава, помещение для приема извещений о пожаре, технические и вспомогательные помещения, необходимые для выполнения задач, возложенных на пожарную охрану [186];

пожарный ствол – устройство, устанавливаемое на конце напорных линий для формирования и направления струи огнетушащего средства при тушении пожаров [А.5];

пожаро-оперативное обслуживание – функция пожарных подразделений, состоящая в спасении людей и ликвидации пожаров и загораний, а также в поддержании пожарной техники в состоянии постоянной готовности [262];

позиция на тушение пожара – место расположения сил и средств пожарной охраны, осуществляющих непосредственное ведение оперативно-тактических действий по спасению людей и имущества, подаче огнетушащих веществ, выполнению специальных работ на пожаре [314];

предельно допустимое значение опасного фактора пожара – значение опасного фактора, воздействие которого на человека в течение критической продолжительности пожара не приводит к травме, заболеванию или отклонению в состоянии здоровья в течение нормативно установленного времени, а воздействие на материальные ценности не приводит к потере устойчивости объекта при пожаре [185];

продолжительность ликвидации горения – это временной промежуток от момента введения первого ствола на тушение до полного прекращения горения [278];

продолжительность ликвидации пожара – временной промежуток от локализации пожара до момента полного прекращения горения [278];

продолжительность локализации пожара – временной промежуток от момента введения первого ствола до наступления момента локализации пожара [203];

продолжительность пожара – время с момента его возникновения до полного прекращения горения [203];

противопожарное водоснабжение – комплекс инженерно-технических сооружений, предназначенных для забора и транспортирования воды, хранения ее запасов и использования их для пожаротушения [262];

разведка места пожара – совокупность мероприятий, проводимых в целях сбора информации о пожаре для оценки обстановки и принятия решений по организации действий по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожара. Разведка ведется непрерывно с момента сообщения о пожаре и до завершения его ликвидации [205];

развертывание сил и средств – действия личного состава гарнизона пожарной охраны по приведению прибывших к месту вызова пожарных и спасательных автомобилей в состояние готовности к выполнению основной задачи при тушении пожаров и проведении АСР [314];

развитие пожара – увеличение зоны горения и (или) вероятности воздействия опасных факторов пожара [262];

район выезда – зона, обслуживаемая подразделением пожарной охраны [314];

расписание выезда – установленный порядок (количество и последовательность) привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, гарнизонов пожарной охраны, исходя из оперативно-тактической характеристики дислоцированных на территории муниципального образования подразделений пожарной охраны и аварийно-спасательных формирований, оперативно-тактических особенностей территории муниципального образования, в том числе отдельных объектов и сооружений, расположенных на его территории [А.6];

решающее направление – направление действий, в соответствии с которым использование сил и средств подразделений в данный момент времени обеспечивает наиболее эффективные условия для ее решения [205];

руководитель тушения пожара – старшее оперативное должностное лицо пожарной охраны (прошедшее соответствующее обучение и допущенное в установленном порядке к руководству тушением пожара) [205];

сектор тушения пожара – часть территории на месте пожара, на которой сосредоточены силы и средства гарнизона пожарной охраны, объединенные поставленной задачей и единым руководством, создается на пожаре при наличии трех и более участков тушения пожара по решению руководителя тушения пожара [205, 314];

силы и средства гарнизона пожарной охраны – личный состав гарнизона пожарной охраны, пожарная и спасательная техника, средства связи и управления, огнетушащие вещества и иные технические средства, находящиеся на вооружении гарнизона пожарной охраны [314];

система обеспечения пожарной безопасности – совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на борьбу с пожарами [382];

спасание людей при пожаре – действия по эвакуации людей, которые не могут самостоятельно покинуть зону, где имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара [262];

специальные работы – вскрытие и разборка конструкций; подъем (спуск) на высоту; организация связи; освещение места пожара (вызова); восстановление работоспособности технических средств [205];

ствольщик – пожарный, работающий при брандспойте [182] или участник тушения пожара, выполняющий поставленную задачу по подаче огнетушащих веществ на позиции [205];

тактические возможности пожарного подразделения – это его способность выполнять максимальный объем работ на пожаре по спасанию людей, эвакуации имущества и тушению пожара за определенный промежуток времени [378];

требуемый удельный расход ОТВ – расход ОТВ на расчетный параметр пожара за все время тушения, необходимый и достаточный для ликвидации пожара [203];



тушение пожара – процесс воздействия сил и средств, а также использование методов и приемов для ликвидации пожара [262];

тыл на пожаре – часть территории, на которой сосредоточены силы и средства гарнизона пожарной охраны, обеспечивающие действия по тушению пожара [314];

управление действиями на пожаре – целенаправленная деятельность должностных лиц гарнизона пожарной охраны по руководству участниками тушения пожара и проведения АСР [314];

участник тушения пожара и проведения АСР – личный состав подразделений и органов управления гарнизона пожарной охраны, принимающий непосредственное участие в тушении пожара и проведении АСР [205];

участок тушения пожара – часть территории на месте пожара, на которой сосредоточены силы и средства гарнизона пожарной охраны, объединенные поставленной задачей и единым руководством [314];

ущерб от пожара – жертвы пожара и материальные потери, непосредственно связанные с пожаром [262];

фактический расход огнетушащих средств – это весовое или объемное количество огнетушащего средства, фактически продаваемого в единицу времени на величину соответствующего параметра тушения пожара или защиты объекта, которому угрожает опасность [203];

фронт пожара – часть периметра (или периметр) пожара, в направлении которого происходит наиболее интенсивное распространение горения [278];

цель выезда подразделения пожарной охраны на пожар – условие тушения пожара, при выполнении которого обеспечивается предотвращение соответствующего нежелательного события на пожаре [175];

эвакуация людей при пожаре – вынужденный процесс движения людей из зоны, где имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара [262].

### Список литературы приложения А

- А.1. Организационно-методические указания по тактической подготовке начальствующего состава ФПС МЧС России: письмо МЧС России от 28.06.2007 г. № 43-1889-18.
- А.2. Протокол селекторного совещания МЧС России от 04.12.2006 г. № 42 // Письмо МЧС России от 05.02.2007 г. № 43-355-18.
- А.3. Рекомендации по тушению полярных жидкостей в резервуарах. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2007.
- А.4. Российская энциклопедия по охране труда: в 3 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2007. – 400 с.
- А.5. ГОСТ 12.2.047-86 (СТ СЭВ 5236-85). ССБТ. Пожарная техника. Термины и определения.
- А.6. Об утверждении Порядка привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, гарнизонов пожарной охраны для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России № 240 от 5 мая 2008 г. (с изменениями и дополнениями).

**Зависимость глубины тушения пожарного ствола от типа здания  
и сооружения**

Здания и сооружения	Интенсивность подачи воды на тушение пожаров, $л/(м^2 \cdot с)$	Глубина тушения, <i>м</i>
1	2	3
Административные здания: I-III степени огнестойкости	0,06	6–10
IV степени огнестойкости	0,10	5–10
V степени огнестойкости	0,15	4–10
подвальные помещения	0,10	5–10
чердачные помещения	0,10	5–10
Ангары, гаражи, мастерские, трамвайные и троллейбусные депо	0,20	4–9
Больницы	0,10	4–10
Жилые дома и подсобные постройки: I-III степени огнестойкости	0,06	6–10
IV степени огнестойкости	0,10	5–10
V степени огнестойкости	0,15	4–10
подвальные помещения	0,15	4–10
чердачные помещения	0,15	4–10
Животноводческие здания: I-III степени огнестойкости	0,10	5–10
IV степени огнестойкости	0,15	4–10
V степени огнестойкости	0,20	4–9
Культурно-зрелищные учреждения (театры, кинотеатры, клубы, дворцы культуры): сцена	0,20	4–9
зрительный зал	0,15	4–10
подсобные помещения	0,15	4–10
Мельницы и элеваторы	0,14	4–10
Производственные здания: участки и цехи с категорией производства в зданиях: I-III степени огнестойкости	0,15	4–10
IV степени огнестойкости	0,20	4–9
IV-V степени огнестойкости	0,25	4–8
окрасочные цехи	0,20	4–9
подвальные помещения	0,30	3–7
чердачные помещения	0,15	4–10
Стораемые покрытия больших площадей в производственных зданиях: при тушении снизу внутри здания	0,15	4–10
при тушении снаружи со стороны покрытия	0,08	6–10
при тушении снаружи при развившемся пожаре	0,15	4–10
Строящиеся здания	0,10	4–10
Торговые предприятия и склады товарно-материальных ценностей	0,20	4–9
Холодильники	0,10	4–10

## продолжение таблицы приложения Б

1	2	3
Электростанции и подстанции: кабельные туннели и полуэтажи (подача тонкораспыленной воды)	0,20	4-9
машинные залы и котельные отделения	0,20	4-9
галереи топливоподачи	0,10	5-10
трансформаторы, реакторы, масляные выключатели (подача тонкораспыленной воды)	0,10	5-10
2. Транспортные средства		
Автомобили, трамваи, троллейбусы на открытых стоянках	0,10	4-10
Самолёты и вертолёты:	0,08	6-10
внутренняя отделка (при подаче тонкораспыленной воды)	0,25	4-8
конструкции с наличием магниевых сплавов корпус	0,15	4-10
Суда (сухогрузные и пассажирские):	0,20	4-9
надстройки (пожары внутренние и наружные) при подаче компактных и тонкораспылённых струй трюмы	0,20	4-9
3. Твёрдые материалы		
Бумага разрыхлённая	0,30	
Древесина:		
балансовая при влажности, %:		
40-50	0,20	4-9
менее 40	0,50	1-5
пиломатериалы в штабелях в пределах одной группы при влажности, %		
8-14	0,45	1-5
20-30	0,30	3-7
свыше 30	0,20	4-9
круглый лес в штабелях в пределах одной группы	0,35	3-7
щепа в кучах с влажностью 30-50 %	0,10	5-10
Каучук (натуральный или искусственный), резина и резинотехнические изделия	0,30	3-7
Льнокостра в отвалах (подача тонкораспылённой воды)	0,20	4-9
Льнотреста (скирды, тюки)	0,25	4-8
Пластмассы:		
термопласты	0,14	4-10
реактопласты	0,10	5-10
полимерные материалы и изделия из них	0,20	4-9
текстолит, карболит, отходы пластмасс, триацетатная плёнка	0,30	3-7
Торф на фрезерных полях влажностью 15-30 % (при удельном расходе воды 110-140 л/м и времени тушения 20 мин)	0,10	5-10
Хлопок и другие волокнистые материалы:		
открытые склады	0,20	4-9
закрытые склады	0,30	3-7
Целлулоид и изделия из него	0,40	1-6
Ядохимикаты и удобрения	0,20	4-9
4. Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости (при тушении тонкораспылённой водой)		
Ацетон	0,40	1-6
Нефтепродукты в емкостях с температурой вспышки		
ниже 28 °С	0,40	1-6
28-60 °С	0,30	3-7
более 60 °С	0,20	4-9

## окончание таблицы приложения Б

1	2	3
Горючая жидкость, разлившаяся на поверхности площадки, в траншеях и технологических лотках	0,20	4–9
Термоизоляция, пропитанная нефтепродуктами	0,20	4–9
Спирты (этиловый, метиловый, пропиловый, бутиловый и т. д.) на складах и спиртзаводах	0,40	1–6
Нефть и конденсат вокруг скважины фонтана	0,20	4–9

**Динамическая дискретная модель работы пожарного по прокладке рукавной линии как элемент подсети, моделирующей исходное размещение и процесс перемещения сил и средств**

Одним из элементов подсети, моделирующих исходное размещение и процесс перемещения сил и средств на (между) позициях по тушению пожара, является развёртывание пожарного оборудования, поэтому рассмотрим динамическую дискретную модель работы пожарного по прокладке рукавной линии, рис. П.В.1. Рассмотрим пример построения сети Петри действий пожарного, который проводит развёртывание с подачей пожарного ствола на 40 м.

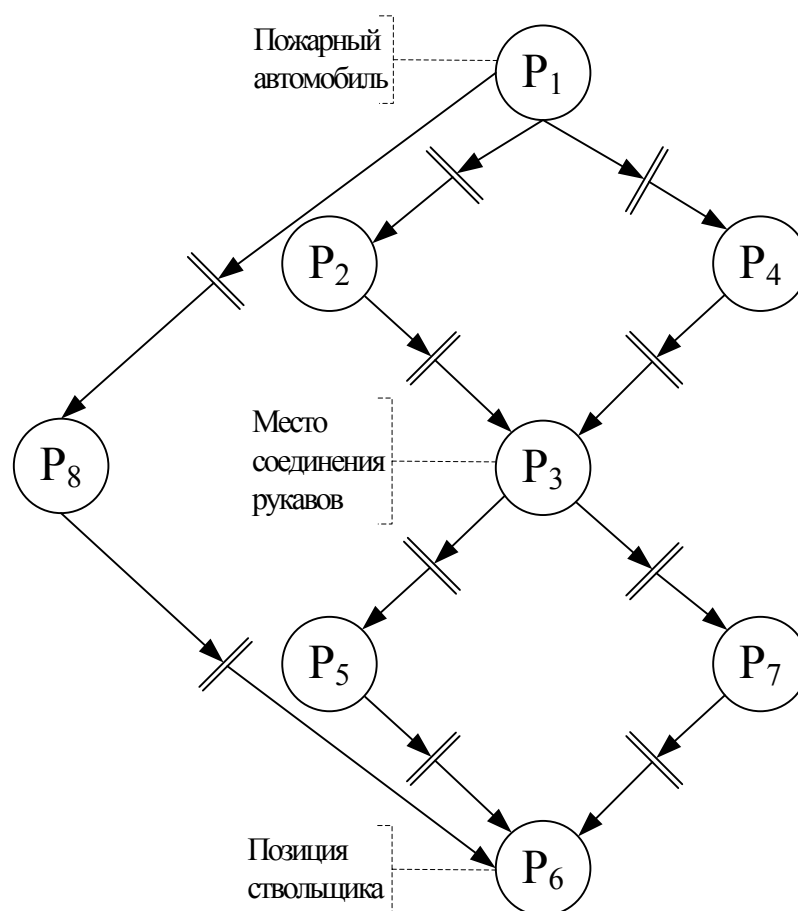


Рисунок П.В.1 – Графическая модель работы пожарного по прокладке рукавной линии на основе сети Петри

Пожарный выполняет следующие действия: извлекает первый рукав из отсека и раскатывает его; извлекает второй рукав и перемещается с ним на место соединения с первым рукавом, где раскатывает второй рукав и соединяет их; перемещается на намеченную позицию ствольщика и подсоединяет пожарный ствол.

Опишем позиции пожарного  $P_i$  и позиции перехода  $t_{ij}$ :

$P_1, P_6$  – позиция пожарного соответственно у ПА (при извлечении и раскатки напорного рукава) и на позиции ствольщика;

$P_3$  – позиция пожарного у места соединения напорных рукавов;

$P_2, P_5$  – позиции, моделирующие время раскатки рукавов;

$P_4, P_7$  – позиции, моделирующие время перемещения пожарного без напорного рукава и с рукавом соответственно;

$P_8$  – позиция, моделирующая время заполнения рукавной линии водой;

$t_{12}, t_{23}; t_{14}, t_{43}$  – переход с позиции  $P_1$  на позицию  $P_3$ ;

$t_{37}, t_{76}; t_{35}, t_{56}$  – переход с позиции  $P_3$  на позицию  $P_6$ ;

$t_{18}, t_{86}$  – переход с позиции  $P_1$  на позицию  $P_6$ .

На рисунках П.В.2–П.В.10 представлены этапы имитационного процесса.

Для приведённого примера предложена следующая маркировка:

- – первый рукав, + – второй рукав, ● – ручной ствол, □ – огнетушащее вещество.

Если пожарный находится на позиции  $P_1$  и он раскатывает рукав, то возбуждаются и срабатывают переходы  $t_{12}$  и  $t_{23}$ . Если пожарный с рукавом перемещается к месту соединения двух напорных рукавов  $P_3$ , соединяет их, раскатывает второй рукав и перемещается на позицию ствольщика, где подсоединяет ствол к рукаву, то сначала возбуждается и срабатывает переход  $t_4$ . Затем возбуждается и срабатывает переход  $t_7$ , пожарный перемещается без напорного рукава с места соединения рукавов на позицию ствольщика, а маркер переходит с позиции  $P_3$  на позицию  $P_6$ . После этого срабатывает переход  $t_8$  и огнетушащее вещество заполняет рукавную линию.

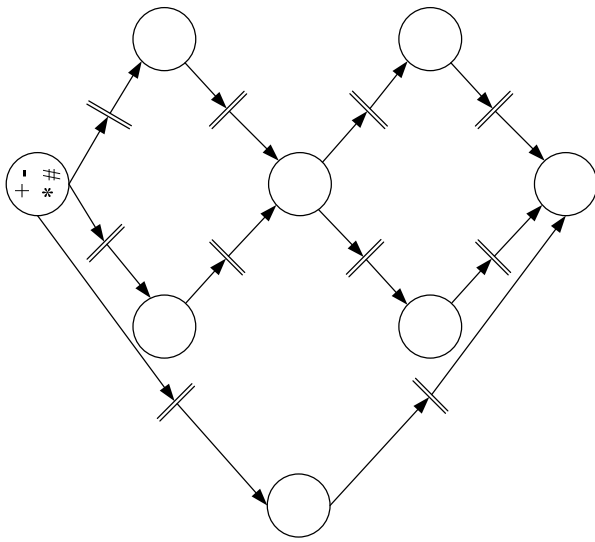


Рисунок П.В.2 – Сеанс имитации, первый шаг

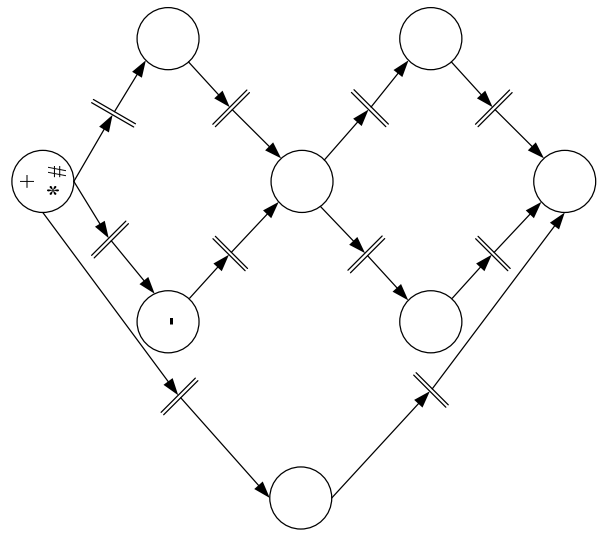


Рисунок П.В.3 – Сеанс имитации, второй шаг

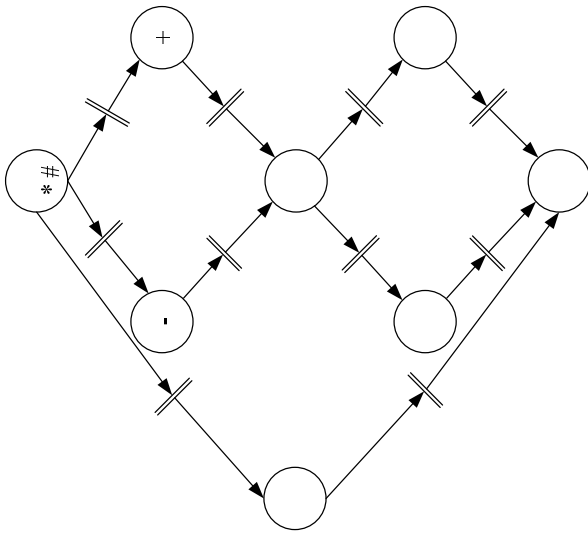


Рисунок П.В.4 – Сеанс имитации, третий шаг

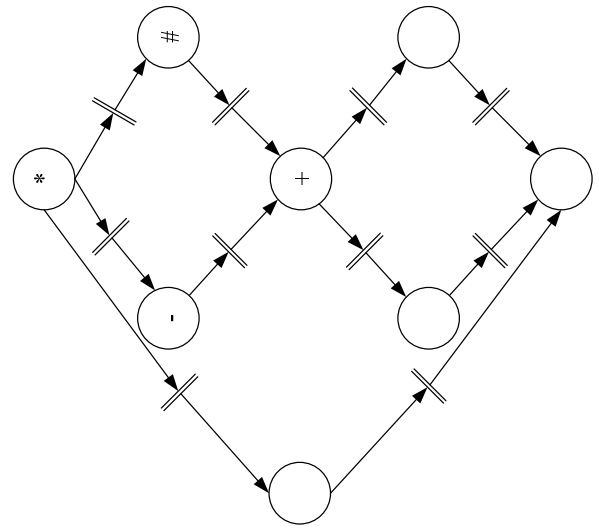


Рисунок П.В.5 – Сеанс имитации, четвёртый шаг

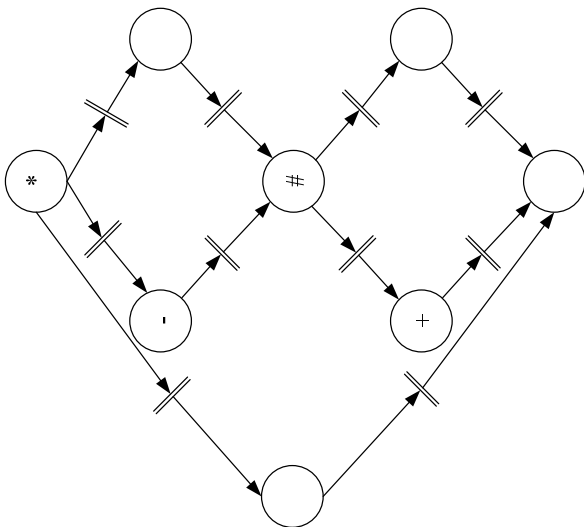


Рисунок П.В.6 – Сеанс имитации, пятый шаг

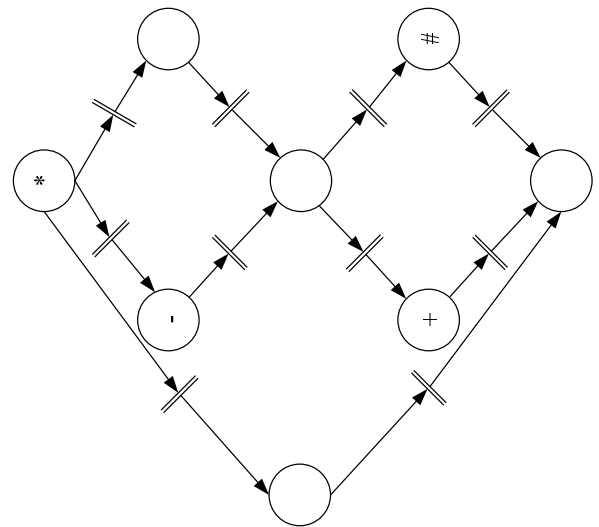


Рисунок П.В.7 – Сеанс имитации, шестой шаг



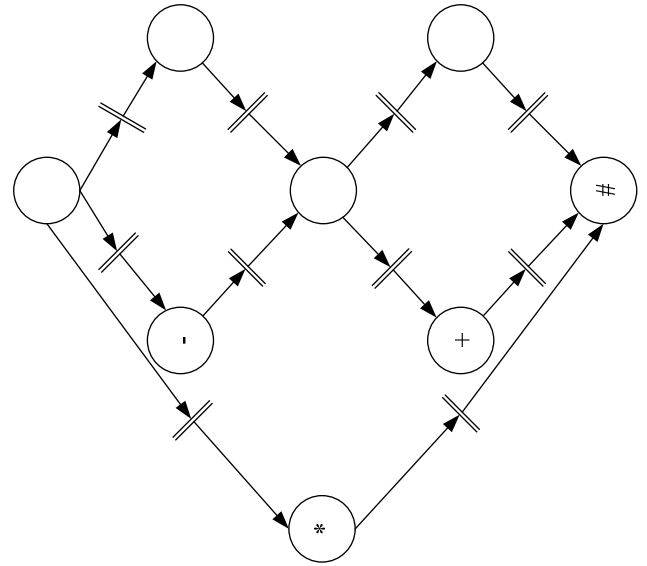
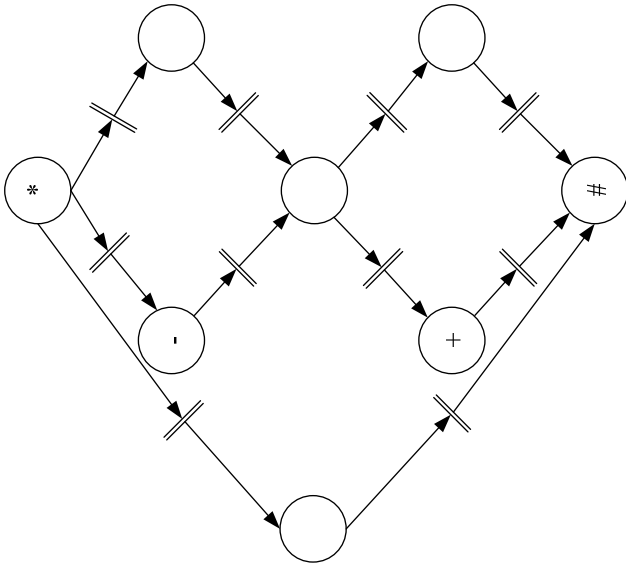


Рисунок П.В.8 – Сеанс имитации, седьмой шаг

Рисунок П.В.9– Сеанс имитации, восьмой шаг

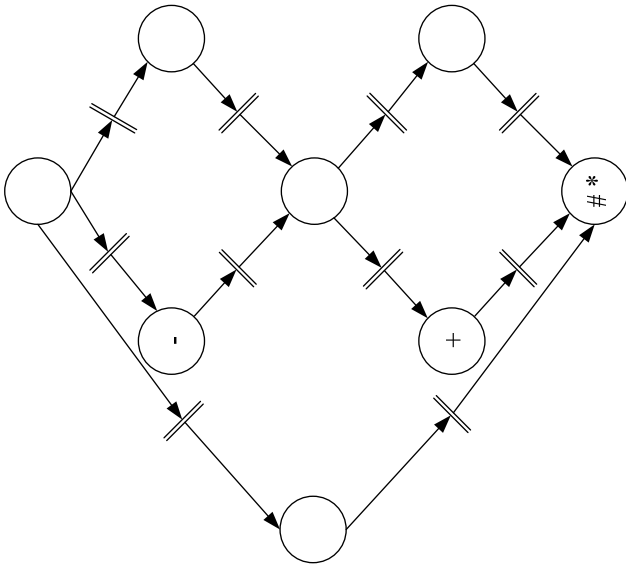


Рисунок П.В.10 – Сеанс имитации, девятый шаг

## Модель управления силами и средствами при тушении пожара в виде сети Петри на примере пожара

Моделирование управления ОТД ПП при тушении пожара в здании для оценки действий подразделений (рис. П.Г.1).

В этой сети управляющие позиции ( $P_{y1}, \dots, P_{y15}$ ) и переходы ( $P_{t1}, \dots, P_{t14}$ ), а также позиции  $P_{ri1}$  и  $P_{ri2}$ , моделирующие информационные ресурсы:

$P_{t1}$  – силы и средства ПП прибыли на место пожара;

$P_{y1}, P_{y1.1}$  – ОТД соответственно «разведка пожара» и «предварительное развертывание сил и средств»;

$P_{t1.1}$  – силы и средства ПП провели разведку пожара;

$P_{ri1}$  – информационный ресурс, образованный в ходе разведки пожара и потребляемый ресурсами ПП;

$P_{t2}$  – РТП определил решающее направление действий по тушению пожара;

$P_{y2}, P_{y2.1}, P_{y2.2}, P_{y2.3}$  – ОТД соответственно «спасание людей», «спасание с этажа, где произошел пожар», «спасание с этажа ниже пожара», «спасание с этажа выше пожара»;

$P_{y3}$  – ОТД «предотвращение взрыва и обрушения конструкций»;

$P_{t3}$  – силы и средства ПП установили очаг пожара, месторасположения взрывоопасных веществ и угрожающих конструкций;

$P_{y4}$  – ОТД «ликвидация горения на участках объекта пожара, на которых горение может нанести наибольший ущерб»;

$P_{y5}$  – ОТД «ликвидация очагов наиболее интенсивного горения»;

$P_{t2.2}$  – силы и средства ПП установили места нахождения пострадавших;

$P_{y6}$  – ОТД «защита рядом стоящих объектов»;

$P_{t4}$  – силы и средства ПП завершили спасание пострадавших, угроза жизни людей ликвидирована;

$P_{y7}$  – ОТД «действия сил и средств ПП по обеспечению предотвращения взрыва или обрушения строительных конструкций»;

$P_{t5}$  – силы и средства ПП установили расположение очага пожара и места наиболее интенсивного горения;

$P_{t6}$  – силы и средства ПП установили объекты, которым угрожает пожар;

$P_{t7}$  – силы и средства ПП выполнили задачу по предотвращению взрыва;

$P_{y8}$ ,  $P_{y8.1}$ ,  $P_{y8.2}$  – ОТД соответственно «тушение пожара в помещениях горящего этажа», «защита смежных помещений этажа», «защита вышерасположенного этажа»;

$P_{t8}$  – силы и средства ПП ликвидировали горение в помещениях горящего этажа;

$P_{y9}$  – ОТД «защита негорящих зданий (сооружений)»;

$P_{y10}$  – ОТД «локализация пожара»;

$P_{y11}$  – ОТД «ликвидация открытого горения»;

$P_{t9}$  – распространение пожара предотвращено;

$P_{t10}$  – открытое горение ликвидировано;

$P_{t11}$  – силы и средства ПП обеспечили защиту негорящих зданий (сооружений);

$P_{y12}$  – ОТД «сбор ПТО и возвращение к месту дислокации».

Эта сеть позволяет учитывать временные показатели процесса управления пожаротушения мобильными средствами путем задания времени срабатывания управляющего перехода ( $\tau^s$ ).

Например, время срабатывания переходов ( $P_t$ ) определяется исходя из количества маркеров, поступивших в позиции ( $P_y$ ).

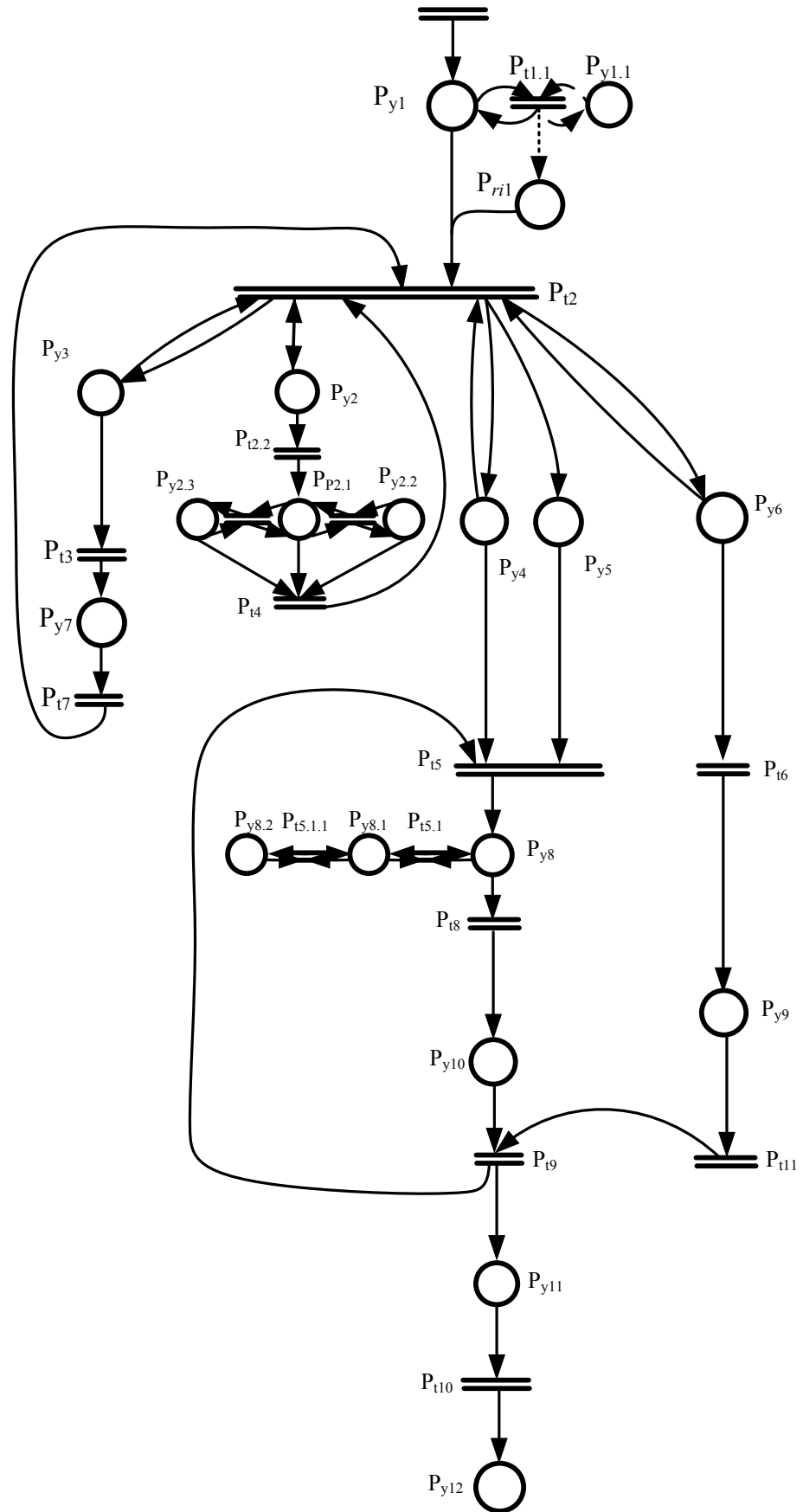


Рисунок П.Г.1– Сеть Петри, отображающая процесс создания позиций по тушению при тушении пожаров в высотном здании

По приведённому пожару видно, что вплоть до поступления маркеров в  $P_{y10}$  проводились ОТД в  $P_{y2}$ . Лишь при отсутствии маркеров в данной позиции срабатывает переход  $P_{t8}$ .

Выдержки из описания пожара в жилом здании, произошедшем в 2016 году  
Общие данные.

Объектом пожара является квартира, расположенная в 3-м подъезде на 7-м этаже 17-этажного жилого дома.

Здание построено и введено в эксплуатацию в соответствии с разрешением на ввод объекта в эксплуатацию, подписанным в 2011 году.

Объект представляет собой многоэтажный жилой дом со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и пристроенной стоянкой автотранспорта закрытого типа. Отопление центральное водяное, освещение электрическое, II степени огнестойкости. Фундамент дома – железобетонные сваи, стены – железобетонные панели, облицованные фасадной плитой с утеплителем минватой; перекрытие – железобетонные плиты; материалы кровли – рулонная по железобетонным плитам.

Ход тушения, руководство тушением пожара.

По линии ЕДДС на ЦППС местного пожарно-спасательного гарнизона поступило сообщение о загорании балкона на седьмом этаже 17-и этажного жилого дома, по адресу: N.

В 05 часов 04 минуты в соответствии с «Расписанием выездов подразделений гарнизона пожарной охраны» и его положений была осуществлена высылка на пожар сил и средств по вызову № 1, дополнительно были направлены 2 отделения на АЦ-40 (411 ПЧ, 641 ПЧ), АЛ-30 (411 ПЧ). Всего 5 АЦ, 2 АЛ, 1 АР, 1 АШ. Район выезда 1181 ПЧ. Расстояние от 1181 ПЧ до места пожара – 2 км.

В 05 часов 08 минут начальник караула 1181 ПЧ (РТП-1) в пути следования наблюдал свечение и густой черный дым с балкона жилого дома.

В 05 часов 10 минут к месту пожара прибыл караул 1181 ПЧ в составе 2-х отделений на АЦ-40 и АЛ-50, наблюдал открытое горение балкона 7-го этажа, о чём передал на ЦППС.

РТП-1 установил границы территории ведения действий по тушению пожара, принял решение об использовании звеньев ГДЗС. По результатам разведки РТП установил, что:

- происходит горение балкона на 7-м этаже, есть угроза распространения на вышележащие этажи;
- внутри от 4-го до 17-го этажей плотное задымление лестничной клетки и подъезда;
- установка АЛ с тыльной части дома невозможна.

В 05 часов 10 минут информация РТП-1 на ЦППС – организована разведка внутри здания, подан 1 ствол «Б» звеном ГДЗС (второе отделение 1181 ПЧ) со стороны подъезда, для спасания и эвакуации людей с 7-го и 8-го этажей с одновременным поиском очага пожара.

В 05 часов 13 минут информация РТП-1 на ПСЧ – проникает в подъезд на спасение людей.

В 05 часов 15 минут к месту пожара прибыли два отделения 411 ПЧ на АЦ и АЛ-30.

В 05 часов 16 минут на 7-м этаже обнаружен пострадавший, который 1-м отделением 1181 ПЧ был вынесен на третий этаж, где ему проводились реанимационные мероприятия.

В 05 часов 20 минут по информации РТП-1 – личным составом 2-го и 3-го отделения 41 ПЧ обнаружены двое человек на 10-м этаже, проводятся реанимационные мероприятия. Над горящей квартирой люди просят о помощи.

В 05 часов 20 минут к месту пожара прибыла дежурная смена СПТ в составе 3 человек. Приняв доклад от РТП-1, проводит визуальную разведку с тыльной стороны дома и лично в СИЗОД разведку внутри подъезда.

В 05 часов 25 минут РТП совместно с 1-м отделением 1181 ПЧ вывели с лестничных площадок и лифтовых холлов 10 человек.

В 05 часов 25 минут на пожар прибывает второе отделение 641 ПЧ на АЦ во главе с командиром отделения.

В 05 часов 28 минут РТП-2, проведя полную разведку, установил:

- происходит горение балкона и квартиры на 7-м этаже и частично балкона на 8-м этаже, есть угроза распространения на вышележащие этажи;
- внутри от 4-го до 17-го этажа плотное задымление лестничной клетки и подъезда;
- люди с балконов на этажах с обеих сторон здания просят о помощи;
- установка АЛ-30 сильно затруднена в виду наличия архитектурных ограждений со стороны улицы, во дворе невозможна, установка АЛ-50 невозможна;
- система дымоудаления находится в нерабочем состоянии, оконные рамы подъезда глухого исполнения без возможности открытия.

В 05 часов 28 минут РТП-2 объявил вызов № 2, определил границы ведения действий по тушению пожара, определил решающим направлением спасение людей. Отдает распоряжения:

- начальнику караула 1181 ПЧ продолжить работы по поиску и эвакуации людей в подъезде на 7-м и 8-м этажах с одновременной проверкой всех помещений, завести ствол в горящую квартиру со вскрытием входной двери (при необходимости), приданные силы 1-е и 2-е отделение 1181 ПЧ.
- водителю АЛ-30 (411 ПЧ) (невзирая на возможность повреждения автомобиля) установить на пешеходном тротуаре среди ограждений и снежных заносов со стороны улицы N, командиру второго отделения 641 ПЧ звеном ГДЗС подать ствол «Б» по установленной АЛ на тушение пожара балконов 7-го и 8-го этажей;
- водителю АД-50 определить место и установить лестницу для спасения нуждающихся.

В 05 часов 30 минут с 4-го, 5-го, 6-го этажей подъезда на свежий воздух эвакуировано 16 человек, РТП-2 передает информацию на ЦППС о создании 2 участков тушения пожара:

– УТП-1. Задача: тушение пожара балконов 7-го и 8-го этажей, спасение людей с одновременным тушением пожара и предотвращение паники с тыльной стороны дома от улицы N. Приданные силы: 2-е отделение 641 ПЧ, АЛ-30 411 ПЧ, АЛ-50 1181 ПЧ.

– УТП-2. Задача: эвакуация, спасение и поиск людей на всех 17-ти этажах подъезда жилого дома, тушение пожара квартиры на 7-м этаже. Приданные силы: 1-е и 2-е отделение 1181 ПЧ, 1-е и 2-е отделение 411 ПЧ, 2-е отделение 1341 ПЧ (по их прибытию), 2-е отделение 491 ПЧ (по их прибытию).

В 05 часов 35 минут РТП-2 ставит прибывшему на пожар 2-му отделению 1341 ПЧ задачу – звеном ГДЗС проникнуть в квартиру над горящей, на 8-м этаже и не допустить распространение горения с балкона в квартиру, с одновременной проверкой помещения квартиры и лифтовой площадки.

В 05 часов 36 минут информация РТП-2 на ЦППС – отделениями (1 и 2 1181 ПЧ, 2 и 3 411 ПЧ) эвакуировано десять человек из квартир с 8, 9, 10 этажей.

В 05 часов 40 минут на пожар прибывает 2-е отделение 491 ПЧ во главе с командиром отделения, РТП-2 ставит ему задачу:

– звеном ГДЗС провести работы по дымоудалению из подъезда с поиском и эвакуацией людей с 12, 13, 14 этажей. Проводит передислокацию звеньев 1181 ПЧ (1 и 2 отделение) после замены дыхательных аппаратов и окончанию работ по поиску и эвакуации пострадавших на 7-м и 8-м этаже – для проверки 15, 16 и 17 этажа.

В 05 часов 41 минуту РТП-2 от ЦППС поступила информация о нахождении людей в квартирах на 10-м этаже, 11-м этаже и на 7-м этаже, которым необходима эвакуация.

В 05 часов 42 минуты РТП-2 передислоцирует 2 и 3 отделение ПЧ 141 на проверку данных квартир.

В 05 часов 42 минуты объявлена локализация.

В 05 часов 44 минуты – передислоцированными отделениями с 12-го по 15-й этаж из квартир были выведены на свежий воздух 13 человек.

В 05 часов 45 минут объявлена ликвидация открытого горения.



В 05 часов 47 минут – информация РТП-2 на ЦППС – при тушении пожара подано 2 ствола «Б», работало 8 звеньев ГДЗС.

Путём вскрытия двери, где произошел пожар на 7-м этаже мотопилой, произведена эвакуация 2 жильцов. Также выведены 3 человека из квартиры на 11 этаже и 3 человека из квартиры на 10 этаже, спасено 3 человека с 16 и 17-го этажей.

В процессе выполнения работ по дымоудалению и проверке этажей непрерывно проводилась эвакуация людей, эвакуировано 93 человека, из них 63 человека (из которых 15 детей) спасено личным составом пожарно-спасательных подразделений, 5 человек пострадало, из них 2-е погибло.

В тушении пожара принимали участие (рис. П.Г.2): 7 АЦ-40, 1 АЛ-30, 1 АРО, 1 АШ-5, 1 АСО-20, 1 АЛ-50, 41 человек личного состава. На тушение пожара подано 2 ствола «Б», 8 звеньев ГДЗС.

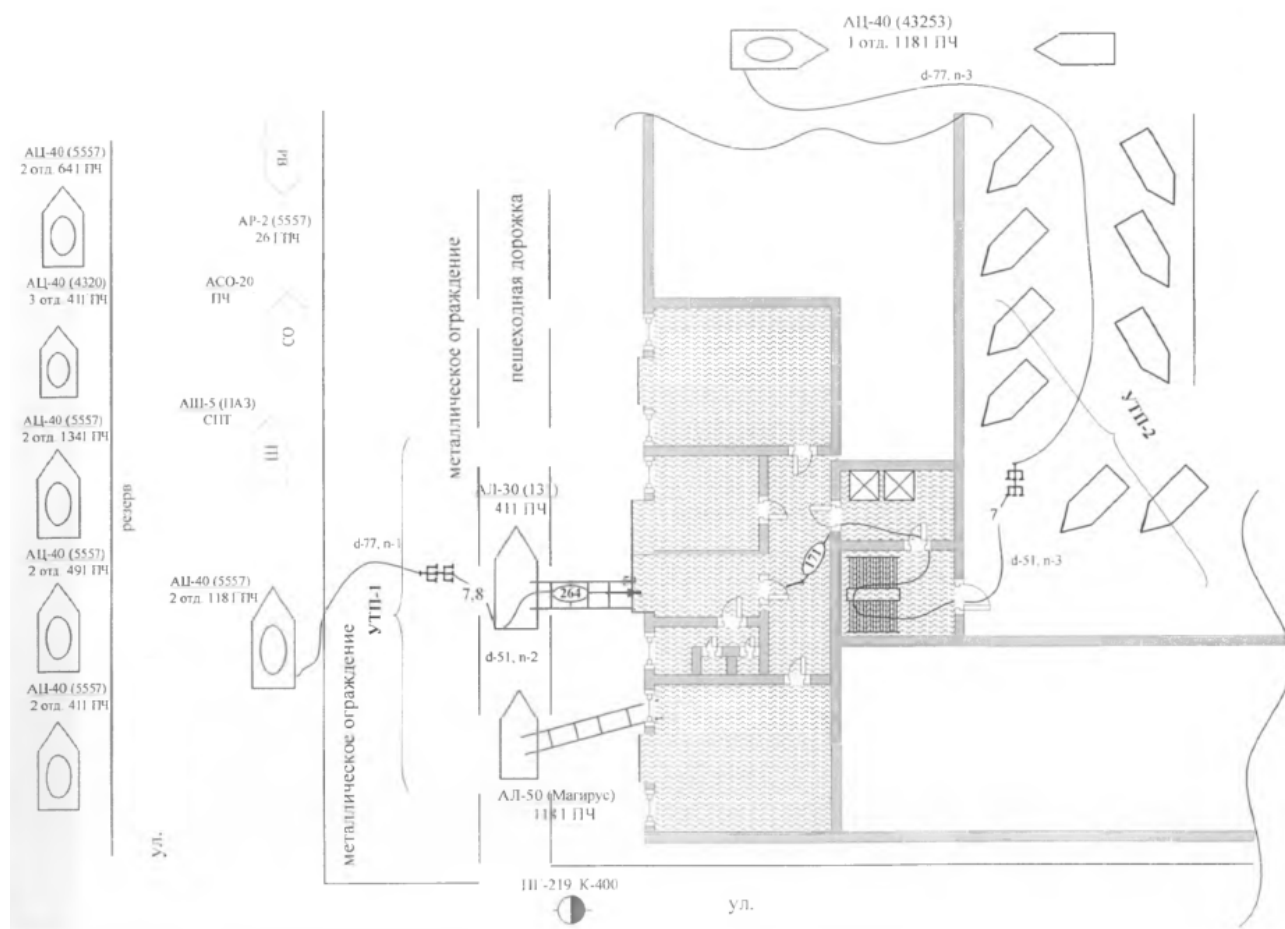


Рисунок П.Г.2 – Схема расстановки сил и средств на момент ликвидации пожара

### **Расчёт синтетической информационной меры количества полной структурной информации в системе управления на пожаре**

Исходные данные: В оперативном штабе пожаротушения работают 4 человека –  $n = |M| = 4$ , которые для формирования управленческого решения, используют  $k = |R| = 3$  вида общесистемных ресурсов, получаемых совместно из сети с переменной структурой, имеющей  $n_v = 2$  вариантов (радиальная и полносвязная). Т. е.  $собр_s = n$ ,  $собр_r = k$ ,  $собр_\varphi = n_v$ ,  $собр_{c1} = 2(n-1)$ ,  $собр_{c2} = n(n-1)$ .

Решение: Подставляя значения в (4.44), получим информационный коэффициент:

$$KI^M \Pi(P) = n \ln(n) + k \ln(k) + 2(n-1) \ln(2) + n(n-1) \ln(2) + n_v \ln(n_v) = 22,86$$

Изменяя значения  $n$ ,  $k$  и  $n_v$ , вычисляя информационный коэффициент, оцениваем информационно-структурный ресурс системы управления пожарными подразделениями.

## Оценка информационно-содержательного ресурса в информации с места пожара

Исходные данные: В оперативный штаб пожаротушения поступило сообщение  $o_{z_0} = \langle \text{Подан пожарный ствол типа РС-70 по лестнице на второй этаж в здание} \rangle$ .

Выборка из канонических выражений:  $v_1$  – введено,  $v_2$  – ствол,  $v_3$  – А,  $v_4$  – этаж,  $v_5$  – здание,  $v_6$  – лестница.

Задача: Оценить информационную содержательность ресурса в сообщении, поступившего с места пожара.

Решение:

1. С использованием высказываний  $v_1$ - $v_6$ , представим соответствующую смысловую запись с учётом таблицы 4.2, в виде :

$$S_{o_{z_0}} = \langle (H \Pi) (v_1 \Pi); v_2(\text{ОП } \Pi)(v_1, \Pi); (v_4(\text{ОП } v_1) v_1 \Pi) = C_1;$$

$$(v_5 (\text{ОП } \Pi) v_1 \Pi) = c_2; c_1 \wedge c_2 = c_3; v_3 [( \text{ООП } \Pi) c_3^*, (\text{ООП } \Pi) v_1 \Pi] \rangle.$$

2. Согласно смысловой записи определяем  $C_{o_{z_0}}$ :

$$C_{o_{z_0}} = \begin{cases} v_6 \in B & (\text{в } B \text{ вводится событие } c_6, \text{ если он там отсутствовал ранее}) \\ v_6 \subset v_4, v_6 \subset v_5, v_6 \subset (v_1, v_2) & (\text{в } B \text{ устанавливаются новые отношения включения и принадлежности}) \\ c_3^* \in B & (\text{в } B \text{ вводится высказывания } c_3^*) \end{cases}$$

Согласно этому в  $T$  вводятся высказывания  $v_3$  и  $c_3^*$  (участвует в событии  $c_3$ ), а также отношения,  $v_6 \subset v_4, v_6 \subset v_5, v_6 \subset (v_1, v_2)$ .

3. Определяем количество семантической информации:

$$KI^C(o_{z_0}, T) = \ln \left( \frac{n_{v_6}(0) + n_{c_3^*}(0)}{n_{v_6}} \right) = \ln \left( \frac{10+3}{5} \right) = 95.$$

### **Принятие решения по выбору метода поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара**

Пример принятия решения по выбору метода поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара проведём в соответствии с алгоритмом теории полезности.

Алгоритм выбора варианта ввода сил и средств на локализацию и ликвидацию пожара, а также последовательность действий по принятию решения:

1. Распределение индивидуальных критериев эффективности вариантов по значимости.
2. Проверка требования независимости критериев в соответствии с предпочтением РТП.
3. Выбор функции ценности.
4. Представление функций ценности (одномерных) по всем индивидуальным критериям.
5. Определение коэффициентов (базовый вариант).
6. Расчет значений функции многомерной ценности для всех сравниваемых вариантов.
7. Представление результатов расчета в виде диаграммы «единичный квадрат» и сравнительная диаграмма ценности вариантов.
8. Принятие решения РТП.
9. Проверка чувствительности принятого решения к изменению значений коэффициентов в пределах их интервалов точности.
10. Анализ результатов проверки и принятие окончательного решения РТП.

Рассмотрим 10 вариантов управления тушением пожара в здании социальной инфраструктуры 2 степени огнестойкости.

Сравнение вариантов осуществлено с использованием следующих критериев (Таблица П.Ж.1.): Количество личного состава, *бойцов* –  $r_1$ . Площадь тушения пожара,  $m^2$  –  $r_2$ . Количество пожарных автомобилей, *ед* –  $r_3$ . Интенсивность подачи огнетушащих веществ,  $л/м^2 \cdot с$  –  $r_4$ . Время ведения оперативно-тактических действий, *мин* –  $r_5$ . Расход огнетушащих веществ (требуемый),  $л/с$  –  $r_6$ . Расход огнетушащих веществ (фактический),  $л/с$  –  $r_7$ .

В таблице П.Ж.2 приведены лучшие - наиболее предпочтительные и худшие - наименее предпочтительные значения по каждому критерию  $r_j$ . Таким образом, таблица П.Ж.2 представляет для РТП информацию о диапазоне изменения значений критериев  $r_j$  в данной задаче принятия решения.

Таблица П.Ж.1 – Характеристика сравниваемых вариантов тушения пожара

Вариант – $x_i$	Критерии – $r_j, j = 1,7$						
	$r_1$ , бойцов	$r_2$ , $m^2$	$r_3$ , ед	$r_4$ , $л/м^2 \cdot с$	$r_5$ , мин	$r_6$ , л/с	$r_7$ , л/с
1	23	690	4	0,15	27	30	40
2	28	690	5	0,15	27	30	40
3	18	600	3	0,10	27	20	24,5
4	24	600	4	0,10	27	20	24,5
5	9	540	2	0,10	27	20	23,5
6	12	540	2	0,10	27	20	23,5
7	23	780	4	0,15	27	30	44
8	28	780	5	0,10	27	30	44
9	23	720	4	0,10	26	30	44
10	28	720	5	0,15	26	30	44

Таблица П.Ж.2 – Диапазон изменения критериев эффективности вариантов управления тушением пожара

$j$	Критерии $r_j$	Единицы измерения	Худшее значения критерия $r_j^{min}$	Лучшее значения критерия $r_j^{max}$
1	Время ведения оперативно-тактических действий	мин	26	27
2	Интенсивность подачи огнетушащих веществ	$л/м^2 \cdot с$	0,10	0,15
3	Количество пожарных автомобилей	ед	3	5
4	Количество личного состава	бойцов	9	28
5	Площадь тушения пожара	$m^2$	540	780

## окончание таблицы П.Ж.2

6	Расход огнетушащих веществ (требуемый)	л/с	20	30
7	Расход огнетушащих веществ (фактический)	л/с	23,5	44

Для поиска точек равноценности – на плоскости в системе декартовых координат будем использовать метод графической интерпретации. Когда положительным направлениям осей соответствует «улучшение значений критерия  $r_j$ ». Точка начала координат будет соответствовать наихудшим значениям критериев  $r_j^1$ . При таком расположении осей кривые безразличия, то есть кривые, соединяющие равноценные точки, будут иметь вид плавных выпуклых кривых (рис. П.Ж.1). Но при решении нашей оперативно-тактической задачи мы не будем полностью строить все кривые безразличия, а лишь определим две точки равноценности, проверим их «неизменность» при различных уровнях дополняющих критериев и, убедившись в независимости критериев по предпочтению, если это условие действительно выполняется, в дальнейшем используем именно эти точки равноценности для определения шкалирующих коэффициентов  $r_j$ .



Рисунок П.Ж.1 – Карта безразличия для двух частных критериев эффективности: точки A и B - точки равноценности

Приняв в данной оперативно-тактической задаче тот порядок критериев, который указан в таблицах П.Ж.1 и П.Ж.2., приступим непосредственно к

определению точек равноценности и проверке условий независимости критериев по предпочтению, оперируя парами критериев (Рис. П.Ж.2 - П.Ж.7).

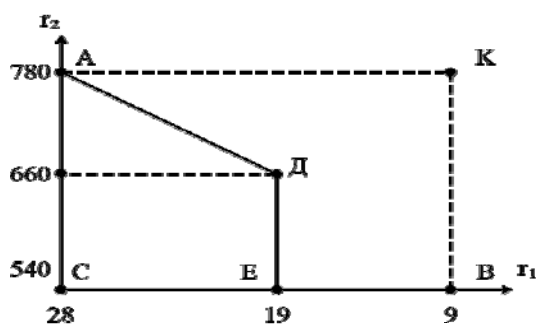


Рисунок П.Ж.2 – Определение точек равноценности для критериев  $r_1$  и  $r_2$  при условии, что остальные пять критериев фиксированы на своих худших уровнях –  $r_1^l, j=3, 4, 5, 6, 7$

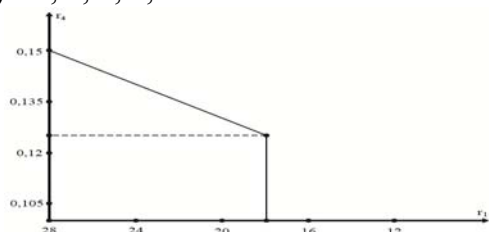


Рисунок П.Ж.4 – Определение точек равноценности для критериев  $r_1$  и  $r_4$  при условии, что остальные пять критериев фиксированы на своих худших уровнях –  $r_1^l, j=2, 3, 5, 6, 7$

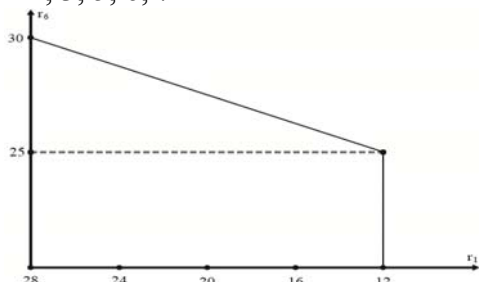


Рисунок П.Ж.6 – Определение точек равноценности для критериев  $r_1$  и  $r_6$  при условии, что остальные пять критериев фиксированы на своих худших уровнях –  $r_1^l, j=2, 3, 4, 5, 7$

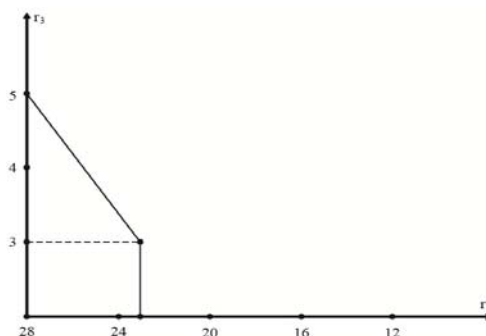


Рисунок П.Ж.3 – Определение точек равноценности для критериев  $r_1$  и  $r_3$  при условии, что остальные пять критериев фиксированы на своих худших уровнях –  $r_1^l, j=2, 4, 5, 6, 7$

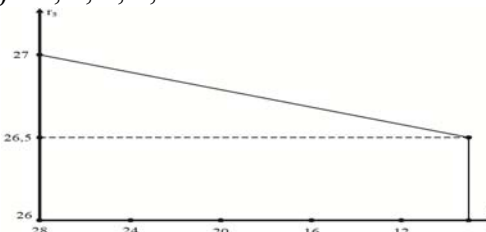


Рисунок П.Ж.5 – Определение точек равноценности для критериев  $r_1$  и  $r_5$  при условии, что остальные пять критериев фиксированы на своих худших уровнях –  $r_1^l, j=2, 3, 4, 6, 7$

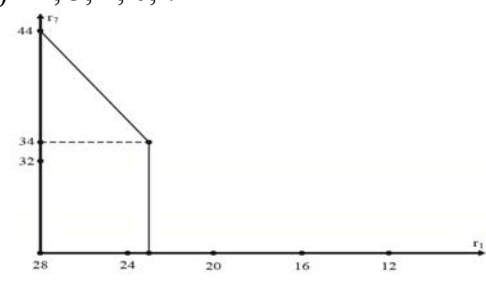


Рисунок П.Ж.7 – Определение точек равноценности для критериев  $r_1$  и  $r_7$  при условии, что остальные пять критериев фиксированы на своих худших уровнях –  $r_1^l, j=2, 3, 4, 5, 6$

Перед РТП стоит задача по улучшению параметров оперативного реагирования, переместиться: в точку  $A$  (28; 780), улучшив значение критерия  $r_2$  от  $r_2^l = 540 \text{ м}^2$  до  $r_2^h = 780 \text{ м}^2$  или в точку  $B$  (9; 780), улучшив значение критерия  $r_1$  от  $r_2^l = 28$  бойцов до  $r_2^h = 9$  человек, при этом есть ограничение - в точку  $K$  (9; 780), улучшив значения обоих критериев сразу, он не может переместиться сразу.

Решиться на такие крайние меры не просто, поэтому используя метод дихотомии – половинного деления отрезка и, разделив отрезок  $[CB]$  на оси  $r_1$  пополам – получим точку  $E$  (19; 540), и вернувшись в точку  $C$  (28; 540). РТП может сделать выбор, но теперь уже между точками  $A$  (28; 780) и  $E$  (19; 540). В этой точке сокращение численности личного состава ведёт к сокращению площади пожара, поэтому фиксируем точку  $E$  (19; 540) в качестве опорной. РТП постепенно уменьшает отрезок «неопределенности», сужает «зону поиска точек равноценности» ищет точку на оси  $r_1$ , которая для была бы равноценна точке  $A$  (28; 780).

Подобная процедура определения точек равноценности и проверки условия независимости критериев по предпочтению была выполнена ещё пять раз. В качестве подмножества  $Y$  рассматривались следующие пары критериев:  $\{r_1; r_3\}$ ,  $\{r_1; r_4\}$ ,  $\{r_1; r_5\}$ ,  $\{r_1; r_6\}$ ,  $\{r_1; r_7\}$ . Во всех случаях была выявлена независимость по предпочтению данных подмножеств от своих дополняющих подмножеств. Был сделан вывод, что критерии  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$  взаимно независимы по предпочтению. Выявленные точки равноценности приведены на рисунках 3.2 - 3.7.

Теперь эти пять критериев  $r_j^h, j = 3 - 7$  необходимо перевести на свои лучшие уровни (табл. П.Ж.2). И РТП должен повторить все те рассуждения, то есть он снова должны найти точки равноценности для критериев  $r_1$  и  $r_2$ , начиная процедуру поиска из «наихудшей» точки начала координат  $C$  (28; 540) (рис. П.Ж.2).

На следующем этапе задача РТП состоит в том, чтобы построить одномерные функции ценности  $V_j(j)$  по каждому критерию  $r_j, j = 1 - 7$ , так как существует аддитивная функция ценности. Для этого на рисунке 3.10 начнем построение одномерной функции ценности для первого критерия  $V_1(r_1)$ . Воспользуемся известными точками  $V_1(9) = 1,0; V_1(28) = 0,0$  – по условиям нормирования функции ценности  $V_j(r_j)$ . Тогда новая точка точкой  $V_1(24) = 0,50$ . На этом графике по оси абсцисс располагаются значения критерия  $r_1$  – количество личного состава участвующих в тушении пожара, *бойцов*, а по оси ординат -



значения  $V_1(r_1)$  функции ценности этого критерия (в условных единицах), нормированной от 0,00 до 1,00. Затем последовательно находятся еще две точки  $r_1^{0,25} = 26$  бойцов и  $r_1^{0,75} = 20$  бойцов, следовательно,  $V_1(26) = 0,25$  и  $V_1(20) = 0,75$ . По пяти точкам  $r_1^l, r_1^{0,25}, r_1^{0,5}, r_1^{0,75}, r_1^h$  была проведена ломанная линия, которая графически - кусочно-линейно, отображает функцию ценности первого критерия  $V_1(r_1)$  РТП, в данной задаче принятия решения. Аналогично, строятся еще шесть одномерных функций ценности для критериев  $r_j, j = 2 - 7$ . Эти функции представлены на рисунках П.Ж.9 - П.Ж.14.

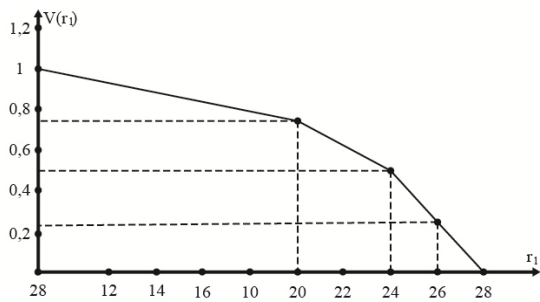


Рисунок П.Ж.8 – Одномерная функция ценности  $V_1(r_1)$  первого частного критерия эффективности

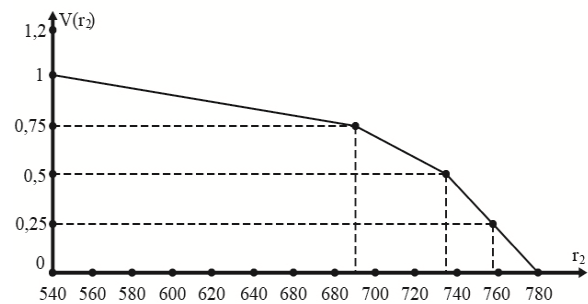


Рисунок П.Ж.9 – Одномерная функция ценности  $V_2(r_2)$  второго частного критерия эффективности

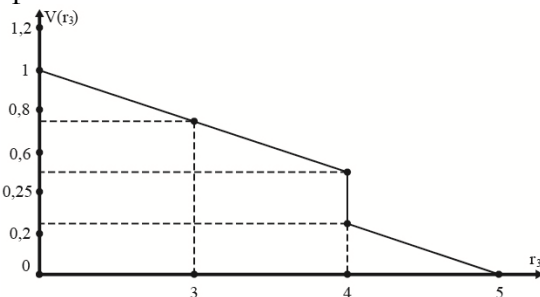


Рисунок П.Ж.10 – Одномерная функция ценности  $V_3(r_3)$  третьего частного критерия эффективности

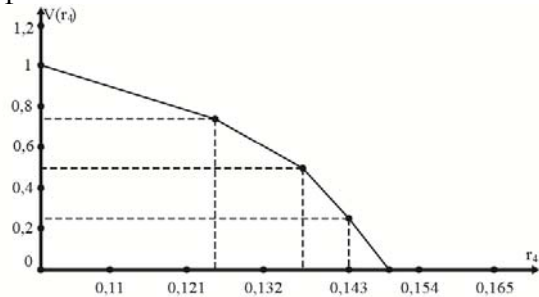


Рисунок П.Ж.11 – Одномерная функция ценности  $V_4(r_4)$  четвертого частного критерия эффективности

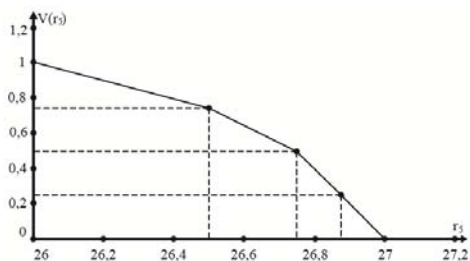


Рисунок П.Ж.12 – Одномерная функция ценности  $V_5(r_5)$  пятого частного критерия эффективности

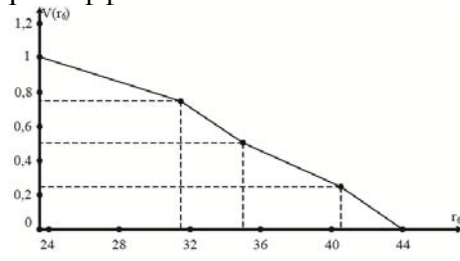


Рисунок П.Ж.13 – Одномерная функция ценности  $V_6(r_6)$  шестого частного критерия эффективности

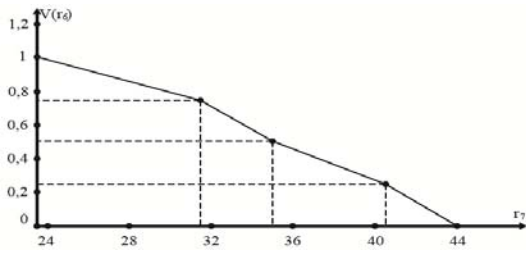


Рисунок П.Ж.14 – Одномерная функция ценности  $V_7(r_7)$  седьмого частного критерия эффективности

Для расчета шкалирующих коэффициентов необходимо вернуться к рисункам П.Ж.2 - П.Ж.7, на которых изображены точки равноценности по которым получаем значения шкалирующих коэффициентов и функцию ценности РТП:

$$V_i(r) = 0,189 \cdot V_1(r_1) + 0,146 \cdot V_2(r_2) + 0,154 \cdot V_3(r_3) + 0,116 \cdot V_4(r_4) + \\ + 0,142 \cdot V_5(r_5) + 0,142 \cdot V_6(r_6) + 0,111 \cdot V_7(r_7).$$

Определение ценности вариантов способов ведения оперативно-тактических действий приведено в таблице П.Ж.3. В этой таблице - графы 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26 - значения критериев, принятые по таблице П.Ж.1; графы 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29 - произведения значений функций ценности для соответствующего значения критерия, определенные по графикам одномерных функций ценности (рис. П.Ж.8 - П.Ж.14), на шкалирующие коэффициенты соответствующих критериев, то есть значения этих граф - есть  $j$ -е составляющие многомерной функции ценности  $V_i$ ; графа 30 - это значения многомерной функции ценности для  $i$ -го варианта ведения оперативно-тактических действий, эта графа является результатом всей таблицы, ее значения равны сумме значений граф 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29 для каждого  $i$ -го варианта тушения пожара. Значения графы 30 - это значения общего критерия эффективности - многомерной функции ценности - для каждого варианта тушения пожара. На основе сравнений вариантов по этому критерию РТП делает выбор того варианта, у которого значение функции ценности максимально. Таким образом, все варианты размещены на оси глобального критерия - многомерная функция ценности - и наилучшим будет тот вариант, который в итоге расположился "правее" всех остальных, если принять,

что положительному направлению оси глобального критерия - слева направо - соответствует увеличение значения критерия ценности рис. П.Ж.15.

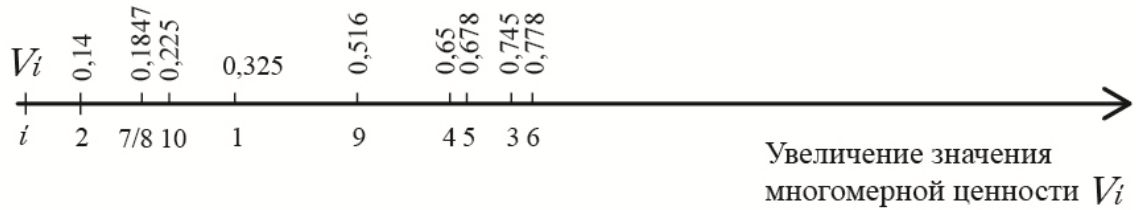


Рисунок П.Ж.15 – Размещение вариантов управления при тушении пожара на оси критерия «многомерная функция ценности варианта»

Кроме того, для РТП может представлять интерес изображение результатов расчетов в виде диаграммы «единичный квадрат». Такие диаграммы для всех десяти вариантов управления при тушении пожара приведены на рисунках П.Ж.16 - П.Ж.25. Поясним, как построены эти диаграммы. По оси абсцисс и по оси ординат отрезки, за которые не выходят значения диаграммы, условно равны единицам, поэтому диаграммы и названы «единичными». Но смысл этих единиц – различен. По оси абсцисс отложены значения шкалирующих коэффициентов критериев от первого до седьмого в долях единицы – сумма их равна единице, поэтому они составляют единую ось. По оси ординат отложены значения ценности каждого критерия для данного  $i$ -го варианта, для которого построена диаграмма. Так как значения ценности в задаче принятия решения нормированы от нуля до единицы, то и по этой оси диаграмма не «выходит» за единицу.

Произведение  $k_j \cdot V_j(r_j)$  является  $j$ -ой составляющей многомерной функции ценности  $V^i$ . Эти значения в табл. П.Ж.3 содержатся в графах 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29, а на диаграмме «единичный квадрат» эти значения являются площадями прямоугольника, ограниченных отрезками  $k_j$  и  $V_j(r_j)$  – такое представление более наглядно, чем в таблице П.Ж.3.

Следовательно, значение многомерной функции ценности для  $i$ -того варианта управления тушением пожара будет складываться из площадей всех семи – по числу используемых в данной задаче – критериев – прямоугольников.

Общее значение многомерной функции ценности приводится на диаграмме над «единичным квадратом».

Для иллюстрации различия вариантов по ценности применим также – сравнительную диаграмму ценности вариантов. Для данной задачи принятия решения сравнительная диаграмма ценности вариантов построена на рис. П.Ж.26. На этой диаграмме по оси абсцисс, в произвольном равном масштабе расположены уже отранжированные по глобальному критерию варианты управления при тушении пожара в виде столбиков, высота которых равна значению многомерной функции ценности. На такой диаграмме, в отличие от предыдущей диаграммы «единичный квадрат», площадь столбиков не имеет никакого значения. Для РТП важна лишь высота такого столбика и «падение» этой высоты по вариантам управления при тушении пожара – от лучшего варианта, который расположен правее всех остальных, к худшему по ценности варианту, который расположен левее всех остальных. Положительному направлению оси абсцисс соответствует увеличение предпочтения варианта лицом, принимающим решение, и это увеличение предпочтения варианта «сопровождается» возрастающими столбиками значений многомерной функции ценности.

Расчет функции ценности выполнен для всех десяти вариантов управления при тушении пожара. Результаты расчета представлены в виде таблицы П.Ж.3, рисунков: рис. П.Ж.15 – «Размещение вариантов управления при тушении пожара на оси глобального критерия «многомерная функция ценности», рис. П.Ж.16 – П.Ж.25 – «Диаграмма «единичный квадрат» для j-того варианта управления при тушении пожара», рис. П.Ж.26 – «Сравнительная диаграмма ценности вариантов управления при тушением пожара». Эта информация для принятия решения предъявлена ЛПР. Он анализирует ее и делает выбор.

В данном анализе решения задачи принятия решения РТП при выборе способа введения ОТД сделал выбор в пользу пятого варианта ведения оперативно-тактических действий, так как  $V_5 = 0,778$  и это значение максимально.

Таблица П.Ж.3 – Значения многомерной ценности варианта управления тушением пожара

Номер варианта управления тушением пожара	Время ведения оперативно-тактических действий			
	$r_1, \text{мин}$	$V_1(r_1)$	$k_1$	$k_1 \cdot V_1(r_1)$
1	2	3	4	5
1	23	0,57	0,189	0,10773
2	28	0,0	0,189	0,0
3	18	0,8	0,189	0,1512
4	24	0,5	0,189	0,0945
5	9	0,1	0,189	0,0189
6	12	0,63	0,189	0,11907
7	23	0,57	0,189	0,10773
8	28	0,0	0,189	0,0
9	23	0,57	0,189	0,10773
10	28	0,0	0,189	0,0

продолжение таблицы П.Ж.3

Номер варианта управления тушением пожара	Время ведения оперативно-тактических действий			
	$r_2, \text{л/м}^2 \cdot \text{с}$	$V_2(r_2)$	$k_2$	$k_2 \cdot V_2(r_2)$
1	6	7	8	9
1	690	0,75	0,146	0,1095
2	690	0,75	0,146	0,1095
3	600	0,84	0,146	0,12264
4	600	0,84	0,146	0,12264
5	540	1,0	0,146	0,146
6	540	1,0	0,146	0,146
7	780	0,0	0,146	0
8	780	0,0	0,146	0
9	720	0,57	0,146	0,08322
10	720	0,57	0,146	0,08322

продолжение таблицы П.Ж.3

Номер варианта управления тушением пожара	Время ведения оперативно-тактических действий			
	$r_3, \text{ед}$	$V_3(r_3)$	$k_3$	$k_3 \cdot V_3(r_3)$
1	10	11	12	13
1	4	0,5	0,154	0,077
2	5	0,0	0,154	0,0
3	3	0,75	0,154	0,1155
4	4	0,5	0,154	0,077
5	2	1,0	0,154	0,154
6	2	1,0	0,154	0,154
7	4	0,5	0,154	0,077
8	5	0,5	0,154	0,077
9	4	0,5	0,154	0,077
10	5	0,0	0,154	0,0

продолжение таблицы П.Ж.3

Номер варианта управления тушением пожара	Время ведения оперативно-тактических действий			
	$k_4, \text{бойцов}$	$V_4(r_4)$	$k_4$	$k_4 \cdot V_4(r_4)$
1	14	15	16	17
1	0,15	0,0	0,116	0,0
2	0,15	0,0	0,116	0,0
3	0,10	0,92	0,116	0,10672
4	0,10	0,92	0,116	0,10672
5	0,10	0,92	0,116	0,10672
6	0,10	0,92	0,116	0,10672
7	0,15	0,0	0,116	0,0
8	0,10	0,92	0,116	0,10672
9	0,10	0,92	0,116	0,10672
10	0,15	0,0	0,116	0,0

продолжение таблицы П.Ж.3

Номер варианта управления тушением пожара	Время ведения оперативно-тактических действий			
	$r_5, \text{м}^2$	$V_5(r_5)$	$k_5$	$k_5 \cdot V_5(r_5)$
1	18	19	20	21
1	27	0,0	0,142	0,0
2	27	0,0	0,142	0,0
3	27	0,0	0,142	0,0
4	27	0,0	0,142	0,0
5	27	0,0	0,142	0,0
6	27	0,0	0,142	0,0
7	27	0,0	0,142	0,0
8	27	0,0	0,142	0,0
9	26	1,0	0,142	0,142
10	26	1,0	0,142	0,142

продолжение таблицы П.Ж.3

Номер варианта управления тушением пожара	Время ведения оперативно-тактических действий			
	$r_5, \text{л/с}$	$V_6(r_6)$	$k_6$	$k_6 \cdot V_6(r_6)$
1	22	23	24	25
2	30	0,0	0,142	0,0
3	30	0,0	0,142	0,0
4	20	1,0	0,142	0,142
5	20	1,0	0,142	0,142
6	20	1,0	0,142	0,142
7	20	1,0	0,142	0,142
8	30	0,0	0,142	0,0
9	30	0,0	0,142	0,0
10	22	23	24	25

## окончание таблицы П.Ж.3

Номер варианта управления тушением пожара	Время ведения оперативно-тактических действий			
	$r_7, л/с$	$V_7(r_7)$	$k_7$	$k_7 \cdot V_7(r_7)$
1	26	27	28	29
2	40	0,28	0,111	0,03108
3	40	0,28	0,111	0,03108
4	24,5	0,97	0,111	0,10767
5	24,5	0,97	0,111	0,10767
6	23,5	1,0	0,111	0,111
7	23,5	1,0	0,111	0,111
8	44	0,0	0,111	0,0
9	44	0,0	0,111	0,0
10	44	0,0	0,111	0,0

Таблица П.Ж.4.

Номер варианта управления тушением пожара	Время ведения оперативно-тактических действий, частные критерии эффективности							
	$k_7 \cdot V_7(r_7)$	$k_6 \cdot V_6(r_6)$	$k_5 \cdot V_5(r_5)$	$k_4 \cdot V_4(r_4)$	$k_3 \cdot V_3(r_3)$	$k_2 \cdot V_2(r_2)$	$k_1 \cdot V_1(r_1)$	$V_{i(баз)}$
1	29	25	21	17	13	9	5	30
1	0,03108	0,0	0,0	0,0	0,077	0,1095	0,10773	0,32531
2	0,03108	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1095	0,0	0,14058
3	0,10767	0,142	0,0	0,10672	0,1155	0,12264	0,1512	0,74573
4	0,10767	0,142	0,0	0,10672	0,077	0,12264	0,0945	0,65053
5	0,111	0,142	0,0	0,10672	0,154	0,146	0,0189	0,67862
6	0,111	0,142	0,0	0,10672	0,154	0,146	0,11907	0,77879
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,077	0,0	0,10773	0,18473
8	0,0	0,0	0,0	0,10672	0,077	0,0	0,0	0,18372
9	0,0	0,0	0,142	0,10672	0,077	0,08322	0,10773	0,51667
10	0,0	0,0	0,142	0,0	0,0	0,08322	0,0	0,22522

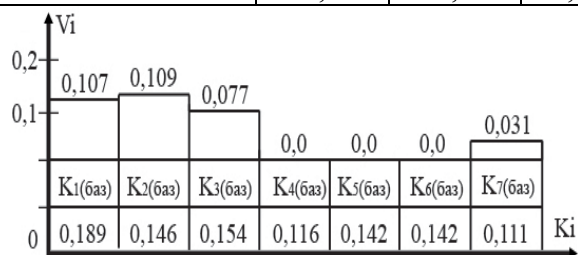


Рисунок П.Ж.16 – Диаграмма “единичный квадрат” для первого варианта управления при тушении пожара

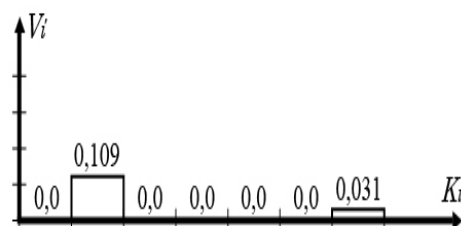


Рисунок П.Ж.17 – Диаграмма “единичный квадрат” для второго варианта управления при тушении пожара

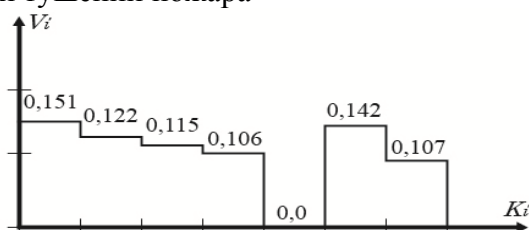


Рисунок П.Ж.18 – Диаграмма “единичный квадрат” для третьего варианта управления при тушении пожара

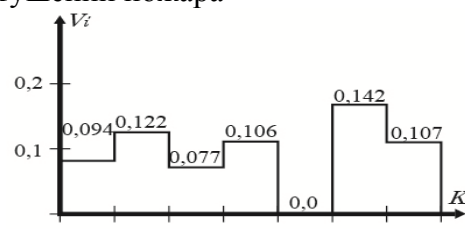


Рисунок П.Ж.19 – Диаграмма “единичный квадрат” для четвертого варианта управления при тушении пожара

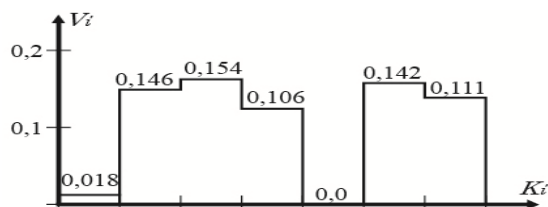


Рисунок П.Ж.20 – Диаграмма “единичный квадрат” для пятого варианта управления при тушении пожара

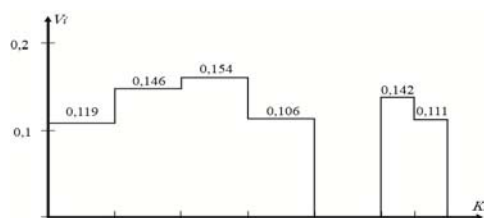


Рисунок П.Ж.21 – Диаграмма “единичный квадрат” для шестого варианта управления при тушении пожара

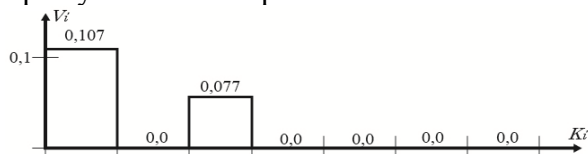


Рисунок П.Ж.22 – Диаграмма “единичный квадрат” для седьмого варианта управления при тушении пожара

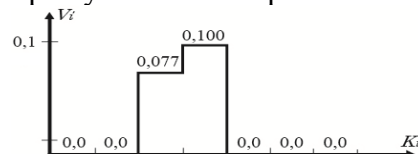


Рисунок П.Ж.23 – Диаграмма “единичный квадрат” для восьмого варианта управления при тушении пожара

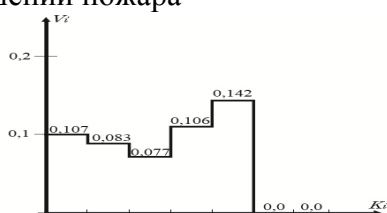


Рисунок П.Ж.24 – Диаграмма “единичный квадрат” для девятого варианта управления при тушении пожара

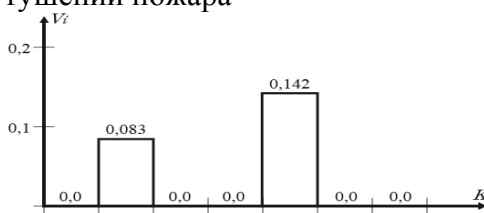


Рисунок П.Ж.25 – Диаграмма “единичный квадрат” для десятого варианта управления при тушении пожара

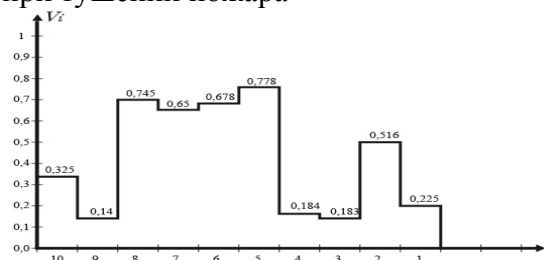


Рисунок П.Ж.26 – Сравнительная диаграмма ценности вариантов управления тушением пожара при проверочном варианте значений шкалирующих коэффициентов

В данной задаче принятия решения РТП выбрал пятый вариант управления силами и средствами на пожаре. Однако следует уделить внимание также шестому, седьмому и восьмому вариантам управления, так как их ценности уступают незначительно  $V_8 = 0,745$ ;  $V_7 = 0,650$ ;  $V_6 = 0,678$ . Действительно, процедура определения точек равноценности и построения одномерных функций ценности довольно приближительна. В ней могли быть допущены неточности, погрешности. Для учета этого факта необходимо выполнить анализ чувствительности принимаемого решения.



Выполним анализ чувствительности принимаемого решения (табл. П.Ж.5).

Таблица П.Ж.5 – Расчет интервалов точности определения шкалирующих коэффициентов

$j$	$k_j$ , базовый вариант	$k_{j+1} + k_j / 2$	$k_{j-1} + k_j / 2$	$\sum_{j=2}^6 \frac{k_{j-1} + k_j}{2}$	$\sum_{j=2}^6 \frac{k_{j+1} + k_j}{2}$	$k_j$ , интервал точности
1	0,189	0,172	-	-	-	[0,172; 0,206]
2	0,154	0,15	0,1715	0,322	-	[0,15; 0,171]
3	0,146	0,144	0,15	0,466	0,322	[0,144; 0,15]
4	0,142	0,142	0,144	0,608	0,466	[0,142; 0,144]
5	0,142	0,129	0,142	0,737	0,608	[0,129; 0,142]
6	0,116	0,114	0,129	0,85	0,737	[0,113; 0,129]
7	0,111	-	0,114	-	0,85	[0,056; 0,114]

Проведя анализ рис. П.Ж.26, на котором представлена сравнительная диаграмма ценности вариантов управления пожарными подразделениями при базовом варианте значений шкалирующих коэффициентов. Видно, что варианты 6, 9 и 7, имеющие соответственно ранги 5, 8 и 6, составляют «ведущую тройку», так как их многомерные ценности  $V_5 = 0,778$ ;  $V_8 = 0,745$  и  $V_6 = 0,678$  превышают многомерные ценности остальных вариантов управления ресурсами пожарных подразделений на пожаре. И РТП уже сделал выбор в пользу пятого варианта управления, так как его многомерная ценность максимальна  $V_5 = 0,778$ .

## Акты о внедрении результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ

генеральный директор,  
к/н Медведовский В. А.



2015 г.

### А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы  
Денисови Алексея Николаевича, представленной на соискание учёной степени  
доктора технических наук по специальности 05.13.10 "Управление в  
социальных и экономических системах"

ЗАО «Навигационные системы» (г. Омск) подтверждает, что результаты диссертационной работы, а именно:

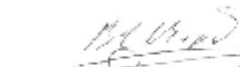
- модели процесса оперативно-диспетчерского управления силами и средствами окрестных оперативных служб при ликвидации чрезвычайных ситуаций (происшествия) техногенного характера на территории субъекта Российской Федерации;

- алгоритмы решения задач управления и принятия решений при пожаротушении и проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ мобильными средствами на месте пожара (ЧС), включающие: выбор рационального решения при управлении пожарными подразделениями, реализации стратегии поиска решения задачи упорядочения частных решений, генерации решений (с обучением); расчёт разумной достижимости ресурсов для решения задач управления и принятия решений по обеспечению пожарной безопасности с учетом социальных факторов и экономических возможностей; расчета потребности сил и средств, необходимых для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ; решения задачи прогнозирования динамики развития опасных факторов пожаров (ЧС), локализации и ликвидации пожара по совокупности качественных и/или количественных признаков; оценки эффективности решения задач управления на пожаре; оптимизации структуры ресурсов на месте пожара (ЧС); информационной поддержки руководителя тушения пожара и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ на месте пожара (ЧС); информационной поддержки принятия решений в пожарных частях при отработке оперативной задачи;

были использованы при реализации функциональных подсистем 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 (ПАК «АРГО») выполненной в рамках федеральной целевой программы «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года» от 09.02.2009 № 2-4-50-5-14 и внедрённой в подразделениях МЧС России (Приказ МЧС России от 03 апреля 2013 г. № 225 "О принятии на снабжение в системе МЧС России

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 (ПАК «АРГО»).

Председатель комиссии

 Щербина В. А.

Член комиссии

 Егоров Е. Ю.

Член комиссии

 Алтытников А. Ю.



АКТ  
 об использовании результатов  
 докторской диссертационной работы  
 Денисова Алексей Николаевича

Настоящий акт подтверждает, что подход к реализации принятия решений в системе управления аварийно-спасательными (пожарными) формированиями, предложенный автором, позволяет полностью формализовать решение задачи управления и принятия решений по обеспечению пожарной безопасности различных объектов экономики с учетом социальных факторов и их экономических возможностей. Указанный подход позволяет в том числе обеспечивать принятие обоснованного решения за «присылаемое время» при ликвидации чрезвычайных ситуаций (пожаров) в условиях трансформационной экономики с использованием формализаций и виде математических абстракций.

Методы, алгоритмы и программное обеспечение в качестве элементов системы поддержки принятия решений для решения задач управления аварийно-спасательными (пожарными) формированиями на месте ЧС (пожаре) и формирования функциональных подсистем сети управления ресурсами по различным признакам, были переданы в работу организации.

Доработка и развитие выполнялись с непосредственным участием управленческого аппарата и практических работников. Разработанный подход может быть использован при проектировании систем поддержки принятия решения на различных опасных производственных объектах. Использование комбинаторики, анализа перархий, математической логики и функционального анализа позволяет повысить эффективность и обоснованность решений в современных условиях. Предложенный новый нетрадиционный подход к задаче управления аварийно-спасательными (пожарными) формированиями при ведении оперативно-тактических действий на ЧС (пожаре) мобильными средствами на различных объектах, на различных уровнях управления, в конечном итоге, обеспечивает эффективное решение указанной задачи в условиях неполноты априорной информации в сложных нестандартных ситуациях.

В настоящее время разработанные алгоритмы и программный продукт используются в ООО "Сервис безопасности". Опытная эксплуатация подтвердила эффективность их и использование принесит экономических эффектов.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

*Чурикова Н.В.*  
*Тамбов А.В.*

УТВЕРЖДАЮ  
 Начальник ФГКУ «4 ОФПС  
 по Тульской области»  
 подполковник внутренней службы  
 В.В. Бурцев  
 «20» декабря 2015 г.

АК1

о внедрении результатов диссертационной работы  
 Денисова Алексей Николаевича

Результаты диссертационной работы Денисова А.Н. в области оперативного управления пожарными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий, а именно алгоритмы решения задач управления и принятия решений при пожаротушении мобильными средствами, включающие: выбор рационального решения при управлении пожарными подразделениями, реализации стратегии поиска решения задачи упорядочения локальных решений РТП, генерации решений (с обучением), для задач с максимальной неопределенностью в выборе цели управления на пожаре; расчёта разумной достаточности ресурсов для решения задач управления и принятия решений по обеспечению пожарной безопасности с учетом социальных факторов и экономических возможностей; решения задачи локализации и ликвидации пожара по совокупности качественных и/или количественных признаков; оценки эффективности решения задач управления на пожаре; оптимизации структуры ресурсов на пожаре представляются интересными при решении важной проблемы - повышении эффективности функционирования гарнизона пожарной охраны города Алексин Тульской области.

С помощью алгоритмов оптимизации структуры ресурсов на пожаре и выбора рационального решения при управлении пожарными подразделениями, реализации стратегии поиска решения задачи упорядочения локальных решений РТП, генерации решений (с обучением), для задач с максимальной неопределенностью в выборе цели управления на пожаре скорректирован ряд документов предварительного планирования.

На основе алгоритма расчёта разумной достаточности ресурсов для решения задач управления и принятия решений по обеспечению пожарной безопасности с учетом социальных факторов и экономических возможностей осуществляется разбор крупных и характерных пожаров;

Алгоритмы решения задачи локализации и ликвидации пожара по совокупности качественных и/или количественных признаков и оценки эффективности решения задач управления на пожаре используются при решении оперативно-тактических задач при проведении занятий.

Комиссия настоящим актом подтверждает что, результаты диссертационной работы Денисова А.Н. используются при подготовке гарнизона пожарной охраны города Алексин Тульской области к тушению пожаров, при подготовке документов предварительного планирования оперативно-тактических действий пожарных подразделений и их анализу.

Председатель комиссии:  
 Начальник Алексинского гарнизона пожарной охраны  
 подполковник внутренней службы

М.А. Зырзин

Члены комиссии:  
 Заместитель начальника  
 ФГКУ «4 ОФПС по Тульской области,  
 начальник 28 пожарно-спасательной части  
 майор внутренней службы  
 Заместитель начальника службы пожаротушения  
 ФГКУ «4 ОФПС по Тульской области  
 старший лейтенант внутренней службы

А.Е. Чепенко

Е.В. Бургазов

**Акт внедрения  
результатов научно-технической деятельности в системе МЧС России**

1. Наименование полученных результатов научно-технической деятельности: Программа информационно-аналитической поддержки пожаротушения «Расчет сил и средств для пожаротушения в зданиях с низкой устойчивостью при пожаре».
2. Вид полученной научно-технической продукции: программное обеспечение.
3. Заказчик научно-технической продукции: нет.
4. Исполнитель (исполнители) работ:  
Степанов Олег Игоревич (начальник отдела подготовки ПС и АСФ Главного управления МЧС России по ХМАО-Югре);  
Денисов Алексей Николаевич (профессор кафедры пожарной тактики и службы УНК Пожаротушения Академии ГПС МЧС России);  
Логвинов Дмитрий Александрович (эксперт отдела операционного планирования и управленческой аналитики ПАО Сбербанк).
5. Основание для проведения работ по созданию научно-технической продукции: нет

(название государственной программы, подпрограммы, основного мероприятия, мероприятия,

государственный контракт, государственное задание, смета)

6. Дата и результаты приемки научно-технической продукции: 23.05.2016, тестирование программы по адресу Базы данных проини без сбоев, требуется текущая корректировка базы данных по объектам г.Ханты-Мансийск.
7. Сведения о внедрении результатов научно-технической деятельности: программное обеспечение внедрено в целях совершенствования учебного процесса в подразделениях 7 ОФПС с дальнейшими путями внедрения: в ЭВМ СПТ 7 ОФПС, в ЭВМ диспетчера Ханты-Мансийски о пожарно-спасательного гарнизона.  
(форма и методы внедрения, где внедрено, другая информация о внедрении)
8. Сведения об эффективности внедрения полученных результатов научно-технической деятельности в повседневную деятельность подразделений системы МЧС России: автоматизирована работа с данными перечня зданий IV-V степени огнестойкости, ускорена проверка расчетных данных запасов экзаменуемых при проверке знаний по итогам обучения по (индикатор) государственной программы, запуск торгово-правового акта  
служебной подготовке среднего и старшего начальствующего состава, подготовке личного состава дежурных смен, усовершенствована деятельность диспетчера пожарно-спасательного гарнизона при решении инцидентов на пожарах в зданиях IV-V степени огнестойкости.
9. Сведения о защите исключительных прав на полученные результаты научно-технической деятельности: сформирована заявка на регистрацию программы.

Врио начальника управления организации  
пожаротушения и проведения аварийно-  
спасательных работ Главного управления  
МЧС России по ХМАО – Югре  
(должность)

*Игорь Владимирович Воробьев*  
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

*И.В. Воробьев*  
(фамилия, инициалы)

Начальник ФКУ «7 ОФПС  
по Ханты-Мансийскому автономному  
округу Югре»  
(должность)

*Сергей Владимирович Смирнов*  
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

*С.В. Смирнов*  
(подпись) (фамилия, инициалы)



«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор  
ООО «Группа компаний «Техноспас»«16» декабря 2015 г.  С.Е. Зубков

## АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы  
Денисова Алексей Николаевича

Результаты диссертационного исследования Денисова А.Н. в области управления пожарными и аварийно-спасательными подразделениями (АСФ) при ведении оперативно-тактических действий, технических и специальных работах на подземных и поверхностных объектах, а именно алгоритмы решения задач управления и принятия решений при пожаротушении мобильными средствами, включающие: выбор рационального решения при управлении АСФ, реализации стратегии поиска решения задачи упорядочения локальных решений РТП (ОРЛА), генерации решений (с обучением), для задач с максимальной неопределенностью в выборе цели управления на пожаре; расчета разумной достаточности ресурсов для решения задач управления и принятия решений по обеспечению пожарной безопасности с учетом социальных факторов и экономических возможностей; решения задачи локализации и ликвидации пожара по совокупности качественных и/или количественных признаков; оценки эффективности решения задач управления на пожаре; оптимизации структуры ресурсов на пожаре представляются интересными при решении важной проблемы - повышение эффективности функционирования аварийно-спасательных подразделений осуществляющих обслуживание объектов ОАО ХК «Якутуголь».

С помощью алгоритмов оптимизации структуры ресурсов на пожаре и выбора рационального решения при управлении пожарными подразделениями, реализации стратегии поиска решения задачи упорядочения локальных решений РТП(ОРЛА), генерации решений (с обучением), для задач с максимальной неопределенностью в выборе цели управления на пожаре скорректирован ряд документов предварительного планирования.


На основе алгоритма расчета разумной достаточности ресурсов для решения задач управления и принятия решений по обеспечению пожарной безопасности с учетом социальных факторов и экономических возможностей осуществлено расчетно-аналитическое обоснование численности аварийно-спасательного формирования необходимого для обслуживания объектов ОАО ХК «Якутуголь».

Алгоритмы решения задачи локализации и ликвидации пожара по совокупности качественных и/или количественных признаков и оценки эффективности решения задач управления на пожаре используются при решении оперативно-тактических задач при проведении занятий.

Комиссия настоящим актом подтверждает, что результаты диссертационной работы Денисова А.Н. используются при подготовке аварийно-спасательных подразделений осуществляющих обслуживание объектов ОАО ХК "Якутуголь" к тушению пожаров, при подготовке документов предварительного планирования и их анализе.


Председатель комиссии:

Заместитель генерального директора  
ООО «Группа компаний «Техноспас»


  
М. В. Мерзлов

Члены комиссии:

Начальник Центра ПБ и АСР  
ООО «Группа компаний «Техноспас»

  
А. В. Сычѐв

И.О. командира ПАСФ  
ООО «Группа компаний «Техноспас»

  
М. Ж. Галстян




 УТВЕРЖДАЮ  
 Начальник ФГКУ  
 «Специальное управление  
 ФПС № 49 МЧС России»  
 подполковник внутренней службы  
 \_\_\_\_\_ К.П. Маслак  
 «26» \_\_\_\_\_ 2016 г.

### АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы  
 Денисова Алексея Николаевича, представленной на соискание учёной степени  
 доктора технических наук по специальности 05.13.10. - «Управление в социальных и  
 экономических системах»

Комиссия в составе: председатель – заместитель начальника ФГКУ  
 «Специальное управление ФПС №49 МЧС России» полковник внутренней службы  
 Пуггер Алексей Александрович и члены комиссии – начальник отделения службы и  
 подготовки ФГКУ «Специальное управление ФПС №49 МЧС России» майор  
 внутренней службы Виснапу Алексей Освальдович, начальник службы  
 пожаротушения ФГКУ «Специальное управление ФПС №49 МЧС России»  
 подполковник внутренней службы Буханов Юрий Викторович, составила данный  
 акт о том, что результаты полученные в диссертационной работе, а именно: метод  
 формализации и постановки задач управления пожарно-спасательным  
 подразделениям (алгебраический способ); метод нейтрального выбора и алгоритмы  
 оценки эффективности решения задач управления, решения задачи оптимизации  
 структуры ресурсов на пожаре, нахождения оптимального значения ресурсов  
 методом нормативных состояний оперативно-тактических действий при  
 пожаротушении мобильными средствами использовались при ликвидации  
 последствий чрезвычайного происшествия на ПАО «Машиностроительный завод  
 имени М.И. Калинина, г. Екатеринбург» силами пожарно-спасательного гарнизона  
 г. Екатеринбурга.

Комиссия считает, что использование результатов исследования  
 способствовало совершенствованию принятия управленческих решений повышая  
 качество и эффективность ведения оперативно – тактических действий с  
 использованием робототехнических средств.

Председатель комиссии:

\_\_\_\_\_ А.А. Пуггер

Члены комиссии:

\_\_\_\_\_ А.О. Виснапу  
 \_\_\_\_\_ Ю.В. Буханов

"УТВЕРЖДАЮ"

Заместитель начальника ГУПО Вьетнама  
Старший подполковник милиции

Нгуен Ван Тхай

« 28 » 12 2016 г.

## АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы,  
Детисова Алексея Николаевича

Комиссия в составе: председателя – начальника отдела пожаротушения ГУПО Вьетнама подполковника милиции Д.Ч. Вьнь; членов комиссии: заместителя начальника отдела пожаротушения ГУПО Вьетнама подполковник милиции Д.З. Куанг, заместителя начальника отдела пожаротушения ГУПО Вьетнама майор В.К. Хоа, составила настоящий АКТ о том, что результаты диссертационных исследований Детисова Алексея Николаевича, представленных на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.10 – "Управление в социальных и экономических системах", являются:

- набор алгоритмов: принятия управленческого решения; упорядочения частных управленческих решений; генерирования управленческих решений; оценки эффективности решения задач управления; выбора соответствий типовых элементов описания системы пожаротушения мобильными средствами; решения задачи оптимизации структуры ресурсов на пожаре; нахождения оптимального запаса ресурсов;
  - комплекс моделей, методов и программных разработок поддержки принятия управленческих решений;
  - методологическая база принятия управленческих решений в системе пожаротушения мобильными средствами на различных объектах страны;
- используемая при разработке планов тушения пожаров на объектах нефтепереработки, при проектировании и подготовке гарнизонов пожарной охраны к тушению крупных пожаров во Вьетнаме и дали возможность уточнить ряд положений прогностического нормирования, что позволило существенно улучшить качество принимаемых решений, повысить их надёжность и достоверность в условиях нестабильной внешней среды, связанной с современными тенденциями совершенствования пожарной безопасности.

Председатель комиссии

Подполковник милиции

Д.Ч. Вьнь

Члены комиссии

Подполковник милиции

Д.З. Куанг

Майор милиции

В.К. Хоа

« 28 » 12 2016

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии  
ГПС МЧС России по учебной работе  
кандидат военных наук, доцент  
М.В. Белило



20 17 г.

## А К Т

внедрения результатов диссертационной работы  
Денисова Алексея Николаевича, представленной на соискание учёной степени  
доктора технических наук по специальности 05.13.10 – “Управление в  
социальных и экономических системах” в учебный процесс

Комиссия в составе председателя - начальника кафедры пожарной тактики и службы (в составе учебно-научного комплекса пожаротушение) доцента Шкунова Сергея Александровича, доцента кафедры пожарной тактики и службы (в составе учебно-научного комплекса пожаротушение) к.т.н. Григорьева Алексея Николаевича, старшего научного сотрудника научно-исследовательского отделения учебно-методического центра к.п.н. Баскакова Сергея Васильевича подтверждает, что научные результаты исследования используются при изучении учебных дисциплин “Пожарная тактика”, “Пожаротушение”, “Управление силами и средствами при тушении пожаров”, являются основой учебно-методического комплекса авторского учебного курса 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, а так же при проведении командно-штабных учений «Организация защиты населения и территории субъекта РФ от природных пожаров» и общеакадемических комплексные учения «Действия пожарно-спасательного гарнизона в условиях возникновения чрезвычайной ситуации на объектах экономики».

Использованы следующие результаты работы:

1. Методы поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями: пространственный метод; энергетический метод; пространственно-временные методы (при фронтальном тушении пожара; при тыловом тушении пожара; при тушении пожара подготовленной атакой; при тушении пожара немедленной атакой; при тушении пожара окружением; при защитных мероприятиях).

2. Модель достаточности сил и средств пожаротушения для решения задач управления и принятия решений по обеспечению пожарной безопасности на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории.

Практические результаты диссертационной работы А.Н. Денисова, такие как: анализ показателей пожаротушения мобильными средствами; граничные условия для оценки эффективности решения задач управления и компьютерные

программы используются при чтении лекций, а также в рамках проведения общакадемических комплексных учений.

Использование указанных результатов в учебном процессе позволяет предоставить курсантам, слушателям и студентам актуальные знания и навыки по оперативному управлению пожарно-спасательными подразделениями и расчётному обоснованию ресурсов пожаротушения мобильными средствами.

Председатель комиссии  
начальник кафедры  
пожарной тактики и службы  
(в составе УНК пожаротушения)  
доцент



С.А. Шкунов

Доцент кафедры  
пожарной тактики и службы  
(в составе УНК пожаротушения)  
к.т.н.



А.Н. Григорьев

Старший научный сотрудник научно-исследовательского отделения учебно-методического центра  
к.и.н.



С. В. Баскаков



УТВЕРЖДАЮ  
 Заместитель начальника Академии  
 ГПС МЧС России по научной  
 работе  
 доктор технических наук, доцент  
 М.В. Алешков

« 02 » \_\_\_\_\_ 2017 г.

### А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы  
 Денисова Алексея Николаевича, представленной на соискание учёной  
 степени доктора технических наук по специальности 05.13.10 –  
 “Управление в социальных и экономических системах”

Комиссия в составе председателя – начальника отдела организации научных исследований и научной информации, к.т.н., доцента Храмцова Сергея Петровича, начальника кафедры пожарной тактики и службы (в составе учебно-научного комплекса пожаротушения) доцента Шкунова Сергея Александровича, старшего научного сотрудника – начальника научно-исследовательской группы пожаротушения учебно-научного комплекса пожаротушения Шурыгина Максима Андреевича подтверждает, что представленные материалы в докторской диссертации, а именно:

- метод формализации и постановки задач управления пожарно-спасательным подразделением на месте пожара.
- метод распределения задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий.
- метод поддержки принятия решения по тушению пожара.
- модели поддержки управления пожаротушением мобильными средствами (в виде сетей Петри и обыкновенных дифференциальных уравнений).
- анализ показателей пожаротушения мобильными средствами.
- граничные условия для оценки эффективности решения задач управления пожарно-спасательными подразделениями.

Были использованы при подготовке отчётов по НИР проводимых Академией МЧС России:

1. Управление силами и средствами при тушении пожаров на открытой местности.
2. Обоснование граничных условий для частных моделей оперативно-тактических действий пожарных подразделений.
3. Рекомендации по тушению городских коллекторов для инженерных коммуникаций оперативными подразделениями ГПС МЧС России.

4. Разработка типовых моделей управления силами и средствами экстренных оперативных служб.
5. Анализ действий и применяемых средств при управлении тушением лесных пожаров.
6. Аппроксимация данных принятия управленческих решений на объектах экономики.
7. Анализ проблем информационной поддержки при управлении пожарными подразделениями.
8. Стандарт подразделений добровольной пожарной охраны Общероссийской общественной организации «Всероссийское добровольное пожарное общество».

Были использованы при экспертизе:

Корпоративного стандарта СТП СР/04-07-03/ПрФ03 «Процедура функции по организации пожарной охраны и аварийно-спасательных работ на Предприятиях ПАО «СИБУР Холдинг».

Мероприятий по доступу подразделений пожарной охраны к технологическим сооружениям буровых площадок Одошту. Проект «САХАЛИН-1».

Председатель комиссии  
начальник отдела организации  
научных исследований и  
научной информации  
к.т.н., доцент



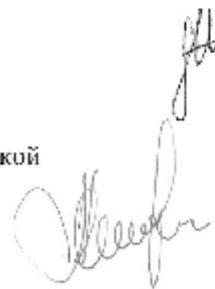
С.И. Храмцов

начальник кафедры  
пожарной тактики и службы  
(в составе учебно-научного  
комплекса пожаротушение)  
доцент



С.А. Шкунов

старший научный сотрудник –  
– начальник научно-исследовательской  
группы пожаротушения  
учебно-научного комплекса  
пожаротушение



М.А. Шурягин

## УТВЕРЖДАЮ

Начальник Управления специальной  
пожарной охраны МЧС России  
генерал-майор внутренней службы  
В.В. Розанов

«23» января 2017 г.

## АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы  
Денисова Алексея Николаевича,  
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук  
по специальности 05.13.10. - «Управление в социальных и экономических  
системах»

Комиссия в составе: председателя – начальника Управления специальной пожарной охраны МЧС России генерал-майора внутренней службы Розалова Владимира Витальевича и членов комиссии – начальника управления обеспечения деятельности специальной пожарной охраны ФКУ ЦОД ФПС ГПС МЧС России полковника внутренней службы Басалай Игоря Валентиновича, заместителя начальника управления обеспечения деятельности специальной пожарной охраны ФКУ ЦОД ФПС ГПС МЧС России полковника внутренней службы Зарубина Павла Михайловича, составила данный акт о том, что результаты полученные в диссертационной работе, а именно: методы поддержки управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий пожарно-спасательными подразделениями включающие: распределение задач управления и принятия решений при ведении оперативно-тактических действий; поддержки принятия решения по тушению пожара; тушения пожара подготовленной или немедленной атакой и модель достаточности сил и средств пожаротушения применялись при ликвидации последствий чрезвычайных происшествий и тушении пожаров подразделениями специальной пожарной охраны.

Комиссия считает, что использование результатов исследования способствовало совершенствованию принятия управленческих решений повышая качество и эффективность ведения оперативно – тактических действий.

Председатель комиссии:  
Начальник УСПО МЧС России  
генерал-майор внутренней службы

В.В. Розанов

Члены комиссии:  
Начальник УОД СПО ФКУ ЦОД ФПС ГПС МЧС России  
полковник внутренней службы

И.В. Басалай

Заместитель начальника УОД СПО ФКУ ЦОД ФПС ГПС МЧС России  
звание внутренней службы

П.М. Зарубин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014616625

Совмещенный график

Принято в оплату: *Денисов Алексей Николаевич (RU)*Авторы: *Денисов Алексей Николаевич (RU),  
Власов Константин Сергеевич (RU)*

Заявка № 2014614159

Дата поступления 30 апреля 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 30 июня 2014 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.Л. Симанов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014616432

Оценка ОТД

Правообладатель: *Власов Константин Сергеевич (RU)*

Авторы: *Власов Константин Сергеевич (RU),  
Денисов Алексей Николаевич (RU)*

Заявка № 2014614138

Дата поступления 30 апреля 2014 г.

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 23 июня 2014 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.Н. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016661086

Расчёт NRS

Приобретатели: *Захаревский Виктор Борисович (RU), Денисов  
Алексей Николаевич (RU), Данилов Михаил Михайлович (RU)*

Авторы: *Захаревский Виктор Борисович (RU), Денисов Алексей  
Николаевич (RU), Данилов Михаил Михайлович (RU)*

Заявка № 20166618431

Дата поступления 02 августа 2016 г.

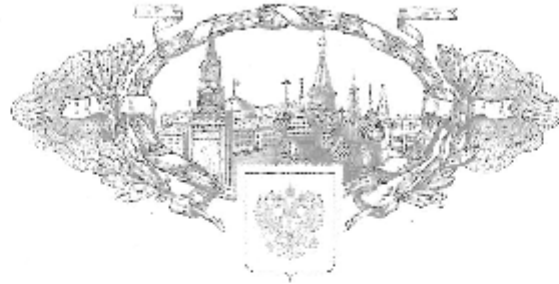
Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 29 сентября 2016 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017615760

Расчет NRS(L)

Правообладатели: *Захаревский Виктор Борисович (RU), Локтюхина Анастасия Андреевна (RU), Денисов Алексей Николаевич (RU), Данилов Михаил Михайлович (RU)*

Авторы: *Захаревский Виктор Борисович (RU), Локтюхина Анастасия Андреевна (RU), Денисов Алексей Николаевич (RU), Данилов Михаил Михайлович (RU)*

Заявка № 2017611809

Дата поступления 21 февраля 2017 г.

Дата государственной регистрации:

в Реестре программ для ЭВМ 23 мая 2017 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.И. Иванов* Г.И. Иванов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017615759

CS fire oil tank

Проблесплататели: *Захаревский Виктор Борисович (RU), Денисов  
Алексей Николаевич (RU), Данилов Михаил Михайлович (RU)*

Авторы: *Захаревский Виктор Борисович (RU), Денисов Алексей  
Николаевич (RU), Данилов Михаил Михайлович (RU)*

Заявка № 2017611808

Дата поступления 21 февраля 2017 г.

Дата государственной регистрации

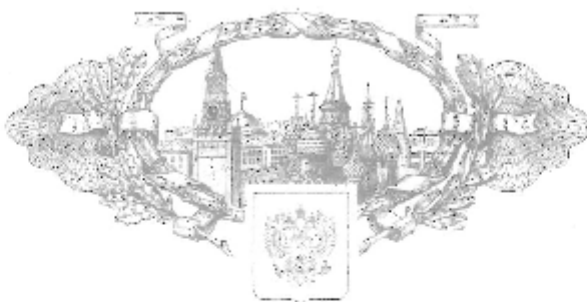
в Реестре программ для ЭВМ 23 мая 2017 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Нестеров

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016618567

«Расчет сил и средств для пожаротушения в зданиях с  
низкой устойчивостью при пожаре»

Правообладатели: *Степанов Олег Игоревич (RU), Денисов Алексей  
Николаевич (RU), Логвинок Дмитрий Александрович (RU)*

Авторы: *Степанов Олег Игоревич (RU), Денисов Алексей  
Николаевич (RU), Логвинок Дмитрий Александрович (RU)*

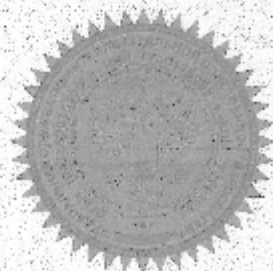
Заявка № 2016616117

Дата поступления 08 июня 2016 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 02 августа 2016 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.Н. Иванов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017615310

CS fire gusher

Правообладатели: *Захаревский Виктор Борисович (RU), Денисов  
Алексей Николаевич (RU), Данилов Михаил Михайлович (RU)*

Авторы: *Захаревский Виктор Борисович (RU), Денисов Алексей  
Николаевич (RU), Данилов Михаил Михайлович (RU)*

Заявка № 2017611794

Дата поступления 21 февраля 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Роспатре программ для ЭВМ 12 мая 2017 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Перев* Г.П. Перев

