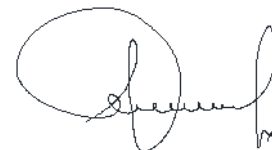


МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

На правах рукописи



Увалиев Дидархан Сактапбергенович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРИВЛЕЧЕНИЮ ПОЖАРНЫХ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ НА ПОЖАРЫ ПОВЫШЕННЫХ РАНГОВ**

Специальность: 2.3.4. Управление в организационных системах
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Соколов Сергей Викторович

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАГИРОВАНИЕМ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ | 10 |
| 1.1 Организационная система управления пожарно-спасательным гарнизоном ... | 10 |
| 1.2 Анализ управления привлечением пожарных подразделений пожарно- спасательных гарнизонов на примере ряда городов | 14 |
| 1.2.1 Характеристика системы управления пожарно-спасательного гарнизона и динамика пожаров по повышенному рангу сложности | 14 |
| 1.2.2 Анализ системы ранговой классификации сложности пожаров: российская и международная практика..... | 17 |
| 1.3 Проблемы расписания выезда подразделений местных (территориальных) пожарно-спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно- спасательных работ на примере ряда городов..... | 24 |
| 1.3.1 Проблемы очередности привлечения пожарных подразделений на пожары по рангу № 1-БИС, в соответствии с расписанием выезда | 25 |
| 1.3.2 Проблемы очередности привлечения пожарных подразделений на пожары по рангу № 2 и выше, в соответствии с расписанием выезда..... | 34 |
| 1.4 Оценка числовых характеристик и вероятности повышений ранга пожара | 38 |
| 1.5 Автоматизированные системы диспетчеризации и поддержки принятия решений при тушении пожаров в России и за рубежом | 42 |
| 1.6 Выводы по первой главе..... | 46 |
| ГЛАВА 2 МЕТОД, МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ОЧЕРЕДНОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ПОВЫШЕННЫМ РАНГАМ НА ЭТАПЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ | 48 |
| 2.1 Метод территориальной декомпозиции районов (подрайонов) выезда на секторы выезда | 48 |

| | | |
|--|---|-----|
| 2.2 | Алгоритм формирования реляционной модели данных очередности привлечения оперативных отделений по повышенным рангам пожаров в различные расчетные единицы территории пожарно-спасательного гарнизона | 53 |
| 2.3 | Апробация реляционной модели данных управления привлечением пожарных подразделений на пожары повышенных рангов | 59 |
| 2.4 | Разработка программного модуля формирования очередности привлечения оперативных отделений пожарных подразделений по повышенным рангам пожаров | 65 |
| 2.5 | Перспективы совершенствования системы управления привлечением пожарных подразделений на пожары повышенных рангов | 69 |
| 2.6 | Выводы по второй главе | 72 |
| ГЛАВА 3 МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВЫБОРА ОПЕРАТИВНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ПРИВЛЕЧЕНИЮ НА ПОЖАРЫ ПОВЫШЕННЫХ РАНГОВ | | 74 |
| 3.1 | Критерии выбора оперативных отделений пожарных подразделений для привлечения на пожары по повышенным рангам | 74 |
| 3.2 | Модель поддержки принятия управленческих решений по привлечению оперативных отделений пожарных подразделений на пожары повышенных рангов методом анализа иерархий | 78 |
| 3.3 | Лексикографическая модель выбора альтернативных наборов оперативных отделений пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам | 92 |
| 3.4 | Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по выбору пожарных подразделений по привлечению на пожары повышенных рангов | 98 |
| 3.5 | Выводы по третьей главе | 101 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | | 104 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ | | 105 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | | 106 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ | | 127 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ | | 129 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Повышение эффективности управления реагированием пожарных подразделений на природные и техногенные пожары остается одной из приоритетных задач в области пожарной безопасности. Согласно государственной политике Российской Федерации на период до 2030 года, одним из ключевых направлений данной сферы является обеспечение оперативного реагирования на сообщения о крупных пожарах.

При этом нормативное определение термина «крупный пожар» отсутствует, а их количество в общем числе пожаров незначительно. В то же время доля пожаров, отнесенных к повышенным рангам, (для которых характерна высокая степень сложности и необходимость привлечения дополнительных сил и средств), растет.

Реагирование на такие пожары осуществляется по заранее разработанным документам предварительного планирования – расписаниям выезда, в которых определена строгая очередность привлечения пожарных подразделений по каждому рангу пожара. Данный порядок ограничивает возможности диспетчера адаптировать состав направляемых сил, в зависимости от реальной обстановки на месте пожара.

Анализ показывает, что с ростом ранга пожара вероятность сосредоточения подразделений в соответствии с Расписанием выезда снижается. Например, в городах с населением до одного миллиона человек она может составлять 80-85 %, а в крупнейших мегаполисах – лишь 30-40 %. Это существенно увеличивает риски неустойчивости управления и повышает нагрузку на диспетчерский персонал.

В таких условиях приоритетной становится задача обеспечения диспетчера инструментами, позволяющими оперативно устранять неопределенность в выборе подразделений, минимизировать время их прибытия и исключить влияние человеческого фактора при принятии решений. Таким образом,

актуальность настоящего исследования определяется необходимостью разработки и внедрения гибкого и обоснованного метода поддержки управленческих решений при реагировании на крупные пожары.

Степень разработанности темы исследования.

Исторический вклад в формирование и развитие современных представлений о принципах и механизмах управления организационными системами внесли российские ученые В. Н. Бурков [1], Д. А. Новиков [2] и В. А. Ириков [3].

Развитие методов оперативного реагирования путем математического моделирования численности, мест размещения и зон обслуживания пожарных подразделений в гарнизоне связано с работами Н. Н. Брушлинского, С. В. Соколова, Е. М. Алехина, Г. И. Абдурагимова, П. Вагнера [4-15]. В своих исследованиях они применяли стохастические модели для описания процессов функционирования экстренных служб, а также использовали технологии имитационного моделирования для проектирования гарнизонов. В дальнейшем А. В. Матюшин и А. А. Порошин [16-20] разрабатывали модели, учитывающие цели выездов подразделений и ориентированные на их действия при тушении пожаров на объектах, оснащенных системами противопожарной защиты.

Несмотря на достигнутые результаты, эти подходы не решают задачу обоснования необходимых сил и средств для реагирования при нескольких пожарах одновременно в одном населенном пункте. Значительный вклад в решение подобных задач, связанных с поддержкой принятия управленческих решений и созданием автоматизированных систем управления, внесли Н. Г. Топольский [21, 22], А. А. Таранцев [23-25], В. А. Седнев [26, 27], Ф. А. Исайкин, В. Я. Вилисов, К. С. Власов, Ю. В. Прус, Р. Ш. Хабибулин [28-33], А. В. Матвеев [34, 35].

Исследования влияния технических характеристик пожарных автомобилей, дорожных и погодных условий на время прибытия техники проводились такими учеными, как М. Д. Безбородько, М. В. Алешков, Я. С. Повзик, В. В. Роевко и

В. А. Пряничников [36-41]. Стоит отметить вклад М. В. Сибирякова [42, 43], который изучал скорость движения пожарных автомобилей в транспортном потоке с использованием геоинформационных систем.

Зарубежные специалисты сосредоточились на изучении размещения противопожарных служб [44-48] и их оперативного реагирования с учетом динамики развития пожаров на различных территориях [49-50] и риска возникновения чрезвычайных ситуаций [51-53].

Между тем вопросы управления очередностью привлечения дополнительных пожарных подразделений на пожары повышенных рангов остаются недостаточно изученными. Это связано с множеством факторов: от местоположения объекта пожара и маршрутов следования до тактических возможностей подразделений и общей оперативной обстановки как на месте пожара, так и в гарнизоне в целом. Разработка комплексных решений с учетом этих факторов, а также классификации сложности пожаров способна существенно повысить оперативность их ликвидации, снижая масштаб последствий.

Цели и задачи. Целью исследования является сокращение времени сосредоточения пожарных подразделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования и повышение их оперативно-тактических возможностей в реальном времени на основе предложенного метода, разработанных моделей и алгоритмов.

Для достижения цели сформулированы следующие задачи:

1. Анализ организационной системы управления реагированием пожарных подразделений в пожарно-спасательных гарнизонах.

2. Определение метода, разработка алгоритма и модели формирования очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования.

3. Разработка программного модуля формирования очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования.

4. Построение модели и разработка алгоритма поддержки принятия управленческих решений при выборе альтернативных наборов оперативных отделений, обеспечивающих повышение оперативно-тактических возможностей пожарных подразделений при их привлечении на пожары повышенных рангов в реальном времени.

Объектом исследования является система управления пожарно-спасательным гарнизоном.

Предметом исследования являются метод, модели и алгоритмы поддержки управленческих решений при привлечении пожарных подразделений на пожары повышенных рангов.

Научная новизна. В процессе выполнения работы были получены новые научные результаты:

Предложен метод территориальной декомпозиции районов (подрайонов) выезда на секторы выезда, разработан алгоритм, реализующий данный метод и формирующий реляционную модель данных очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования. Предложенный метод позволят значительно сократить время сосредоточения подразделений на месте пожара по сравнению с существующим подходом.

Разработан алгоритм и построена лексикографическая модель поддержки принятия управленческих решений по выбору альтернативных наборов оперативных отделений для привлечения на пожары повышенных рангов в реальном времени. Модель обеспечивает рациональный выбор подразделений с учетом их оперативно-тактических возможностей и минимальными экономическими затратами, повышая боеготовность пожарно-спасательного гарнизона для решения основной боевой задачи в кратчайшие сроки.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что предложен ранее не описанный метод территориальной декомпозиции районов и подрайонов выезда на секторы выезда. Обоснованы теоретические положения управления очередностью привлечения оперативных отделений на основе нового алгоритма формирования реляционной модели данных с минимальным временем сосредоточения и управления выбором альтернативных наборов оперативных отделений для привлечения на пожары повышенных рангов в реальном времени, что позволяет повышать их оперативно-тактические возможности.

Практическая значимость работы заключается в создании программного модуля формирования набора оперативных отделений для каждого объекта защиты гарнизона с учетом местоположения объекта и оптимального маршрута следования к нему. Результаты исследования интегрированы в методические рекомендации по организации гарнизонной службы в пожарно-спасательных гарнизонах МЧС России.

Методология и методы исследования. В работе для решения поставленных задач исследования применяется методология системного анализа и математического моделирования, а также используются частные методы: обобщения и подобия, комбинаторики и лексикографической сортировки. В качестве эмпирических методов применены сравнение и измерение, что обеспечивает комплексный подход к разработке и обоснованию предложенных моделей и алгоритмов.

Положения, выносимые на защиту:

- метод территориальной декомпозиции районов (подрайонов) выезда пожарно-спасательного гарнизона на секторы выезда;
- алгоритм формирования реляционной модели данных очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования;
- лексикографическая модель и алгоритм поддержки принятия управленческих решений по выбору альтернативных наборов оперативных

отделений при их привлечении на пожары повышенных рангов, обеспечивающая повышение оперативно-тактических возможностей подразделений в реальном времени;

- программный модуль формирования очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования и автоматизирующий процесс построения расписания выездов пожарно-спасательного гарнизона.

Степень достоверности и апробация результатов, подтверждается использованием апробированного математического аппарата, применяемого при решении задач управления ресурсами в социально-экономических системах, проверки статистических гипотез, использовании принципов рационального выбора в процедурах принятия решений, а также соответствием результатов исследований реально произошедшим пожарам.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 6 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК России), получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из списка сокращений, введения, 3 глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 134 страницы машинописного текста, включает в себя 25 таблиц, 32 рисунка и список литературы из 131 источника.

Основные положения и результаты диссертационной работы были доложены на 10 научно-практических конференциях.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАГИРОВАНИЕМ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

1.1 Организационная система управления пожарно-спасательным гарнизонам

Понятие управления традиционно связывается с координацией действий и направленным воздействием субъекта на объект для достижения определенной цели. Согласно С.И. Ожегову, управление – это «направление движением кого-либо или чего-либо, руководство действиями». В работе Д.А. Новикова [2] управление определяется как воздействие субъекта на управляемую систему в целях достижения заданных результатов.

В контексте функционирования пожарно-спасательного гарнизона под управлением понимается деятельность руководящего состава, направленная на эффективную организацию сил и средств при реагировании на пожары различной сложности, включая пожары по повышенным рангам [54].

В условиях ограниченного времени, ресурсов и постоянно меняющейся оперативной обстановки управление подразделениями пожарной охраны требует не только соблюдения формализованных регламентов, но и гибкого применения инструментов анализа, прогнозирования и принятия решений.

Целью управления в системе пожарно-спасательного гарнизона (ПСГ) является обеспечение оперативного и результативного реагирования на пожары, минимизация времени прибытия подразделений и эффективное распределение оперативных отделений и личного состава в зависимости от характера и масштаба происшествия. Особенно важной задачей становится недопущение дальнейшего развития пожара и перехода его на более высокий ранг, что требует точного расчета состава сил и средств на раннем этапе.

Официальным инструментом предварительного планирования является расписание выезда подразделений, формируемое в соответствии с Приказом МЧС России 25.10.2017 года № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах» (действующий до 31.08.2025 г.) [55] и Приказом МЧС России от 13.01.2025 № 19 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах и Порядка привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, пожарно-спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (действующий с 01.09.2025 г.) [56]. В документах отражаются районы (подрайоны) выезда, порядок и очередность привлечения подразделений ПСГ для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ. Однако практика показывает, что данный инструмент далеко не всегда позволяет учесть реальные особенности гарнизона, занятость техники, дорожно-транспортную сеть и обстановку, а также другие критические факторы, особенно в случае одновременных или крупных пожаров.

На рисунке 1.1 представлена обобщенная схема организационной системы управления привлечением пожарных подразделений, реализуемой в рамках пожарно-спасательного гарнизона.

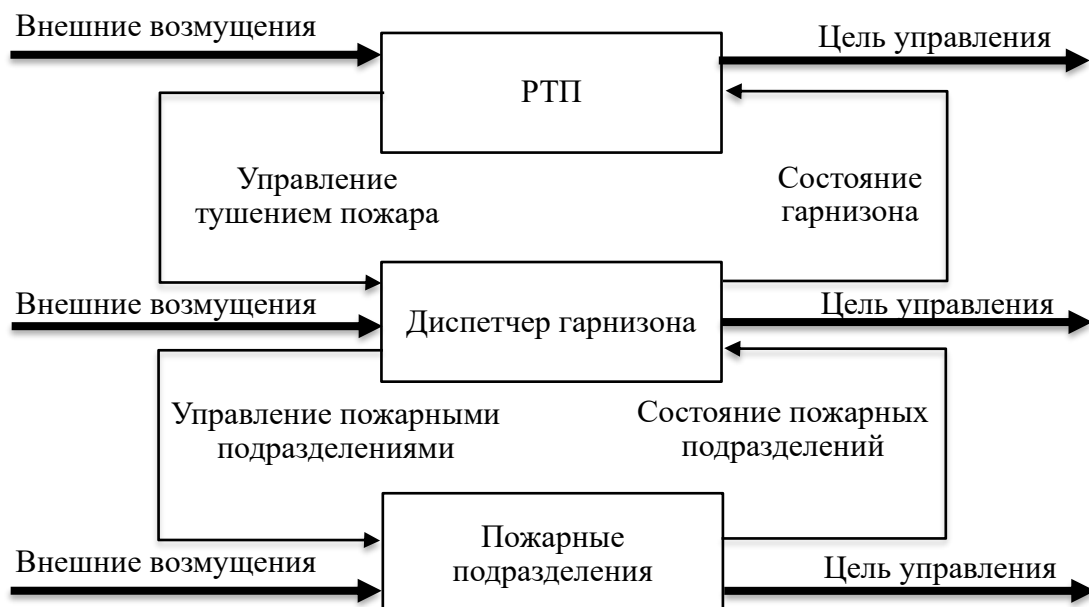


Рисунок 1.1 – Организационная система управления привлечением пожарных подразделений

В системе управления субъектами выступают диспетчер ПСГ и руководитель тушения пожара (РТП). Диспетчер обеспечивает формирование и направление оперативных отделений пожарных подразделений, находящихся на боевом дежурстве, включая отделения на автоцистернах (АЦ) и с другим вооружением, а РТП определяет приоритеты критериев и выбирает оптимальные варианты действий с учетом реальной обстановки. Таким образом, диспетчер выполняет функции технической координации и реализации алгоритмов предварительного планирования, а экспертная оценка и окончательное принятие тактических решений относятся к компетенции РТП.

Для обеспечения системного подхода к управлению процессом реагирования требуется формализация в виде технологии управления, которая, по определению [2], представляет собой совокупность методов, приемов и операций, последовательно реализуемых для достижения поставленной цели. Этапы этой технологии представлены на рисунке 1.2.

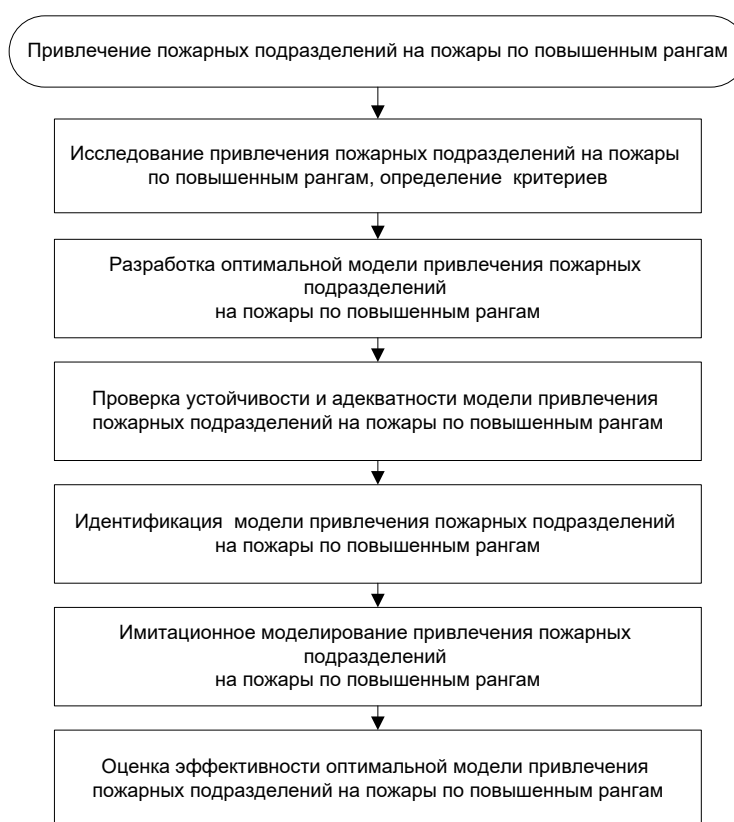


Рисунок 1.2 – Этапы технологии принятия решений в системе управления привлечением пожарно-спасательного гарнизона

Ключевым условием повышения эффективности управления является наличие технологии принятия решений, основанной на логической последовательности этапов – от построения модели до ее практической реализации. В предложенном подходе технология включает следующие этапы [57]:

1. Формализация модели реагирования, включающая описание параметров, критериев эффективности, допустимых стратегий и поведенческих гипотез.
2. Анализ модели, в рамках которого исследуются различные сценарии и последствия применения конкретных решений.
3. Синтез оптимальных решений, предполагающий выбор наиболее результативных стратегий привлечения подразделений.
4. Проверка устойчивости модели, включая чувствительность к параметрам и соответствие реальным условиям.
5. Идентификация системы, т.е. настройка модели на основе фактических данных, полученных из гарнизонов.
6. Имитационное моделирование, позволяющее протестировать модель без необходимости натуральных экспериментов.
7. Внедрение модели в практику, включая обучение диспетчерского состава и интеграцию с информационными системами.

Таким образом, пожарно-спасательный гарнизон представляет собой многоуровневую организационную систему управления, включающую подсистемы анализа, планирования и оперативного реагирования. Для обеспечения устойчивости ее функционирования необходима технология управления, основанная на формализованных моделях принятия решений и позволяющая адаптировать действия подразделений к реальной оперативной обстановке. В следующих разделах проведен анализ этой системы и факторов, определяющих ее эффективность при реагировании на пожары повышенных рангов.

1.2 Анализ управления привлечением пожарных подразделений пожарно-спасательных гарнизонов на примере ряда городов

1.2.1 Характеристика системы управления пожарно-спасательного гарнизона и динамика пожаров по повышенному рангу сложности

На территории субъектов Российской Федерации действует система пожарно-спасательных гарнизонов, включающая в себя 89 территориальных и 1547 местных гарнизонов. Государственная противопожарная служба располагает значительным ресурсным потенциалом: более 300 тысяч сотрудников, 13 600 зданий и сооружений (в том числе свыше 4000 пожарных депо), 18 634 единицы основной и специальной пожарной техники, а также 49 пожарных катеров.

Организация и координация деятельности всех видов пожарной охраны осуществляется в соответствии с нормативными правовыми актами МЧС России. Ведомством последовательно реализуются меры по совершенствованию управления, повышению готовности подразделений к действиям по предназначению и улучшению показателей реагирования.

Для оценки эффективности функционирования пожарно-спасательных подразделений применяется система критериев, отражающая динамику их оперативных действий: среднее время сбора и выезда по тревоге, среднее время следования к месту вызова, подачи первого ствола, а также локализации и полной ликвидации пожара [58].

Одним из ключевых показателей, позволяющих оценить тактическую сложность и последствия пожара, выступает его отнесение к категории «крупного». Однако, сегодня нет официального перечня характеристик, определяющих крупный пожар. В отмененных «Методические рекомендации по изучению пожаров» [59] критерием служил, например, материальный ущерб, превышающий

3420 минимальных размеров оплаты труда, либо групповая гибель пяти и более человек, либо травмирование десяти и более. Сегодня все чаще предлагается использовать комплексную систему оценок, включающую: число погибших и пострадавших, экономический ущерб, количество привлеченной техники, объем подачи стволов, длительность локализации и ликвидации, а также площадь пожара [60-62].

Анализ этих показателей позволяет сделать акцент на оценке эффективности реагирования именно при пожарах по повышенным номерам (рангам) вызова (пожар от № 2 и выше) [55], так как они, несмотря на относительную редкость, несут наибольшие последствия – как материальные, так и социальные.

Согласно данным ВНИИПО МЧС России [63], в 2023 году на территории Российской Федерации произошло 360 891 пожар, что на 2,4 % больше, чем в 2022 году. В результате пожаров погибло 7200 человек, в том числе 204 ребенка, пострадало 4399 человек. Было эвакуировано 98929 человек, спасено 13579 человек, а прямой экономический ущерб от пожаров составил более 9 млрд рублей. Условия нарастающей техногенной и социальной нагрузки свидетельствуют о необходимости не только профилактических мер, но и совершенствования механизмов оперативного реагирования.

Особое значение в системе пожарной безопасности имеют пожары по повышенным рангам. Несмотря на сравнительно небольшое количество таких пожаров, они требуют наибольшего привлечения дополнительных ресурсов и создают наибольшие управленческие сложности. Согласно проведенным исследованиям [64], за 2019-2022 гг. (таблица 1.1) свидетельствует, что при снижении общего количества пожаров доля пожаров по повышенным рангам увеличивается: с 2,79 % в 2019 году до 4,29 % в 2021 году, сохраняясь на высоком уровне в 2022 году (рисунок 1.3).

Таблица 1.1 – Статистические данные о пожарах в соответствии с их классификацией сложности

| Год | Кол-во пожаров, в соответствии с рангом пожара, ед. | | | | | | Всего от № 2 и выше | % от общего числа пожаров | Всего |
|------|---|--------------|----------|----------|----------|----------|---------------------|---------------------------|--------|
| | Ранг № 1 | Ранг № 1-БИС | Ранг № 2 | Ранг № 3 | Ранг № 4 | Ранг № 5 | | | |
| 2019 | 412662 | 45705 | 11044 | 1833 | 156 | 137 | 13170 | 2,79 | 471537 |
| 2020 | 377264 | 47623 | 12354 | 1874 | 162 | 117 | 14507 | 3,31 | 439394 |
| 2021 | 322003 | 52075 | 14157 | 2291 | 182 | 151 | 16781 | 4,29 | 390859 |
| 2022 | 292579 | 45208 | 12584 | 1941 | 178 | 112 | 14815 | 4,21 | 352602 |

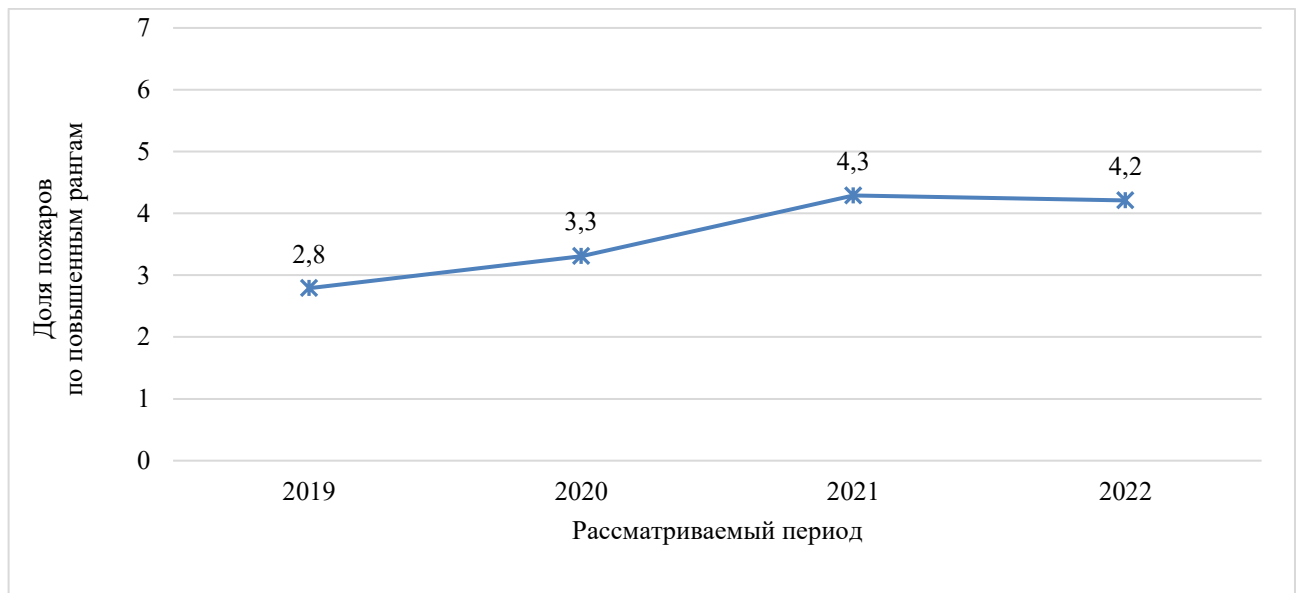


Рисунок 1.3 – Доля пожаров ранга № 2 и выше от общего числа пожаров за 2019-2022 гг.

Рост доли пожаров (рисунок 1.3), требующих привлечения дополнительных пожарных подразделений, отражает рост управленческой нагрузки на диспетчерский состав и указывает на необходимость адаптации системы реагирования к новым условиям. При этом, особую значимость приобретает задача согласования механизмов реагирования с уже действующей системой классификации пожаров по степени сложности. Поскольку именно ранг пожара определяет объем привлекаемых сил и средств, система планирования,

маршрутизации и диспетчеризации должна быть функционально увязана с ранговой структурой. Для выявления проблемных аспектов и потенциальных направлений оптимизации целесообразно проанализировать действующую систему классификации пожаров в Российской Федерации и сравнить ее с зарубежными подходами.

1.2.2 Анализ системы ранговой классификации сложности пожаров: российская и международная практика

Ранги пожара в Российской Федерации представляют собой условную классификацию степени сложности пожара, основанную преимущественно на объеме привлекаемых сил и средств. Однако на практике данная классификация варьируется не только между регионами, но и между отдельными ПСГ в пределах одного субъекта Российской Федерации. Анализ показал [64], что численность рангов и объемы выделяемых ресурсов существенно различаются даже при формально одинаковых условиях.

В соответствии с Приказом МЧС России от 25 октября 2017 года № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах» [55], система реагирования ПСГ базируется на организации оперативного реагирования на основе документов предварительного планирования, включающих:

расписания выезда подразделений, определяющие состав и очередность привлечения подразделений по конкретным района (подрайонам) выезда;

планы привлечения сил и средств, в том числе с учетом гарнизонного взаимодействия;

планы применения опорных пунктов управления и взаимодействия;

карточки тушения пожаров (КТП) и планы тушения пожаров (ПТП);

строевые записки гарнизонов, содержащие уточненные сведения.

В новом приказе МЧС России [56] только первые два пункта.

Особое значение имеет расписание выезда, представляющее собой регламентированный документ, которым руководствуются диспетчеры пожарной связи при направлении подразделений к месту пожара (рисунок 1.4). Он определяет оперативный состав сил и средств, привлекаемых для реагирования в пределах одного или нескольких муниципальных образований [65-67].

**Расписание выезда
подразделений Ивановского пожарно-спасательного гарнизона
для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на территории
Ивановского муниципального района Нижегородской области**

| Подразделение пожарной охраны | Перечень населенных пунктов, входящих в район (подрайон) выезда подразделения | Номер (ранг) пожара: | | | | | | | | АСР | |
|-------------------------------|---|----------------------------|---|--|---|--|--|---|---|--|---|
| | | № 1 | | № 1-БИС | | № 2 | | № 3 | | Привлекаемые подразделения | Расчетное время прибытия к наиболее удаленной точке района выезда |
| | | Привлекаемые подразделения | Расчетное время прибытия к наиболее удаленной точке района выезда | Привлекаемые подразделения | Расчетное время прибытия к наиболее удаленной точке района выезда | Привлекаемые подразделения | Расчетное время прибытия к наиболее удаленной точке района выезда | Привлекаемые подразделения | Расчетное время прибытия к наиболее удаленной точке района выезда | | |
| ПЧ-1 | г. Иваново | АЦ ПЧ-1; АСМ АСФ-1 | 3 мин 4 мин | АЦ ПЧ-1; АЦ ПЧ-1; КП ПЧ-1; АСО ПЧ-1; АСМ АСФ-1 | 3 мин 3 мин 3 мин 3 мин 4 мин | АЦ ПЧ-1; АЦ ПЧ-1; АЦ ПЧ-2; АЦ ПЧ-3; КП ПЧ-1; АЛ ПЧ-2; АСО ПЧ-1; АГДЗ ПЧ-2; АСМ АСФ-1 | 3 мин 3 мин 6 мин 10 мин 3 мин 6 мин 3 мин 6 мин 4 мин | АЦ ПЧ-1; АЦ ПЧ-1; АЦ ПЧ-2; АЦ ПЧ-2; АЦ ПЧ-3; АЦ ПЧ-3; АЦ ПЧ-3; КП ПЧ-1; АЛ ПЧ-2; АСО ПЧ-1; АГДЗ ПЧ-2; ПНС ПЧ-3; АСМ АСФ-1; АСМ АСФ-2; АРС ДПК-1; АРС ДПК-2 | 3 мин 3 мин 6 мин 6 мин 10 мин 10 мин 10 мин 3 мин 6 мин 6 мин 10 мин 4 мин 12 мин 7 мин 13 мин | АСМ АСФ-1; АСО ПЧ-1 Автобус ПАТП Трактор МПЗ | 4 мин 3 мин 17 мин 21 мин |
| Итого по видам: | | АЦ-1 АСМ-1 | | АЦ-2; КП-1; АСО-1; АСМ-1 | | АЦ-4; КП-1; АЛ-1; АСО-1; АГДЗ-1; АСМ-1 | | АЦ-7; КП-1; АЛ-1; АСО-1; АГДЗ-1; ПНС-1; АСМ-2; АРС-2 | | АСМ-1; АСО-1 Автобус-1 Трактор-1 | |
| Всего: | | 2 | | 5 | | 9 | | 16 | | 4 | |

Рисунок 1.4 – Пример расписания выезда подразделений пожарно-спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ [67]

В рамках исследования проведен сравнительный анализ расписаний выезда подразделений пожарно-спасательных гарнизонов, на примере субъектов Российской Федерации: Ростовской области, Нижегородской области, Астраханской области, Волгоградской области, Чукотского автономного округа и города Москвы [64]. Наиболее распространенным является диапазон рангов от № 1 до № 4. В то же время в городах федерального значения, таких как Москва и Санкт-Петербург, предусмотрен ранг пожара № 5 [68], отражающий расширенный состав привлекаемых пожарных подразделений. В отдельных регионах, особенно

малонаселенных (например, в Провиденском городском округе Чукотского автономного округа), верхний предел классификации составляет ранг № 2. Традиционно в остальных регионах Российской Федерации максимальный ранг пожара № 4.

Ранговая классификация выполняет не только классификационную, но и управленческую функцию, обеспечивая единообразие в принятии решений, планировании ресурсов и координации действий подразделений. Она применяется не только при тушении пожаров, но и при ликвидации иных чрезвычайных ситуаций, несмотря на отсутствие формализованной системы их рангов. Это свидетельствует о практической адаптации существующих методов планирования к многофункциональному использованию в условиях оперативной неопределенности управления.

Каждому рангу в расписании выезда соответствует определенное количество оперативных отделений, прежде всего автоцистерн (АЦ), реже – специальных машин. При этом, показатели существенно различаются в зависимости от масштаба и статуса населенного пункта, где выделяются две обобщенные категории: типовой региональный населенный пункт и город федерального значения.

Сравнительные данные по числу АЦ, привлекаемых на пожары различных рангов, представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Обобщенные данные по числу автоцистерн, привлекаемых по рангам пожара

| Ранг пожара | Типовой региональный населенный пункт (АЦ) | Город федерального значения (АЦ) |
|-------------|--|----------------------------------|
| № 1 | 2 | 4 |
| № 1-БИС | 4–5 | 8 |
| № 2 | 7–10 | 18 |
| № 3 | 9–15 | 24 |
| № 4 | 13–20 | 30 |
| № 5 | – | 36 |

Число автоцистерн (АЦ), привлекаемых на один и тот же ранг пожара, может существенно различаться в зависимости от конкретного пожарно-спасательного гарнизона, плотности застройки, удаленности объекта, конфигурации улично-дорожной сети и общей специфики региона [64]. Например, система реагирования территориального ПСГ Астраханской области ЮФО должна учитывать значительную протяженность территории, наличие многочисленных водоемов и разветвленной речной сети, а также географическую изолированность отдельных районов, особенно на границе с Республикой Калмыкия (рисунок 1.5) [69].



Рисунок 1.5 – Карта границ муниципальных образований Астраханской области

Характерной особенностью также является практика динамического управления рангом пожара, когда руководитель тушения получает полномочия оперативно изменять уровень реагирования и доукомплектовывать силы. Так,

например, возможно объявление ранга № 1-БИС с привлечением дополнительных трех АЦ в ходе изменения оперативной обстановки.

Проведенный анализ показал, что система ранговой классификации пожаров в регионах остается децентрализованной и неоднородной. В разных субъектах используются разные подходы к формированию расписаний выезда, что затрудняет сравнение между регионами и мешает разработке единых принципов реагирования. Такие различия также ограничивают возможности оценки оперативной обстановки и анализа эффективности работы подразделений.

Анализ зарубежного опыта классификации пожаров и управления силами реагирования позволил выявить передовые организационные и методологические подходы, которые могут быть адаптированы к отечественной практике. Особый интерес представляют разработанные в США и странах Европейского союза системы, обеспечивающие гибкость реагирования и единообразие в классификации инцидентов.

В Соединенных Штатах Америки применяется стандартизированная система управления инцидентами ICS (Incident Command System) [70-72], разработанная для обеспечения эффективного взаимодействия всех служб при чрезвычайных ситуациях различного масштаба. Система включает пять уровней (типов) инцидентов в зависимости от сложности и требуемого объема ресурсов:

Тип I – инциденты федерального уровня, связанные с чрезвычайно сложными и масштабными ситуациями, требующими национальной координации и длительного управления;

Тип II – значительные инциденты, контролируемые региональными командами с привлечением межведомственных ресурсов;

Тип III – локальные происшествия средней сложности, где необходимо ограниченное взаимодействие между службами;

Тип IV – небольшие инциденты, полностью управляемые местными подразделениями;

Тип V – простые происшествия, ликвидируемые на месте силами одного дежурного расчета.

Система ICS основана на принципах модульного расширения, единоначалия, функционального разделения ролей и прозрачной координации между задействованными структурами. Ее преимущества включают возможность масштабирования под конкретную ситуацию, использование современных технологических решений (включая авиацию, дроны и аналитические платформы), а также четкое распределение ответственности.

В странах Европейского союза не существует единой системы рангов, однако активно применяется типологизация инцидентов по масштабу и типу объекта. Например:

по масштабу различают локальные, региональные и трансграничные пожары, определяющие уровень задействованных ресурсов;

по типу объекта классификация различает пожары в жилом фонде, на промышленных объектах и в природной среде.

Особого внимания заслуживает система Alarmstufen, применяемая в Австрии [73]. Она предусматривает уровни тревоги, определяемые в зависимости от типа происшествия и количества необходимых ресурсов. Структура включает отдельные категории: пожарные операции, технические аварийно-спасательные работы и инциденты с загрязняющими веществами. Пример классификации приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Пример классификации уровней тревоги в системе Alarmstufen (Австрия)

| Категория | Уровень | Описание ситуации | Привлекаемые силы |
|--------------------|---------|--|----------------------------------|
| Технические работы | T1 | Мелкие технические действия (откачка, подъем авто) | Местная пожарная часть |
| | T2 | ДТП с пострадавшими | Местная + соседние части (2 ГСК) |
| | T3 | Крупные ДТП с пострадавшими | 4–6 ГСК, координация округов |
| Пожары | B1 | Незначительные (мусор, подозрение на возгорание) | Местная часть |
| | B2 | Пожар в квартире или подвале | 3 ПА, включая 1 танковую |

Продолжение таблицы 1.3

| Категория | Уровень | Описание ситуации | Привлекаемые силы |
|-------------|---------|--|------------------------------------|
| | Б3 | Жилой дом, крыша, малый бизнес | 6 ПА (2 танковые, 4 с СИЗОД) |
| | Б4 | Крупные объекты (фермы, промышленность) | 9 ПА (3 тяжелые, 6 с СИЗОД) |
| Загрязнения | С1 | Небольшой разлив нефти и ПХВ | Местная часть |
| | С2 | Локальные химические аварии | Части с ЗК 3-го уровня |
| | С3 | Крупные химические ЧС, танкеры, загрязнение водоемов | Местные и специализированные части |

Применение данной системы обеспечивает высокую управляемость и предсказуемость реагирования, а также обеспечивает связь между масштабом происшествия и составом задействованных подразделений.

В научной литературе система рангов пожара исследовалась преимущественно с точки зрения обоснования критериев их присвоения [74-80], тогда как практические аспекты применения рангов в расписаниях выезда остаются недостаточно изученными. Настоящее исследование позволило установить наличие существенных различий в интерпретации рангов между регионами, что непосредственно влияет на характер и объемы привлекаемых сил и средств. Полученные результаты имеют прикладное значение для последующего анализа проблем формирования расписаний выезда и разработки предложений по их нормативной унификации, который будет представлен в следующей главе.

1.3 Проблемы расписания выезда подразделений местных (территориальных) пожарно-спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на примере ряда городов

Раздел подготовлен на основе публикации автора [81-84], посвященной анализу управления очередностью привлечения пожарных подразделений (ПП) на пожары в соответствии с расписанием выезда подразделений местных (территориальных) ПСГ для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ.

В качестве примеров для последующего анализа в настоящем разделе выбраны пожары ранга № 1-БИС и № 2, поскольку они представляют собой наиболее характерные для анализа практики реагирования и статистически значимые случаи, расположенные по обе стороны переходной границы между повседневными пожарами и инцидентами, относящимися к категории повышенной сложности. Пожары ранга № 1-БИС являются промежуточной формой между стандартными происшествиями и пожарами, требующими дополнительных сил и средств, и часто остаются вне зоны системного учета и анализа, несмотря на их высокую частоту и значительное влияние на оперативную нагрузку гарнизонов. В свою очередь, пожары ранга № 2 официально относятся к пожарам повышенного ранга, регистрируются в обязательном порядке и служат индикатором ключевых тактических и управленческих проблем при масштабном реагировании. Выбор этих двух рангов объясняется не только их значимой ролью в практике гарнизонной службы, но и наличием достаточной статистической базы. Согласно обобщенным данным за 2019–2022 гг., на пожары ранга № 2 приходится в среднем около 3 % от общего числа пожаров, в то время как суммарная доля пожаров более высоких рангов (№ 3, № 4 и № 5) не превышает 1 % [63]. Таким образом, пожары ранга № 2 являются статистически значимыми для исследования, а рассмотрение рангов № 3 и выше нецелесообразно из-за их редкости и отсутствия достоверной базы для сопоставительного анализа. Применение рассматриваемых рангов в

качестве фокуса позволяет обоснованно выявить проблемные зоны в существующей системе предварительного планирования и формирования расписаний выезда, а также подготовить предложения по совершенствованию механизмов реагирования на различных этапах развития пожара.

1.3.1 Проблемы очередности привлечения пожарных подразделений на пожары по рангу № 1-БИС, в соответствии с расписанием выезда

Система реагирования пожарно-спасательных гарнизонов (ПСГ) формируется исходя из основных принципов, закрепленных в нормативных документах [55-56]:

разделение территорий муниципальных образований на районы выезда подразделений с учетом оптимальной дислокации пожарных подразделений (ПП) и обеспечением прибытия первого расчета в наиболее удаленную точку в кратчайшие сроки;

обеспечение возможности быстрого сосредоточения на месте крупного пожара СиС местного ПСГ в объеме, достаточном для локализации возгорания на ранней стадии;

обеспечение готовности гарнизона к одновременному реагированию на два и более пожара.

Согласно действующей практике, пожары ранга № 2 и выше подлежат обязательному учету, документированию и последующему анализу со стороны всех подразделений соответствующего территориального органа МЧС России. Пожары меньшей сложности, включая повседневные происшествия ранга № 1, как правило, рассматриваются только на уровне дежурных смен в пределах одного подразделения. Пожары ранга № 1-БИС занимают промежуточное положение: они происходят чаще, масштабнее типичных вызовов, но при этом формально не относятся к категории крупных или тактически сложных. По этой причине они

зачастую остаются вне систематического анализа, несмотря на их реальное значение и последствия для системы реагирования.

На практике такие пожары могут иметь серьезные последствия, особенно в условиях высокой плотности застройки, наличия нестандартных объектов или ограниченного времени на реагирование. В рамках настоящего исследования проведен целенаправленный анализ порядка привлечения пожарных подразделений на произошедшие пожары ранга №1-БИС с целью выявления факторов, влияющих на недостаточную оперативность реагирования и дисфункции механизмов планирования при их тушении.

Одним из ключевых показателей оперативности реагирования является время прибытия ПТ к месту вызова [85]. Для его расчета необходимо учитывать время следования, которое напрямую зависит от средней скорости движения подразделения. Во многих исследованиях при определении этого показателя используется распространенная формула, приведенная в сводах правил, учебной и нормативной литературе [86-89]:

$$\tau = \frac{L \cdot 60}{V_{ПА}}, \quad (1.1)$$

где τ – расчетное время следование пожарного автомобиля, *мин.*;

L – путь от подразделения до условного пожара *км.*;

$V_{ПА}$ – скорость пожарного автомобиля к месту условного пожара *км/ч.*

Время прибытия (соответственно и средняя скорость следования пожарного автомобиля) может быть также рассчитана в соответствии с Методикой расчета среднего времени прибытия пожарных подразделений к месту вызова (на ЧС и (или) пожары) в городах и сельской местности утвержденная заместителем министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий О.В. Баженовым от 19.12.2016.

Также, скорость следования пожарного автомобиля была исследована многими авторами – М.Д. Безбородько, М.В. Алешковым, Я.С. Повзиком,

В.В. Роевко и В.А. Пряничниковым [36-41]. Но в данной работе обращается внимание на время оперативного сосредоточения ПП для тушения пожара, в зависимости от очередности высылки пожарных подразделений, местоположения объекта и маршрута следования к месту пожара.

Таким образом, для идентификации скорости следования пожарного автомобиля, предлагается использовать географические информационные системы (ГИС), что в дальнейшем может быть рассмотрено – критериально.

На сегодняшний день существуют различные виды географических информационных систем. На российском рынке, можно выделить несколько ведущих картографических и информационных ресурсов: 2ГИС, Яндекс.Карты, Google Maps. Внедрение ГИС в методы определения параметров функционирования пожарно-спасательных подразделений нашло широкое применение в практике планирования, анализа и моделирования оперативного реагирования. Использование ГИС позволяет учитывать пространственные характеристики территорий, особенности улично-дорожной сети, плотность застройки и размещение подразделений, тем самым обеспечивая более точную оценку времени прибытия, оптимальных маршрутов следования и потенциальных зон риска [90-92]. Но источник ресурса не имеет значение, так как важно определить скорость пожарного автомобиля, с учетом загруженности транспортного потока, время следования до объекта пожара, как предлагают авторы [42, 43] и оптимальный путь следования используя ГИС. Поэтому скорость пожарного автомобиля к месту условного пожара в данном разделе работы была определена как [42, 43]:

$$V_{ПА} = V_{ТП} \cdot K_{СРПР} \cdot K_{ВЛ} \quad (1.2)$$

где $V_{ТП}$ – средняя скорость транспортного потока (определяется с использованием ГИС) км/ч.;

$K_{СРПР}$ – средний коэффициент преимущества;

$K_{ВЛ}$ – общий коэффициент влияния различных факторов.

Коэффициент $K_{ВЛ}$ рассчитывается как произведение коэффициентов влияния различных факторов:

$$K_{ВЛ} = K_{ВЛР} \cdot K_{ВЛПА} \cdot K_{ВЛДН} \cdot K_{ВЛВС}, \quad (1.3)$$

где $K_{ВЛР}$ – коэффициент влияния расстояния до места условного пожара;

$K_{ВЛПА}$ – коэффициент влияния типа техники;

$K_{ВЛДН}$ – коэффициент влияния дня недели;

$K_{ВЛВС}$ – коэффициент влияния времени суток.

Для примера, в работе изучен пожар произошедший 23.05.2022 в районе выезда 3 ПСЧ г. Астрахани ранга № 1-БИС [81]. Согласно расписанию, были направлены 2 автоцистерны 3 ПСЧ, 2 автоцистерны 2 ПСЧ и 1 автоцистерна отдельного поста (ОП) 9 ПСЧ. Однако ближайшим подразделением была специализированная ПСЧ, маршрут до которой был на 600 м короче (рисунок 1.6).

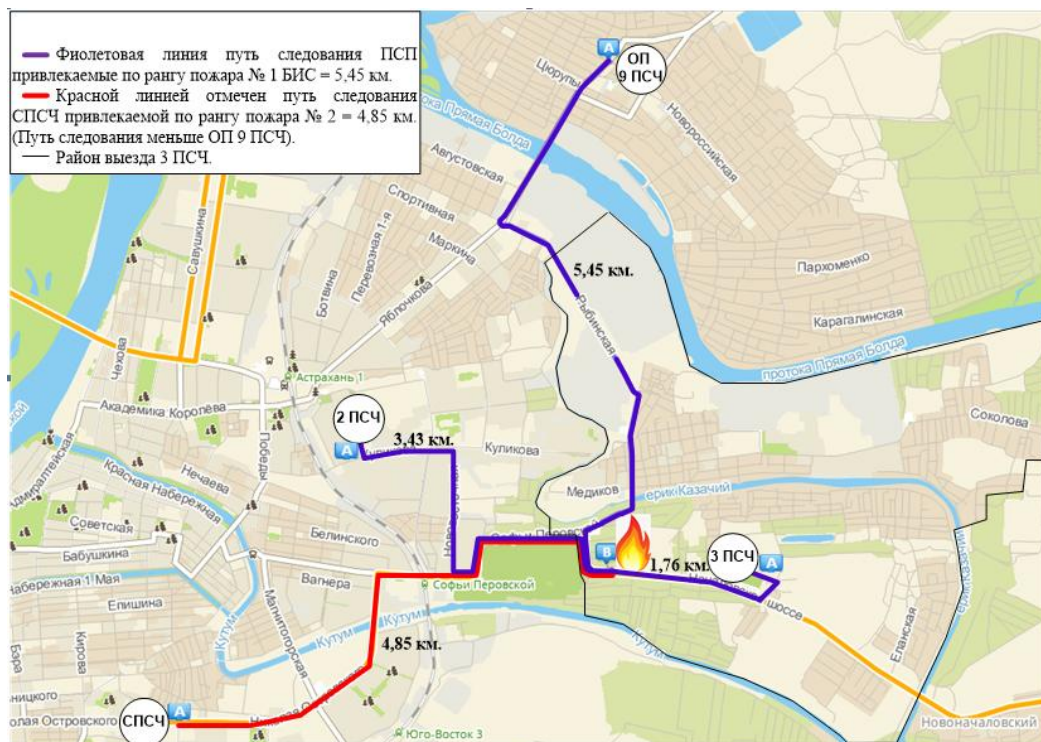


Рисунок 1.6 – Пример привлечения сил и средств на произошедший пожар 23.05.2022 в г. Астрахани

Действующая система статистического учета ограничивается фиксацией времени прибытия первого ПП. Это не позволяет провести всесторонний анализ оперативности и координации тушения. В связи с этим автор предлагает ввести термин «оперативного сосредоточения» – интервал времени прибытия всей необходимой ближайших ПП, способных обеспечить локализацию пожара на раннем этапе. Такое понятие позволит детальнее анализировать эффективность реагирования и выявлять слабые места в системе привлечения.

Таким образом, выявлена общая проблема: действующая система расписаний выезда не всегда обеспечивает оперативное сосредоточение необходимых сил и средств.

Сравнительный анализ с г. Москвой выявил аналогичные проблемы [81]. Пожар по адресу ул. Тверская, д. 27, стр. 2, продемонстрировал несоответствие между фактически прибывшими ПП и запланированными по расписанию выезда [68]. Однако фактическая очередность отражала логичную последовательность прибытия – по географической доступности и времени, а не по формальному плану (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Очередность прибытия пожарных подразделений в соответствии с расписанием выезда, ближайших автоцистерн (с учетом времени сбора и выезда дежурного караула, а также данным географических систем) и фактический прибывших на пожар по адресу: г. Москва, улица Тверская, дом 27, стр. 2

| № п/п | Подразделения, согласно расписанию выезда | Расчетное время прибытия, согласно расписанию выезда к наиболее удаленной точке района выезда (мин.) | Ближайшие подразделения к ул. Тверская, дом 27, стр. 2 | Расчетное время прибытия по данным ГИС (мин.) | Подразделения, прибывшие на пожар | Фактическое время прибытия |
|-------|---|--|--|---|-----------------------------------|----------------------------|
| 1. | АЦ 1 ПСЧ | 7-9 | АЦ 7 ПСЧ | 4 | АЦ 1 ПСЧ | 5 |
| 2. | АЦ 1 ПСЧ | 7-9. | АЦ 1 ПСЧ | 7 | АЦ 3 ПСЧ | 5 |
| 3. | АЦ 2 ПСЧ | 7-9 | АЦ 1 ПСЧ | 7 | АЦ 2 ПСЧ | 6 |
| 4. | АЦ 3 ПСЧ | 8-10 | АЦ 8 ПСЧ | 5 | АЦ 4 ПСЧ | 10 |
| 5. | АЦ 4 ПСЧ | 20-22 | АЦ 2 ПСЧ | 5 | АЦ 5 ПСЧ | 23 |
| 6. | АЦ 5 ПСЧ | 16-18 | АЦ 2 ПСЧ | 5 | | |
| 7. | АЦ 6 ПСЧ | 10-12 | АЦ 3 ПСЧ | 8 | | |
| | | | АЦ 4 ПСЧ | 9 | | |
| | | | АЦ 9 ПСЧ | 11 | | |
| | | | АЦ 5 ПСЧ | 10 | | |

Проведенный анализ возможности оперативного сосредоточения ближайших СиС ПСГ при условном пожаре ранга № 1-БИС в различных точках района выезда выявил ряд отклонений между планируемыми значениями, закрепленными в расписании выезда, и фактическими условиями реализации реагирования. Установлено, что особенности маршрутов следования, а также расположение объекта пожара, оказывают значительное влияние на очередность прибытия подразделений и соблюдение нормативных сроков реагирования.

В качестве иллюстрации были выбраны четыре условные точки возникновения пожара, размещенные в различных местах одного района выезда:

восточный часть – ул. Тверская, д. 7;

северный часть – Трехпрудный пер., д. 9, стр. 1;

западный часть – ул. Большая Никитская, д. 51, стр. 1;

южный часть – Большой Афанасьевский пер., д. 33.

Для каждой точки выполнено моделирование маршрутов движения пожарных подразделений с использованием ГИС (рисунок 1.7-1.10), а также определено расчетное время прибытия с учетом нормативного времени сбора, выезда и скорости следования.

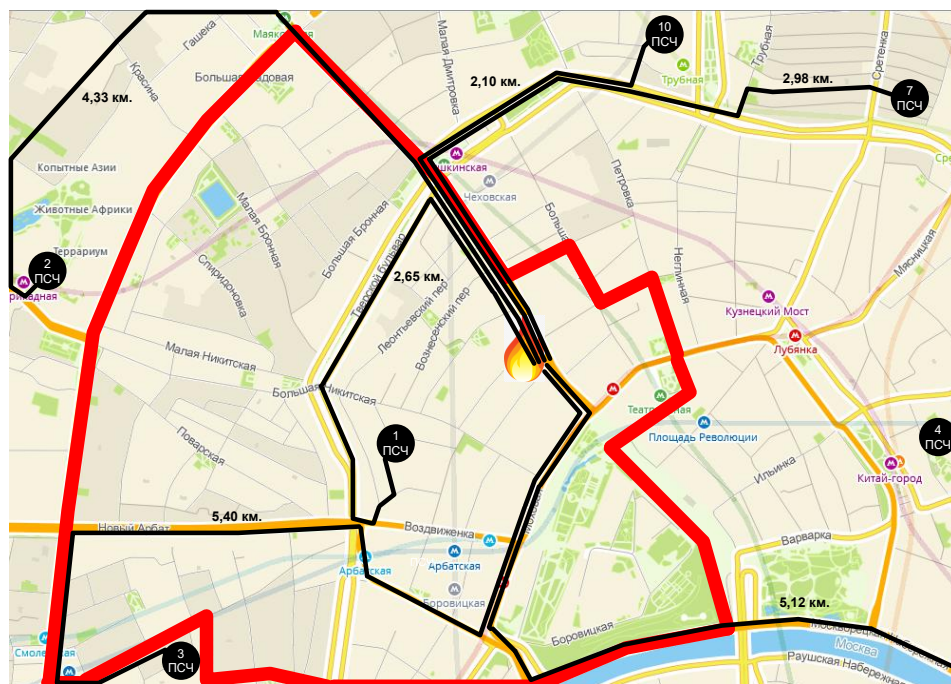


Рисунок 1.7 – Путь следования ближайших пожарно-спасательных подразделений по рангу пожара № 1-БИС по ул. Тверская, д. 7

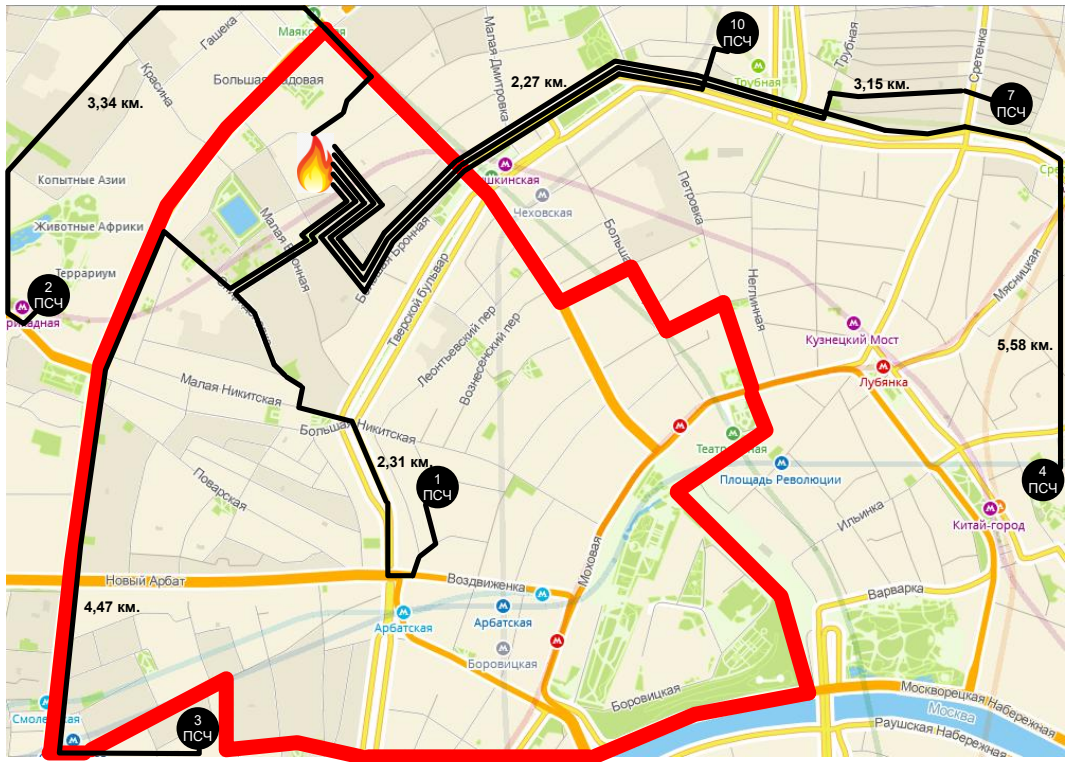


Рисунок 1.8 – Путь следования ближайших пожарных подразделений по рангу пожара № 1-БИС по ул. Трехпрудный переулок, д. 9, стр. 1

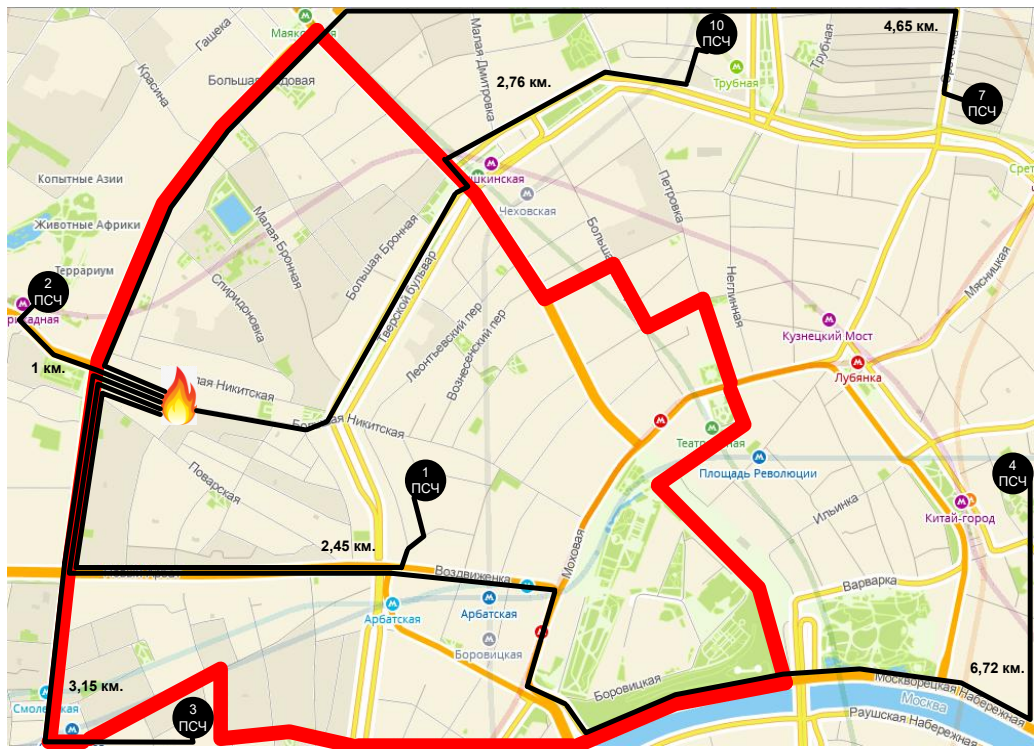


Рисунок 1.9 – Путь следования ближайших пожарных подразделений по рангу пожара № 1 БИС по ул. Большая Никитская улица, д. 51, стр. 1

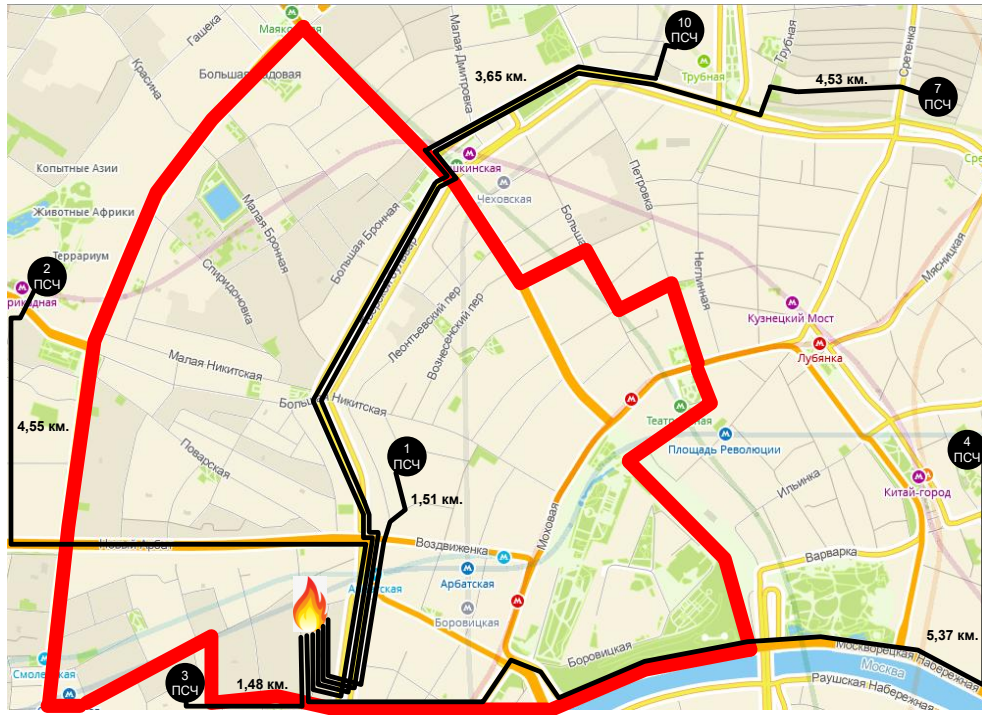


Рисунок 1.10 – Путь следования ближайших пожарных подразделений по рангу пожара № 1-БИС по ул. Большой Афанасьевский переулок, д. 33

В таблице 1.5 представлена очередность прибытия автоцистерн от ближайших ПП, направляемых по расписанию выезда на каждый из условных пожаров. Наименования подразделений изменены; для наглядности различная очередность прибытия подразделений визуализирована с использованием цветовой маркировки.

Таблица 1.5 – Очередность прибытия пожарных подразделений, в соответствии с расписанием выезда и ближайших на четыре различных условных пожара

| № п/п | Подразделения, согласно расписанию выезда | Расчетное время прибытия, согласно расписанию выезда к наиболее удаленной точке | Ближайшие подразделения к ул. Тверская, д. 7 | Расчетное время прибытия по данным ГИС (мин.) | Ближайшие подразделения к ул. Трехпрудный переулок, д. 9 стр. 1 | Расчетное время прибытия по данным ГИС (мин.) | Ближайшие подразделения к ул. Большая Никитская улица, д. 51 стр. 1 | Расчетное время прибытия по данным ГИС (мин.) | Ближайшие подразделения к ул. Большой Афанасьевский переулок, д. 33 | Расчетное время прибытия по данным ГИС (мин.) |
|-------|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | АЦ 1 ПСЧ | 7-9 | АЦ 10 ПСЧ | 3,8 | АЦ 10 ПСЧ | 4 | АЦ 2 ПСЧ | 2,3 | АЦ 3 ПСЧ | 2,9 |
| 2. | АЦ 1 ПСЧ | 7-9. | АЦ 1 ПСЧ | 4,5 | АЦ 1 ПСЧ | 4,1 | АЦ 2 ПСЧ- | 2,3 | АЦ 1 ПСЧ | 3 |

Продолжение таблицы 1.5:

| | | | | | | | | | | |
|----|-------------|-------|-------------|------|-------------|------|--------------|------|--------------|-------|
| 3. | АЦ 2 ПСЧ | 7-9 | АЦ 1 ПСЧ | 4,5 | АЦ 1 ПСЧ | 4,1 | АЦ 1 ПСЧ | 4,2 | АЦ 1 ПСЧ | 3 |
| 4. | АЦ 3 ПСЧ | 8-10 | АЦ 7 ПСЧ | 4,9 | АЦ 7 ПСЧ | 5,2 | АЦ 1 ПСЧ | 4,2 | АЦ 10 ПСЧ | 5,9 |
| 5. | АЦ 4 ПСЧ | 20-22 | АЦ 2 ПСЧ | 6,7 | АЦ 2 ПСЧ | 5,2 | АЦ 10 ПСЧ | 4,6 | АЦ 7 ПСЧ | 7 |
| 6. | АЦ 5 ПСЧ | 16-18 | АЦ 2 ПСЧ | 6,7 | АЦ 2 ПСЧ | 5,2 | АЦ 3 ПСЧ | 5,2 | АЦ 2 ПСЧ | 7,1 |
| 7. | АЦ 6 ПСЧ | 10-12 | АЦ 4 ПСЧ | 7,8. | АЦ 3 ПСЧ | 6,9 | АЦ 7 ПСЧ | 6,2 | АЦ 2 ПСЧ | 7,1 |
| | | | АЦ 5 ПСЧ | 7,8 | АЦ 4 ПСЧ | 8,4 | АЦ 6 ПСЧ | 9,6 | АЦ 4 ПСЧ | 8,2 |
| | | | АЦ 3 ПСЧ | 8,1 | АЦ 6 ПСЧ | 12,2 | АЦ 4 ПСЧ | 9,9 | АЦ 5 ПСЧ | 8,3 |
| | | | АЦ 6 ПСЧ | 13,4 | АЦ 5 ПСЧ | 12,9 | АЦ 5 ПСЧ | 10,1 | АЦ 6 ПСЧ | 10,38 |

Пожары по повышенным рангам, хотя и составляют меньшую часть общего количества пожаров, влекут наибольшие материальные потери и социальные последствия. Для повышения эффективности реагирования целесообразно ввести аналитический показатель «время сосредоточения», использовать алгоритмы поддержки принятия решений и интеграцию геоинформационных систем. Реализация указанных мер позволит обеспечить своевременное и рациональное сосредоточение сил и средств.

Дальнейшее совершенствование системы планирования привлечения подразделений на пожары повышенных рангов требует перехода от статических схем и однотипных планов реагирования, к методам, учитывающим фактическое местоположение объектов защиты, особенности транспортных маршрутов и оперативную доступность подразделений. Такой подход формирует основу для разработки более гибкого метода планирования и построения модели поддержки принятия управленческих решений, ориентированной на сокращение времени сосредоточения и повышение оперативно-тактической готовности гарнизона.

1.3.2 Проблемы очередности привлечения пожарных подразделений на пожары по рангу № 2 и выше, в соответствии с расписанием выезда

В дальнейшем, в рамках исследования проблем очередности реагирования на пожары по повышенным рангам (№ 2), был проанализирован пожар, произошедший в 2020 году по адресу: г. Москва, улица Тверская, д. 24 ЦАО [81]. Данный инцидент был выбран как репрезентативный пример, характеризующий особенности привлечения СиС ПСГ. Анализ проводился на основании документированных сведений о ходе реагирования, временных характеристиках прибытия подразделений и порядка высылки, в соответствии с актуальным расписанием выезда [68].

Объект пожара – административное разноуровневое 4-6 этажное кирпичное здание, расположенное в районе выезда одной из ПСЧ ФПС пожарно-спасательного отряда ФПС ЦАО г. Москвы. Наименования ПП не разглашаются, указана нумерация автоцистерн ПП, в соответствии с расписанием выезда.

Построен график фактического времени прибытия ПП (зеленые точки) на пожар в 2020 году в г. Москве, в сравнении с расчетным (серые столбцы) (рисунок 1.11). На горизонтальной оси координат отмечена очередность АЦ согласно расписанию выезда. На вертикальной оси отмечено время прибытия. Плоскость системы координат дифференцирована цветовыми линиями по рангам пожара № 1, 1 БИС, 2, 3, 4.

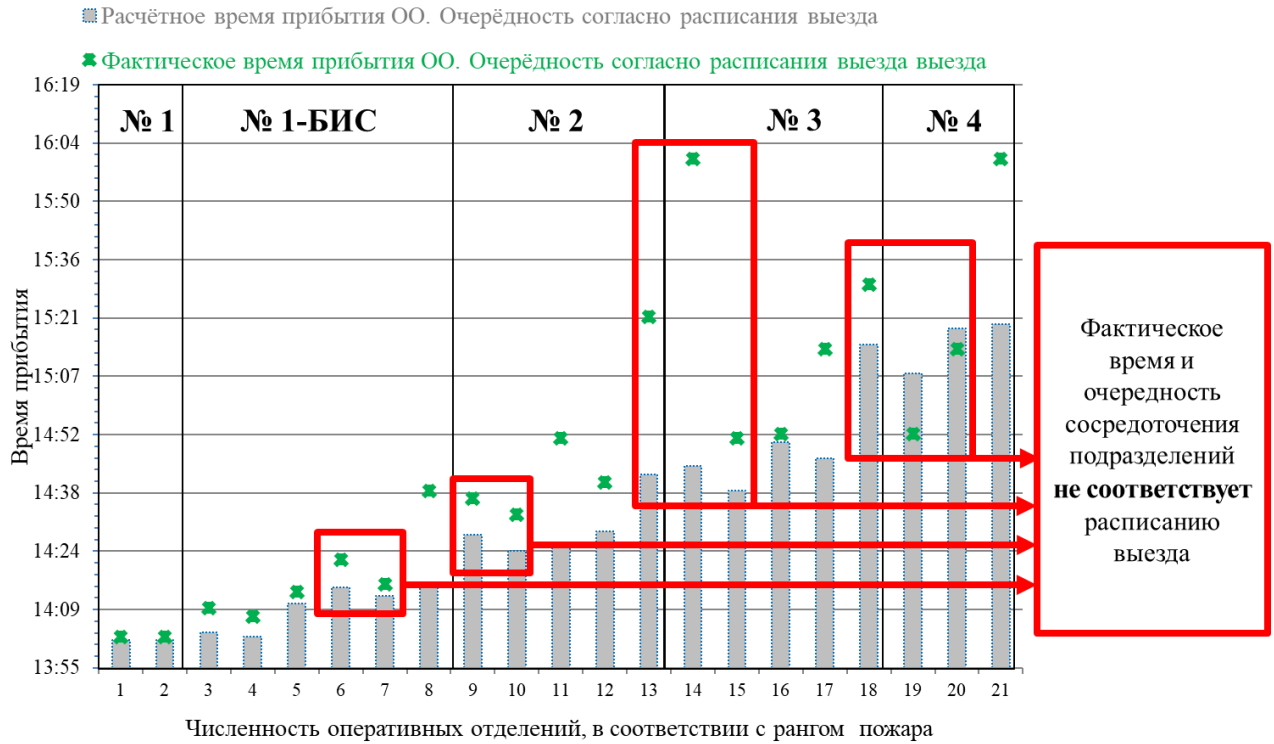


Рисунок 1.11 – Динамика формирования прогнозируемой и фактической очередности привлечения пожарных подразделений на произошедший пожар

Анализ данных, представленных на рисунке 1.11, свидетельствует о значительной неравномерности очередности прибытия подразделений пожарной охраны по мере наращивания ранга пожара. Особое внимание заслуживают случаи, когда отдельные подразделения прибывают на место происшествия быстрее, чем ранее назначенные: так, по рангу № 1-БИС – 4-я и 7-я автоцистерны (АЦ); по рангу № 2 – 10-я и 12-я АЦ; по рангу № 3 – 15-я, 16-я и 17-я АЦ; по рангу № 4 – 19-я и 20-я АЦ. Эти расхождения могут быть связаны с географическим положением подразделений, особенностями дорожной сети и текущей загруженностью маршрутов.

Предполагается, что подобные случаи могут оказывать влияние на тактические решения руководителя тушения пожара. В частности, задержки в прибытии назначенных по расписанию подразделений могут побуждать к повторному повышению ранга пожара с целью привлечения дополнительных сил и средств, обеспечивающих непрерывность боевых действий и снижение оперативных рисков.

Важным результатом проведенного анализа пожаров по рангам № 1-БИС и № 2 является выявление того, что очередность прибытия ПП в расписаниях выезда, как правило, формируется на основе расчетного времени следования до наиболее удаленной точки подрайона выезда (рисунок 1.12 и 1.13).

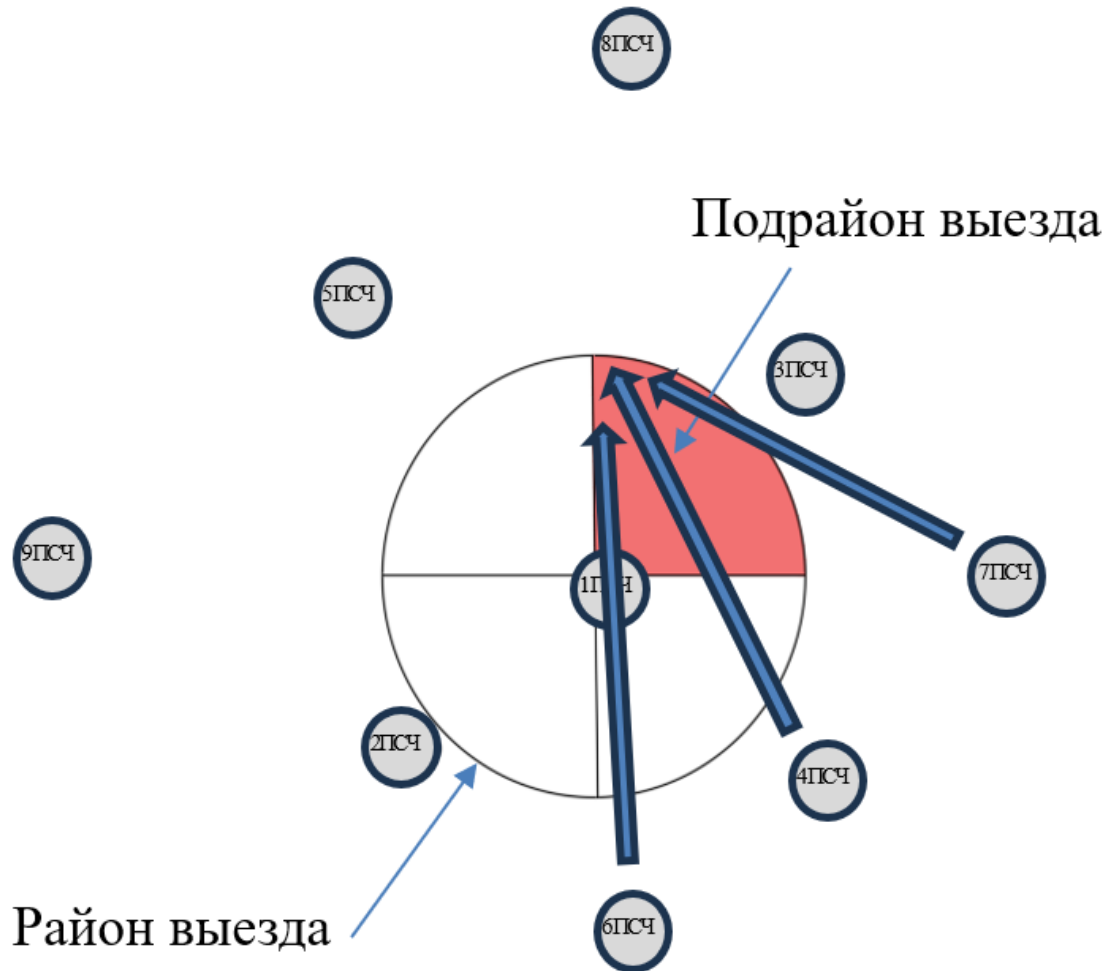


Рисунок 1.12 – Пример моделирования прибытия пожарных подразделений в удаленную точку подрайона выезда

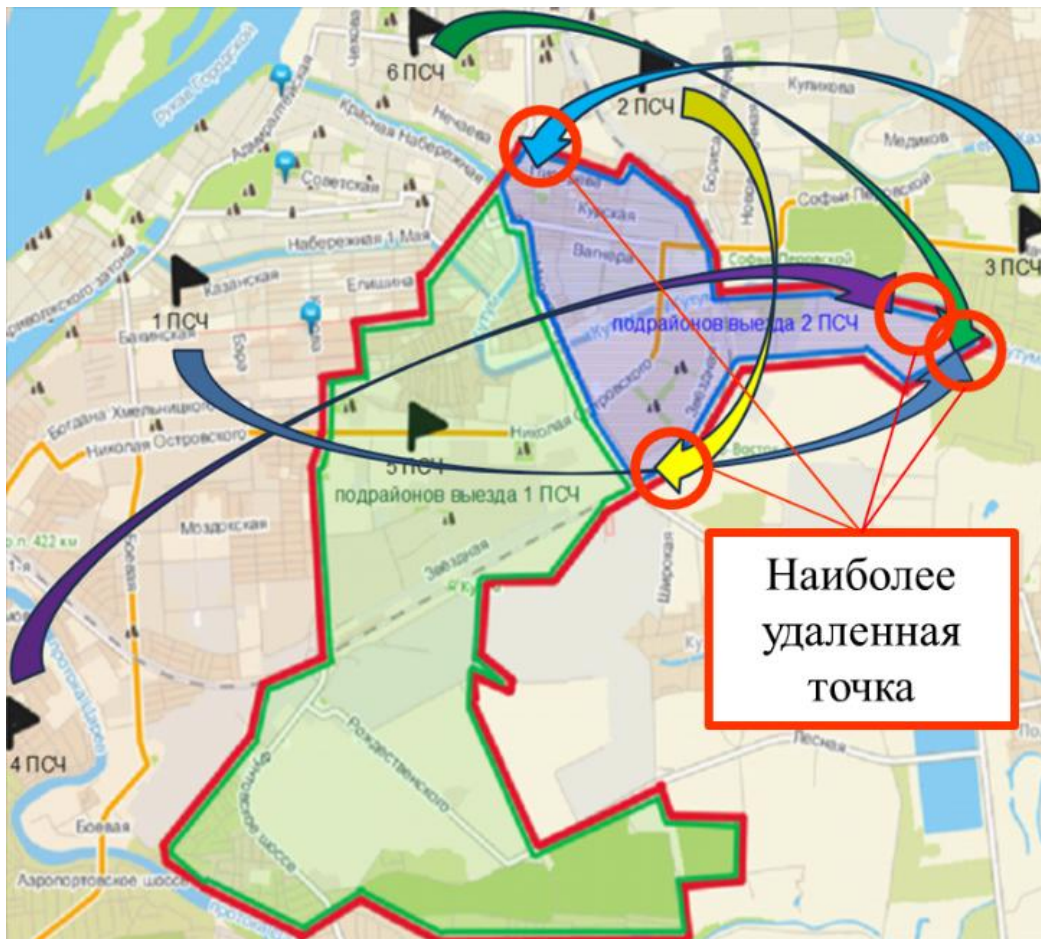


Рисунок 1.13 – Пример деления районов выезда на подрайоны и построения очередности прибытия

Такой подход позволяет обеспечить формальную сбалансированность предварительного планирования, однако не учитывает актуальные особенности улично-дорожной сети, транспортную загруженность и локальные препятствия, что в ряде случаев приводит к существенным временным разрывам между прибытием подразделений на место вызова. Данный фактор критически влияет на оперативность и эффективность реагирования, особенно при пожарах по повышенным рангам, где время прибытия имеет решающее значение. Таким образом, результаты анализа подчеркивают необходимость пересмотра существующего метода формирования расписаний выезда, с учетом реальных параметров расположения объектов защиты и маршрутов следования ПП.

1.4 Оценка числовых характеристик и вероятности повышений ранга пожара

Целью исследования является не только сокращение времени прибытия пожарных подразделений, но и предотвращение избыточного повышения ранга пожара, осуществляемого РТП в условиях нехватки СиС на месте пожара. В связи с этим, целесообразно определить интенсивность и частоту возможных повышений рангов пожара со стороны подразделений ПСГ. Под повышением ранга пожара будем понимать увеличение его уровня сложности относительно исходного ранга № 1. Ранг № 1 принимается за 0 повышений, ранг № 1-БИС – за одно повышение, ранг № 2 – за два, ранг № 3 – за три и т.д. При этом не имеет значения, присвоен ли более высокий ранг сразу (например, № 3 при автоматической высылке СиС) или в результате поэтапного повышения: в расчет включается достигнутый максимальный ранг, пересчитанный в число повышений по указанной схеме.

В рамках исследования, автором на примере города Астрахани, проведен анализ вероятности повышения ранга пожара по статистическим данным за 2022 год [88]. Из 577 зарегистрированных пожаров с материальным ущербом: один классифицирован по рангу № 3, два – по рангу № 2, тридцать три – по рангу № 1-БИС, остальные – по рангу № 1. Данные о пожарах в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Распределение числа повышения ранга пожаров в системе

| Статистические показатели | Число повышений рангов пожаров | | | | | Контрольный столбец |
|----------------------------|--------------------------------|----|---|---|---|---------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Эмпирическое число пожаров | 539 | 37 | 2 | 1 | 0 | 577 |

Вычисляем математическое ожидание (среднее значение) количества повышений ранга пожара к общему числу пожаров [93-95]:

$$\mu = \frac{0 \times 539 + 1 \times 37 + 2 \times 2 + 3 \times 1 + 0 \times 4}{577} = 0,08 \text{ повыш./пожары}^{-1}, \quad (1.4)$$

Вычислим дисперсию (рассеивание данных) [93-95]:

$$D = \frac{0^2 \times 539 + 1^2 \times 37 + 2^2 \times 2 + 3^2 \times 1 + 0^2 \times 4}{577} - 0,08^2 = \quad (1.5)$$

$$= 0,09(\text{повыш./пожары}^{-1})^2,$$

Вычислим стандартное отклонение данных [93-95]:

$$\sigma = D^{0,5} = 0,09^{0,5} = 0,3 \text{ повыш./пожары}^{-1}, \quad (1.6)$$

Вычислим максимальное теоретическое количество повышений ранга пожара при пожаре [93-95]:

$$N_{\max} = \mu + 3 \cdot \sigma = 0,08 + 3 \cdot 0,3 = 0,98 \rightarrow 1 \text{ повышение}, \quad (1.7)$$

Автором произведено повторное вычисление, но количество повышений изменено, а именно: № 1-БИС рассматривается, как разовое повышение равно 37, пожар рангом № 2 как повышение трижды, и пожар рангом № 3 как не происходящее. Тогда, максимальное теоретическое количество повышений ранга пожара равно 0,97.

Теоретическая модель имеет экспоненциальный вид и определяется соотношением [93-95]:

$$N_T = 577 \times \frac{\mu^k}{k!} \exp(-\mu), \quad (1.8)$$

где 577 – наблюдаемое количество пожаров;

μ – математическое ожидание количества повышений ранга пожара к общему числу пожаров, *повыш./пожары*⁻¹;

k – количество повышений рангов пожара, произошедших на пожаре, $k=0, 1, 2, 3, 4$.

Определяем теоретическое количество пожаров, на которых возможно повышение ранга пожара (результаты округляем до целых чисел):

- число пожаров, на которых не произойдет повышение ранга пожара ($k=0$):

$$N_T = 577 \times \frac{0,08^0}{0!} \exp(-0,08) = 533, \text{ пожара};$$

- число пожаров, на которых произойдет повышение ранга пожара ($k=1$):

$$N_T = 577 \times \frac{0,08^1}{1!} \exp(-0,08) = 43, \text{ пожара;}$$

- число пожаров, на которых произойдет повышение ранга пожара ($k=2$):

$$N_T = 577 \times \frac{0,08^2}{2!} \exp(-0,08) = 2, \text{ пожара;}$$

- число пожаров, на которых произойдет повышение ранга пожара ($k=3$):

$$N_T = 577 \times \frac{0,08^3}{3!} \exp(-0,08) = 1, \text{ пожар;}$$

Выполним геометрический анализ теоретических и эмпирических данных.

Для этого по исходным данным и результатам расчета построим гистограмму (рисунок 1.14).

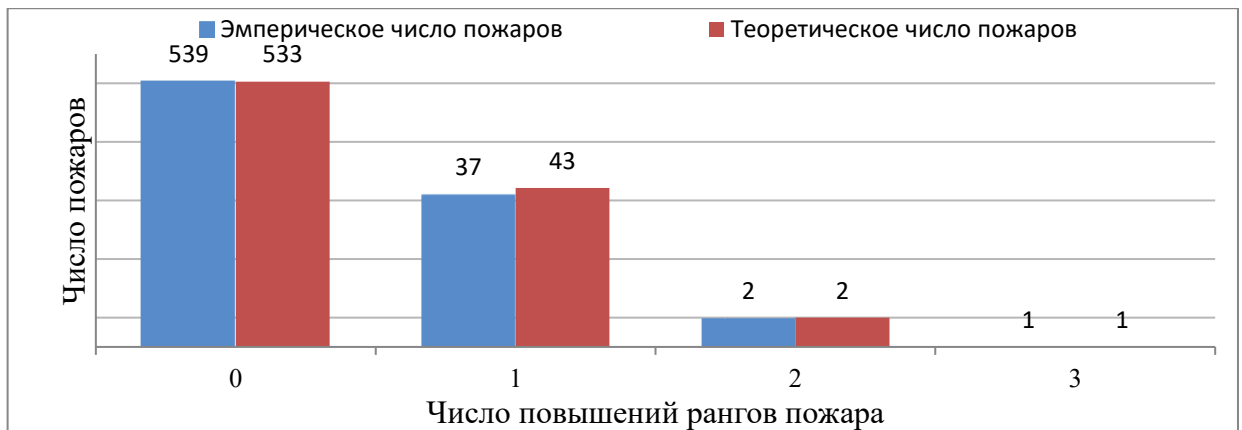


Рисунок 1.14 – Теоретические и эмпирические данные о пожарах в г. Астрахани в 2022 году

Оценка достоверности проведем, используя критерий статистического согласия Пирсона (χ^2) и Романовского (R).

Критерий Пирсона рассчитывается по формуле (округление до сотых) [96]:

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^k x_i^2 \text{ и } x_i^2 = \frac{(N_{\text{Э}} - N_{\text{Т}})^2}{N_{\text{Т}}}, \quad (1.9)$$

- определим χ^2 для $k=0$, то есть, когда повышений ранга пожаров не было:

$$\chi_0^2 = \frac{(539 - 533)^2}{533} = 0,07,$$

- определим x^2 для $k=1$, то есть когда повышений ранга пожаров было 1 раз:

$$x_0^2 = \frac{(37-43)^2}{43} = 0,84,$$

- определим x^2 для $k=2$, то есть когда повышений ранга пожаров было 2 раза:

$$x_0^2 = \frac{(2-2)^2}{2} = 0,$$

- определим x^2 для $k=3$, то есть, когда повышений ранга пожаров было 3 раза:

$$x_0^2 = \frac{(1-1)^2}{1} = 0;$$

Тогда значение критерия Пирсона будет составлять величину равную (таблица 1.7):

$$x^2 = \sum_{i=0}^k x_i^2 = 0,07 + 0,84 + 0 + 0 = 0,91.$$

Таблица 1.7 – Результаты проверки адекватности теоретической модели.

| № п/п | Статистические показатели | Число повышений рангов пожаров | | | | | Контрольный столбец |
|-------|-----------------------------|--------------------------------|------|---|---|---|---------------------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1. | Эмпирическое число пожаров | 539 | 37 | 2 | 1 | 0 | 577 |
| 2. | Теоретическое число пожаров | 533 | 43 | 2 | 1 | 0 | 577 |
| 3. | Критерий Пирсона | 0,07 | 0,84 | 0 | 0 | 0 | 0,91 |

Критерий Романовского [96]:

$$R = \frac{|x^2 - 2|}{2}. \quad (1.10)$$

В случае если критерий Романовского не превышает 3 ($R \leq 3$), то можно считать теоретическую модель процесса повышения ранга пожара адекватной.

$$R = \frac{|0,91-2|}{2} = 0,55.$$

Теоретическая модель адекватна. Определяем вероятность события, состоящее в том, что на пожаре 3 раза повысят ранг пожара [93]:

$$p_T = \frac{\mu^k}{k!} \exp(-\mu). \quad (1.11)$$

Тогда:

$$p_T = \frac{0,08^3}{3!} \exp(-0,08) = 0.000078$$

Исходя из системного анализа данных количества повышений ранга пожара, можно сделать следующие выводы:

1. Интенсивность повышения ранга пожара составляет 0,08 повыш./пожары⁻¹;
2. С вероятностью 0,000078 можно утверждать, что в г. Астрахани на пожаре 3 раза повысят ранг пожара.

Несмотря на редкость многоступенчатого повышения ранга, сама необходимость его применения может указывать на недостатки в первоначальном планировании реагирования, неэффективное распределение ресурсов или задержки в прибытии ближайших ПП. Следовательно, даже низкие значения вероятности повышения ранга требуют системного учета в целях повышения надежности и адаптивности оперативного планирования.

1.5 Автоматизированные системы диспетчеризации и поддержки принятия решений при тушении пожаров в России и за рубежом

Разработка автоматизированных систем диспетчеризации и поддержки принятия решений при тушении пожаров опирается на результаты научных исследований, в которых анализируется зависимость ущерба от времени прибытия первого подразделения, эффективность размещения пожарных частей в городской застройке и возможности информационно-аналитической поддержки управления на основе многомерного анализа оперативных данных [97–99].

На сегодняшний день в России используются два внедренных решения для оперативного управления силами и средствами:

Компьютерная информационная система мониторинга и управления силами и средствами экстренных оперативных служб города «КИС УСС» (г. Москва);

Автоматизированная система поддержки принятия решений и оперативного управления подразделениями пожарно-спасательных гарнизонов «АС ППР ПСГ».

КИС УСС обеспечивает визуализацию оперативной обстановки, автоматизирует процесс реагирования, предоставляет информацию о составе дежурных смен, наличии техники, а также маршруты следования подразделений. В числе преимуществ – сокращение времени реагирования и возможности формирования отчетности. Среди недостатков – отсутствие модуля карточек тушения, неполная интеграция с ГЛОНАСС, низкий уровень детализации информации для отдельных категорий пользователей и отсутствие гибкого механизма привлечения подразделений при масштабных пожарах.

АС ППР ПСГ имеет схожие функциональные возможности и внедрена в ряде субъектов РФ. Ее отличительной особенностью является поддержка формирования документов предварительного планирования, однако проблемы с точностью геолокации и ограниченность алгоритмов привлечения подразделений сохраняются.

Дополнительно в рамках цифровой трансформации региональных систем управления чрезвычайными ситуациями внедряется система «ИСКРА» – Интегрированная Система Координации и Реагирования Аварий. Это единая цифровая платформа, обеспечивающая централизованную диспетчеризацию, учет и обработку информации о происшествиях, включая вызовы по линии «112». «ИСКРА» позволяет автоматически маршрутизировать обращения в зависимости от типа инцидента, интегрирована с системой видеонаблюдения, геоинформационными сервисами, данными с датчиков и регистраторов, а также с реестрами социально значимых объектов. Ее архитектура ориентирована

на поддержку межведомственного взаимодействия, в том числе с подразделениями ГПС, службами ЖКХ, здравоохранением и другими структурами. Одним из преимуществ системы является возможность интеграции с мобильными приложениями экстренного реагирования и наличие модуля предиктивной аналитики, основанной на машинном обучении, что позволяет прогнозировать потенциальные риски и оптимизировать использование ресурсов. В перспективе «ИСКРА» может стать ключевым звеном в формировании единой автоматизированной среды поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях, включая пожары по повышенным рангам.

В научной литературе [100] приводится краткий обзор программных решений, применяемых в работе пожарных подразделений США. В другой работе [101] рассмотрены отечественные программные продукты для привлечения подразделений пожарной охраны на пожары повышенной сложности. Зарубежный опыт цифровизации противопожарной деятельности представляет интерес для возможной адаптации в российских условиях.

Одним из таких решений является система New World CrewForce (Tyler Technologies, США). CrewForce представляет собой мобильное приложение, предоставляющее персонализированную информацию: маршрут, состав реагирующих подразделений, планы зданий, расположение гидрантов и опасных веществ. Система позволяет в режиме реального времени отслеживать местоположение сотрудников по GPS и поддерживает голосовую и текстовую связь между участниками операции.

CrewForce помогает диспетчерам и руководителям координировать действия на месте происшествия. Использование планшетов и смартфонов делает систему удобной и гибкой. Такой подход значительно повышает осведомленность личного состава и снижает вероятность ошибок в управлении силами и средствами.

Хорошим примером цифровизации является система CAD (Hexagon), внедренная во Франции. Она охватывает широкий спектр происшествий,

интегрирует функции геолокации, данные об инфраструктуре и метеоусловиях. САД позволяет моделировать развитие ситуации и корректировать действия в реальном времени, обеспечивая более точное распределение ресурсов.

Использование подобных систем за рубежом демонстрирует их потенциал для повышения эффективности управления пожарной охраной [49-53, 102]. Переход от устаревших средств связи к интеллектуальным платформам открывает возможности для более информированного и оперативного реагирования [103]. Адаптация таких решений в российской системе обеспечения пожарной безопасности может способствовать ее модернизации [54].

Главным недостатком большинства отечественных систем остается отсутствие алгоритмически гибкого механизма привлечения дополнительных ближайших пожарных подразделений по повышенным рангам, соответствующего реальной обстановке, географическим условиям и транспортной доступности [54, 104-106]. Это указывает на необходимость дальнейшего развития автоматизированных систем с интеграцией геоинформационных сервисов и модулей динамического планирования, в том числе на основе анализа ретроспективных данных.

Стоит отметить, что в соответствии с приказом МЧС России от 25.08.2025 № 738 «Об утверждении Концепции создания (развития) государственной информационной системы «Обеспечение управления силами и средствами пожарно-спасательных гарнизонов» и о создании государственной информационной системы «Обеспечение управления силами и средствами пожарно-спасательных гарнизонов» на платформе «ГосТех» в период 2025-2027 годах планируется создание информационной системы управления силами и средствами пожарно-спасательных гарнизонов [107]. При этом, реагирование пожарных подразделений предполагается также, в соответствии с существующим методом предварительного планирования – расписание выезда.

1.6 Выводы по первой главе

1. Установлено, что действующая система управления сосредоточением пожарных подразделений на пожары повышенных рангов имеет ряд существенных недостатков, связанных с использованием статических расписаний выезда, которые не учитывают фактическую дислокацию подразделений, транспортную доступность к объектам защиты и особенности улично-дорожной сети. Это снижает оперативность и эффективность реагирования.

2. Количественная оценка повышения ранга пожаров подтвердила наличие скрытых рисков в действующей системе планирования. Несмотря на относительно низкую среднюю интенсивность (0,08 на один пожар), вероятность таких событий требует учета в разработке новых методов.

3. Анализ системы ранговой классификации пожаров показал, что в Российской Федерации сохраняется децентрализованный подход к определению рангов пожара, основанный преимущественно на объеме привлекаемых сил и средств. Существенные различия между регионами затрудняют унификацию принципов планирования и оценку эффективности реагирования. Одновременно установлено, что применяемые автоматизированные системы диспетчеризации не обеспечивают адаптивного привлечения подразделений, с учетом предварительного планирования и фактической обстановки, тогда как зарубежные решения демонстрируют более высокий уровень интеграции с геоинформационными сервисами и аналитикой. Полученные результаты подтверждают актуальность разработки новых методов формирования расписаний выезда на этапе предварительного планирования и алгоритмов их адаптации в условиях реального времени.

4. Таким образом, первая задача исследования – анализ организационной системы управления реагированием пожарных подразделений выполнена в первой главе.

5. На основании проведенного анализа сформулирована цель исследования – сокращение времени сосредоточения пожарных подразделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования и повышение их оперативно-тактических возможностей в реальном времени на основе предложенного метода, разработанных моделей и алгоритмов.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

- Определение метода, разработка алгоритма и модели формирования очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования.

- Разработка программного модуля формирования очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования.

- Построение модели и разработка алгоритма поддержки принятия управленческих решений при выборе альтернативных наборов оперативных отделений, обеспечивающих повышение оперативно-тактических возможностей пожарных подразделений при их привлечении на пожары повышенных рангов в реальном времени.

ГЛАВА 2 МЕТОД, МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ОЧЕРЕДНОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ПОВЫШЕННЫМ РАНГАМ НА ЭТАПЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

2.1 Метод территориальной декомпозиции районов (подрайонов) выезда на секторы выезда

Недавние крупные пожары заставляют задуматься о принципах организации пожаротушения в современных условиях. Они поднимают вопросы не только о тактике борьбы с огнем [108, 109], но и о самой системе реагирования. В условиях динамично развивающейся городской инфраструктуры, увеличения плотности застройки и усложнения технологических процессов на объектах, системы управления привлечением пожарных подразделений должны быть предельно эффективными [110, 111]. При этом, первоочередной задачей пожарных подразделений является спасение людей, а не минимизация материального ущерба от пожара. Действующая система реагирования зачастую оказывается недостаточно гибкой и не всегда позволяет быстро и рационально сосредоточить необходимое количество оперативных отделений при возникновении пожаров повышенных рангов [81].

Во многих практических случаях для тушения пожара СиС одного пожарного подразделения в районе выезда, которого произошел пожар, недостаточно и требуются оперативные отделения соседних пожарных подразделений одного или нескольких ПСГ. Поэтому под крупным пожаром в данной работе понимаем пожар, для тушения которого требуются дополнительные отделения пожарных подразделений – пожар по повышенному рангу. В этой связи возникает важная задача управления, состоящая в эффективном сосредоточении пожарных подразделений к месту проведения боевых действий по тушению пожара по повышенному рангу. Здесь под управлением будем понимать процесс воздействия субъекта управления –

должностного лица пожарно-спасательного гарнизона определяющего порядок высылки пожарных подразделений к месту тушения пожара на объект управления – группировку (объединение) СиС пожарных подразделений занятых тушением пожара, с целью приведения объекта управления в наилучшее состояние, заключающееся в реализации его главной цели, то есть своевременной локализации и ликвидации пожара [81].

Воздействие субъекта управления на объект управления заключается в принятии решений по высылке необходимого количества пожарных подразделений к месту пожара и обеспечении минимального времени их сосредоточения (рисунок 1.1). В результате решения данной задачи управления должна быть сформирована оптимальная, в известном смысле слова, последовательность высылки оперативных отделений ПП к месту тушения пожара по повышенному рангу.

Одним из ключевых факторов при формировании оптимальной последовательности высылки подразделений является время, необходимое для сосредоточения требуемого количества сил и средств для эффективного тушения. Таким образом, задача управления привлечением подразделений для тушения пожаров повышенных рангов может быть формально представлена выражением:

$$T_{opt} = \min(t_i), \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n), \text{ при условии, что } n \leq N \quad (2.1)$$

где T_{opt} – минимальное время сосредоточения отделений для тушения пожара, *мин*;

t_i – время сосредоточения отделений при реализации i -ой последовательности их высылки к месту пожара, *мин*;

n – общее количество возможных последовательностей высылки отделений,

N – общее количество потенциальных объектов пожара.

В свою очередь t_i определяется по формуле:

$$t_i = \sum_{j=1}^k t_j, \text{ при условии, что } t_j < t_{j+1}, \quad (2.2)$$

где t_j – время прибытия j -го отделения к месту пожара повышенного ранга, *мин*;

k – общее количество оперативных отделений, требуемых для тушения пожара.

Время следования к месту пожара пожарных подразделений является случайной величиной и как правило подчиняется распределению Эрланга. Поэтому решая задачу формирования последовательности высылки пожарных подразделений необходимо рассматривать результаты ее решения на качественном уровне. Тогда критерием для выбора места в последовательности прибытия каждого конкретного оперативного отделения пожарного подразделения является только одно условие:

$$t_j < t_{j+1}, \quad (2.3)$$

Не трудно убедиться в том, что условие (2.3) является необходимым и достаточным для решения задачи оптимального сосредоточения сил и средств пожарных подразделений для тушения пожара по повышенному рангу.

Формально, расписание выезда представляет собой укрупненную базу данных, включающую в себя перечень оперативных отделений пожарных подразделений и последовательность их высылки для тушения пожара сгруппированную по районам выезда и рангам пожара.

Основным допущением такого взгляда на решение задачи управления является то, что район выезда представляет собой условный круг с фактическим радиусом. И для этого круга (района выезда) или его части (подрайона выезда) существует только один оптимальный порядок сосредоточения. Однако, очевидно, что развитие городов и населенных пунктов со временем усиливает влияние данного допущения на процесс принятия решений. Поэтому, как следствие стоит отметить, что главным недостатком данного метода формирования порядка сосредоточения является то, что на практике возникают ситуации, когда последовательность высылки пожарных подразделений и порядок их прибытия к месту вызова отличаются и существенно.

Указанные обстоятельства послужили основанием для разработки метода территориальной декомпозиции, основанного на учете совокупности параметров, характеризующих территорию и оперативные возможности пожарных

подразделений. При этом учитываются следующие параметры: геоинформационные данные территории, G ; число и дислокация расчетных единиц территории, $N_{p.e.}$; число и дислокация подразделений, $N_{n.n.}$; число и виды оперативных отделений, $N_{o.o.}$; число высылаемых оперативных отделений, N_{σ} ; стратегии высылки, S_{σ} ; скоростные характеристики дорожной сети, V .

Таким образом, каждый набор высылаемых оперативных отделений может быть представлен в виде многомерного вектора:

$$N \{G, N_{p.e.}, N_{n.n.}, N_{o.o.}, N_{\sigma}, S_{\sigma}, V\}.$$

Для сокращения времени сосредоточения на пожары повышенных рангов в рамках этапа предварительного планирования предложен метод территориальной декомпозиции (далее – метод декомпозиции).

Сущность метода заключается в декомпозиции районов (подрайонов) выезда на оптимальные по времени прибытия территориальные единицы – **секторы выезда** по повышенным рангам (рисунок 2.1).

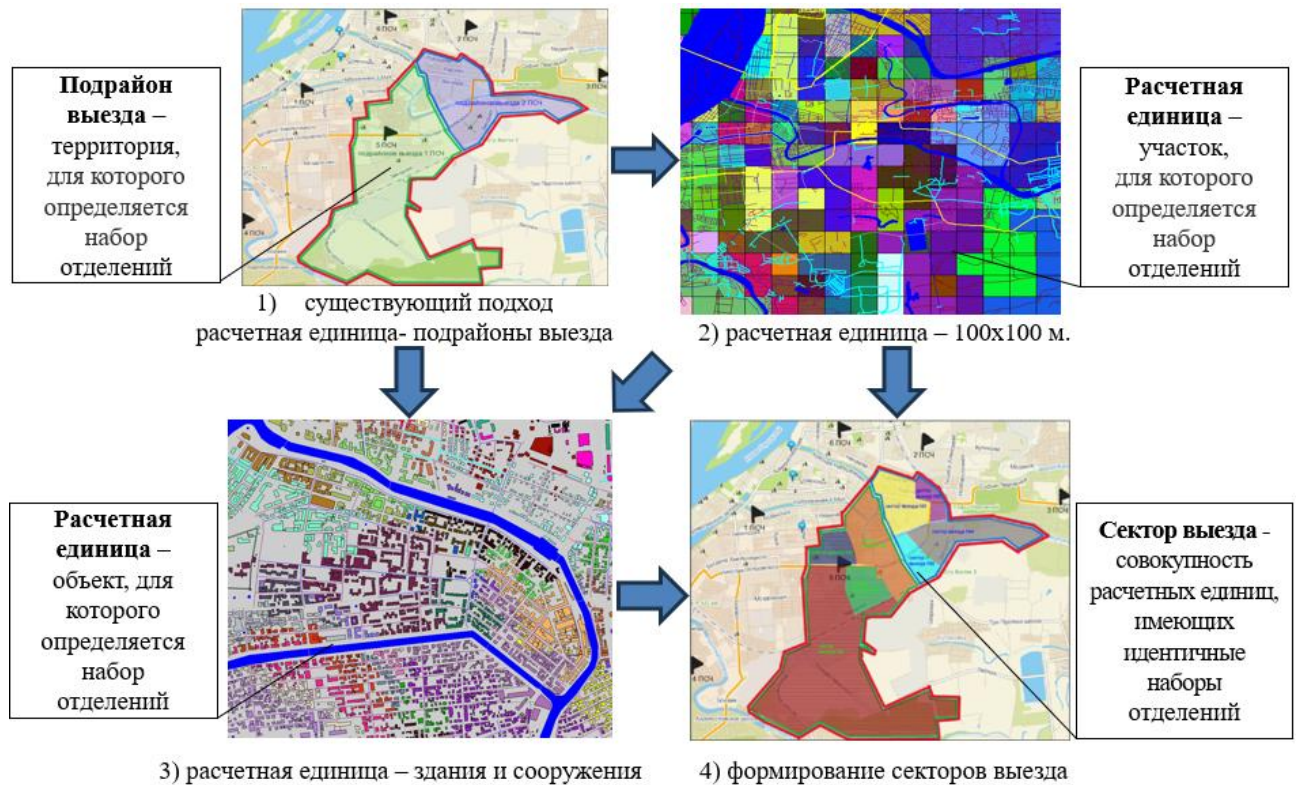


Рисунок 2.1 – Сущность метода декомпозиция районов (подрайонов) выезда подразделений на секторы выезда на основе расчетных единиц территории

Под сектором выезда понимается совокупность расчетных единиц территории с одинаковым временем прибытия подразделений по заданному рангу. В качестве расчетных единиц могут выступать участки территории (например, 100×100 м) или отдельные здания и сооружения.

Схема применения метода для построения расписания выездов приведена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Схема применения метода декомпозиции для построения расписания выезда

Таким образом, реализация метода территориальной декомпозиции требует формализации последовательности действий, обеспечивающих преобразование исходных данных о территории и подразделениях. Для решения этой задачи в дальнейшем разработан алгоритм формирования реляционной модели данных очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов в различные расчетные единицы территории пожарно-спасательного гарнизона.

2.2 Алгоритм формирования реляционной модели данных очередности привлечения оперативных отделений по повышенным рангам пожаров в различные расчетные единицы территории пожарно-спасательного гарнизона

Разработан алгоритм реализующий метод территориальной декомпозиции и предназначенный для определения оптимальной последовательности прибытия оперативных отделений пожарных подразделений к месту пожара повышенного ранга (рисунок 2.3). Он используется при планировании выезда подразделений на различные объекты или территориальные единицы в пределах пожарно-спасательного гарнизона с учетом численности и дислокации сил, количества высланных оперативных отделений и особенностей улично-дорожной сети. Критерием оптимальности при формировании последовательности прибытия подразделений служит минимизация общего времени их сосредоточения, рассчитываемого по формуле (2.1) [112].

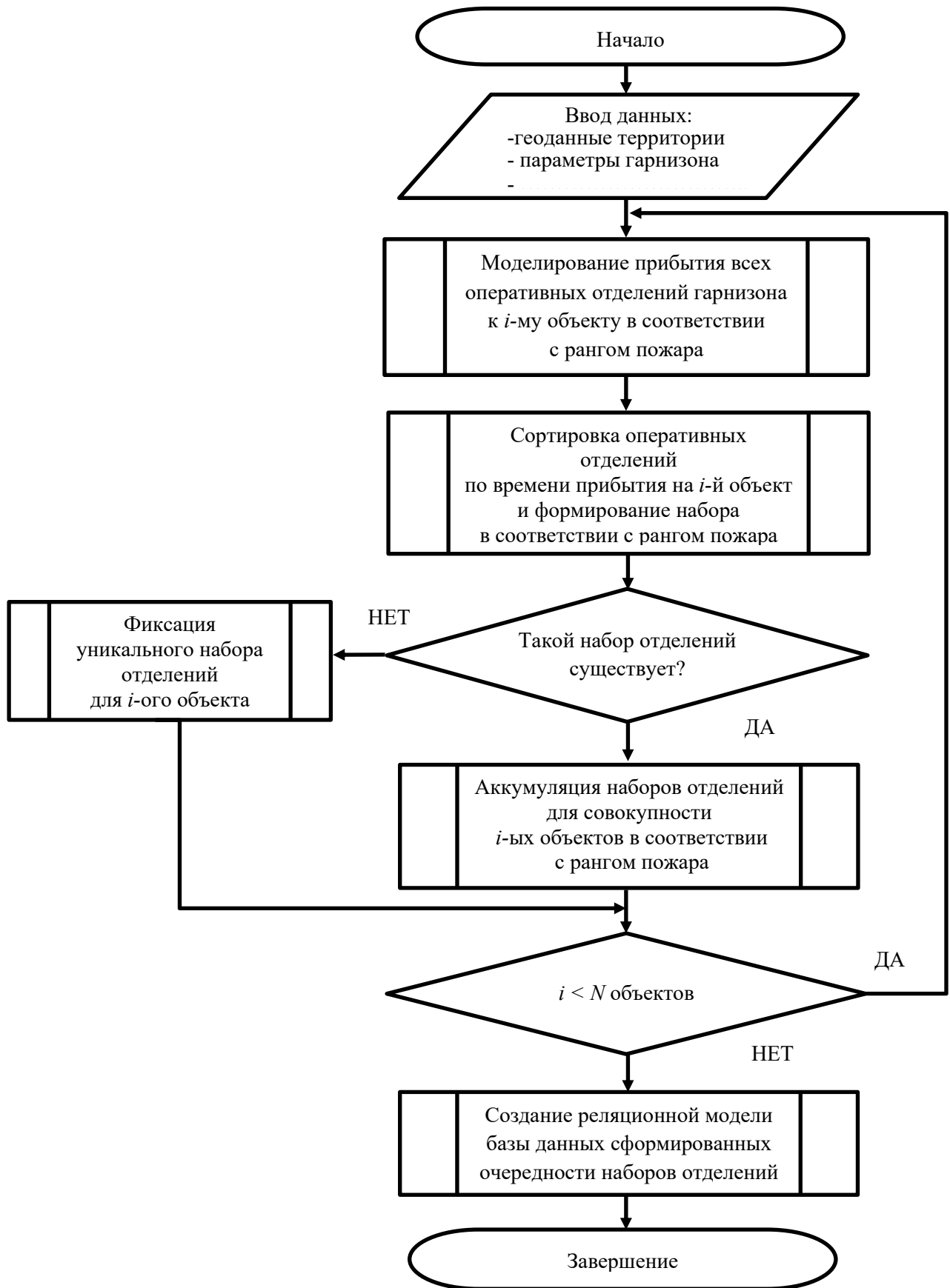


Рисунок 2.3 – Алгоритм формирования реляционной модели данных очередности привлечения оперативных отделений по повышенным рангам пожаров в различные расчетные единицы территории пожарно-спасательного гарнизона

Разработанный алгоритм формирования реляционной модели данных очередности привлечения оперативных отделений по повышенным рангам пожаров в различные расчетные единицы (территориальные единицы) на территории ПСГ выполняет следующие последовательные действия:

моделирование прибытия всех оперативных отделений ПП в расчетные единицы территории с учетом ранга пожара;

сортирует оперативные отделения пожарных подразделений по времени прибытия применительно к каждой расчетной единице;

формирует уникальные наборы оперативных отделений ПП по критерию минимального времени сосредоточения;

объединяет расчетные единицы с одинаковым составом и очередностью оперативных отделений пожарных подразделений в секторы выезда.

Таким образом, разработанный алгоритм обеспечивает формализованное и воспроизводимое построение последовательности привлечения оперативных отделений, результатом которого является реляционная модель данных очередности привлечения пожарных подразделений по повышенным рангам пожаров.

Построенная модель позволяет рассматривать процесс привлечения подразделений как множество возможных комбинаций их сосредоточения в зависимости от условий обстановки. Эффективное управление привлечением пожарных подразделений при ликвидации пожаров повышенных рангов требует анализа этих вариантов. Каждая комбинация – набор оперативных отделений, формируемый на этапе предварительного планирования, должен обеспечивать минимальное время прибытия подразделений при сохранении их боеготовности.

Для решения этой задачи разработана реляционная модель, основанная на принципах комбинаторики, позволяющей описывать способы выбора и упорядочивания элементов множества. Ключевыми задачами в данном случае являются определение всех допустимых наборов привлечения сил и средств, их построение и анализ свойств. Важным понятием выступает количество

размещений – число упорядоченных оперативных отделений, которое вычисляется с использованием факториала $n!$ [1].

Николай Николаевич Брушлинский – основатель научной школы организационно-управленческих проблем государственной противопожарной службы, первый успешно применял математический аппарат в описании процессов функционирования пожарной охраны [4-8], как и другие ученые [110, 111]. Так, и комбинаторные методы позволяют математически сформировать вариативность в сосредоточении пожарных подразделений, в зависимости от сложности крупного пожара и численности ПСГ. При упорядоченном распределении k элементов из множества n различных элементов без повторений количества размещений задается формулой, и можно определить теоретическое количество вариантов набора оперативных отделений [100]:

$$A_n^k = \frac{n!}{(n-k)!}, \quad (2.4)$$

где A_n^k – теоретическое количество вариантов набора отделений, под которым понимаем возможное количество вариантов очередности высылки оперативных отделений, *ед.*;

n – общее количество отделений ПП ПСГ, *ед.*;

k – количество высылаемых оперативных отделений, необходимых для ликвидации пожара по повышенному рангу, в зависимости от его сложности (повышенного номера (ранга) пожара), *ед.*

Так, согласно формуле (2.4), на территории ПСГ, на вооружении которого 10 единиц оперативных отделений, при необходимости высылки оперативного отделения существует 10 вариантов набора оперативных отделений. А при необходимости двух оперативных отделений, существует 90 вариантов набора оперативных отделений пожарных подразделений. Однако, теоретические вычисления для данного случая могут продолжаться лишь до девяти оперативных отделений. Расчеты представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Пример результата расчетов теоретического числа вариантов набора оперативных отделений для пожарно-спасательного гарнизона, на вооружении которого 10 единицы оперативных отделений

| № п/п | Общее количество отделений | Количество привлекаемых отделений | Теоретическое количество вариантов набора отделений |
|-------|----------------------------|-----------------------------------|---|
| 1. | 10 | 1 | 10 |
| 2. | 10 | 2 | 90 |
| 3. | 10 | 3 | 720 |
| 4. | 10 | 4 | 5040 |
| 5. | 10 | 5 | 30240 |
| 6. | 10 | 6 | 151200 |
| 7. | 10 | 7 | 604800 |
| 8. | 10 | 8 | 1814400 |
| 9. | 10 | 9 | 3628800 |
| 10. | 10 | 10 | 3628800 |

Теоретическое количество вариантов наборов при высылке девяти и десяти оперативных отделений совпадает – 3628800. Данная закономерность сохраняется и для последних высылаемых единиц при любом общем числе отделений в пожарно-спасательном гарнизоне.

При этом, теоретическое количество возможных наборов всегда превышает фактическое, поскольку не все комбинации реализуемы на практике. При практической реализации число наборов (размещений) ограничивается числом расчетных единиц территории, для каждой из которых может быть сформирован свой уникальный набор оперативных отделений [113]. Преобразование теоретического числа наборов в фактическое осуществляется должностным лицом, ответственным за оперативное реагирование, с учетом указанных условий.

В рамках настоящего исследования автором впервые построена реляционная модель данных, отражающая взаимосвязь между количеством секторов выезда и их границами, числом оперативных отделений и их очередностью привлечения, а также рангами пожаров и соответствующим количеством высылаемых сил. Данное представление информации обеспечивает формализованный и строгий подход к планированию и оптимизации привлечения оперативных отделений пожарных подразделений на пожары повышенных рангов (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Реляционная модель данных очередности (наборов) привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов

Разработанная реляционная модель данных очередности привлечения оперативных отделений пожарных подразделений представляет структурированную базу данных и служит эффективным инструментом управления пожарно-спасательным гарнизоном [54]. Она обеспечивает формирование точных и обоснованных наборов отделений для тушения пожаров в зависимости от их сложности, что имеет критическое значение для повышения оперативности реагирования.

Фактическое количество наборов оперативных отделений для конкретного пожарно-спасательного гарнизона должно определяться с учетом его специфических характеристик, таких как площадь территории, количество оперативных отделений на вооружении пожарных подразделений, системы классификации сложности пожаров по повышенным рангам и привлекаемых в соответствии с ними отделений, а также транспортные и географические особенности [14], которые могут существенно влиять на оперативность реагирования ПП. Для обеспечения реализации модели применяется алгоритм формирования реляционной модели данных очередности привлечения оперативных отделений по повышенным рангам пожаров.

Таким образом, совокупность разработанного алгоритма и построенной реляционной модели данных позволяет учитывать индивидуальные характеристики ПСГ и формировать оптимальные наборы оперативных отделений для последующей апробации на реальных данных.

2.3 Апробация реляционной модели данных управления привлечением пожарных подразделений на пожары повышенных рангов

Для подтверждения корректности и практической применимости разработанного алгоритма и построенной реляционной модели данных проведена их апробация на примере различных городских территорий, с использованием КИС «КОСМАС» [9-12]. Целью апробации являлась проверка работоспособности предложенных решений при моделировании процессов привлечения оперативных отделений пожарных подразделений на пожары повышенных рангов в условиях, максимально приближенных к реальной.

В качестве проверки, для апробации были выбраны два города с существенно различающимися характеристиками – площадью, плотностью застройки, количеством зданий, протяженностью улично-дорожной сети и числом пожарных подразделений. Такой выбор позволил оценить универсальность алгоритма и реляционной модели данных при различной структуре и масштабе пожарно-спасательных гарнизонов.

1. Город 1 – г. Астана, Республика Казахстан с площадью 670 км^2 , 16 248 зданий и 10 пожарных частей, что позволяет оценить формирование наборов оперативных отделений в крупном городе.

2. Город 2 – г. Санкт-Петербург, Российская Федерация с площадью 1450 км^2 , 107 543 зданиями и 67 пожарными частями, что позволяет оценить формирование наборов оперативных отделений в крупнейшем городе (мегаполисе).

На рисунках 2.5 и 2.6 представлены распределения наборов оперативных отделений по территориальным единицам города 1, а рисунок 2.7 для города 2.

Каждый цвет на этих схемах соответствует определенному набору оперативных отделений, который включает последовательность высылаемых отделений, в зависимости от местоположения объекта.

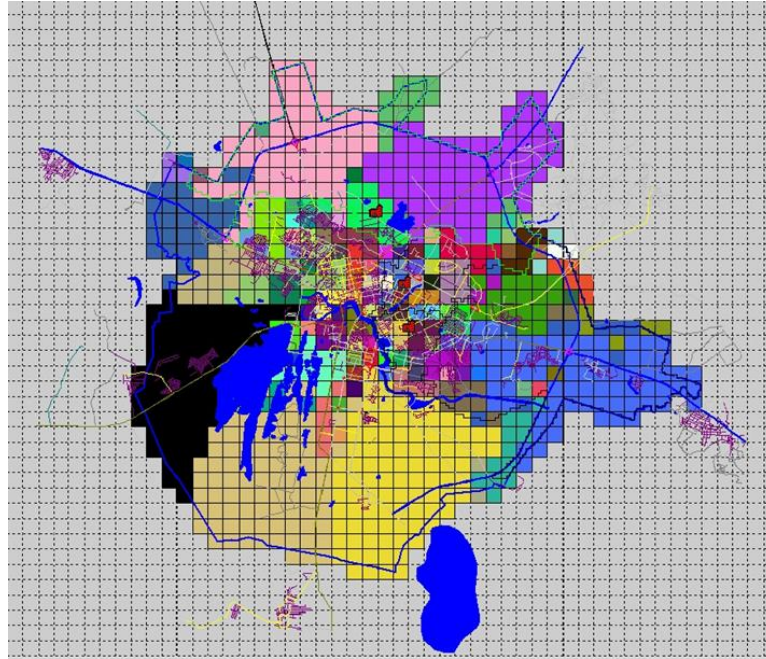


Рисунок 2.5 – Фрагмент распределения 783 территориальных единиц (1000×1000 м) по наборам отделений, количество высылаемых единиц оперативных отделений 6, количество расчетных наборов 115 (город 1)

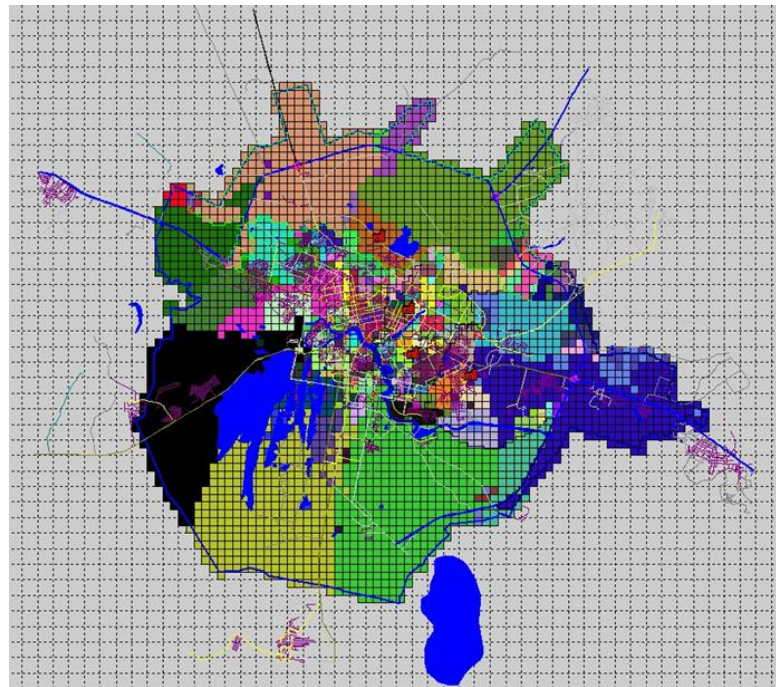


Рисунок 2.6 – Фрагмент распределения 2963 территориальных единиц (500×500 м) по наборам отделений, количество высылаемых единиц оперативных отделений 6, количество расчетных наборов 181 (город 1)

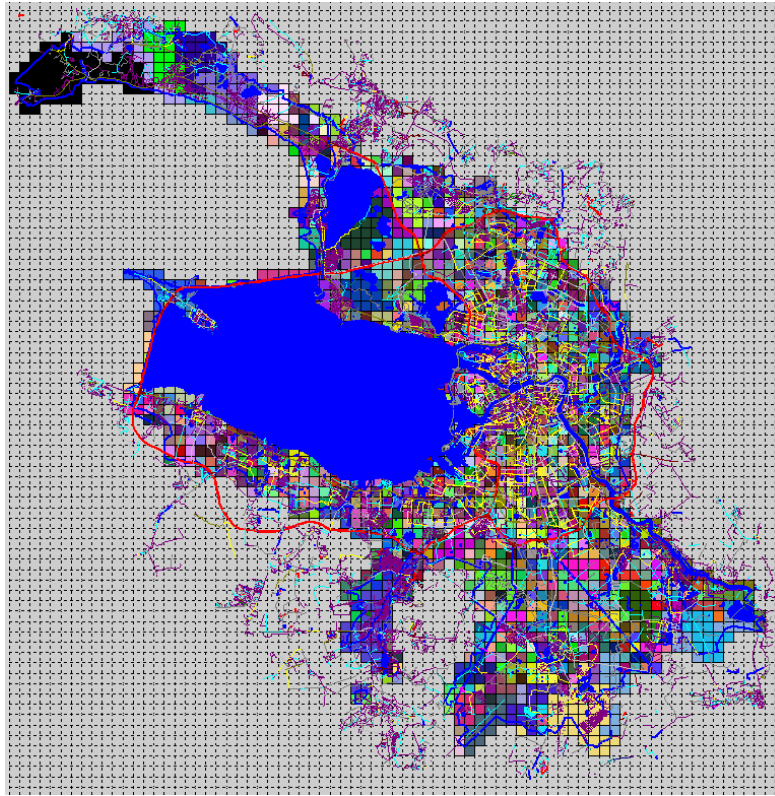


Рисунок 2.7 – Фрагмент распределения 107 543 территориальных единиц (500×500 м) по наборам отделений, количество высылаемых единиц оперативных отделений 15, количество расчетных наборов 2392 (город 2)

Из рисунков видно, что для множества периферийных территориальных единиц города характерно использование одинаковых наборов оперативных отделений, что связано с их удаленностью от центра и меньшим числом ПП и дорог в этих зонах. В то же время центральные территориальные единицы, где сосредоточено больше пожарных подразделений и развитая дорожная сеть, имеют значительно большим вариантов наборов оперативных отделений.

На рисунках 2.8 и 2.9 представлены распределения наборов отделений уже по зданиям и сооружениям, расположенным на территории городов 1 и 2. Эти визуализации позволяют более детально рассмотреть, как именно формируются наборы оперативных отделений для каждого отдельного объекта защиты на основе его местоположения и других факторов, таких как плотность застройки, доступность пожарных подразделений и протяженность территории. Результаты исследования представляет собой основу для дальнейшей программной реализации.

Алгоритм способен принимать во внимание все особенности инфраструктуры города, обеспечивая оперативное сосредоточение необходимого числа оперативных отделений пожарных подразделений для тушения пожара по повышенным рангам, в зависимости от его сложности.

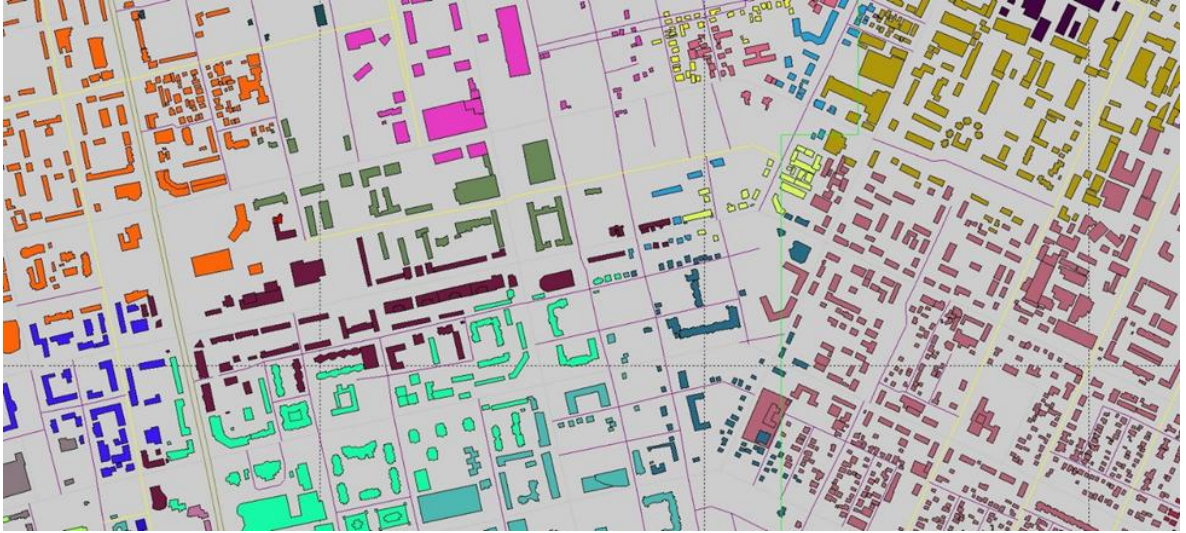


Рисунок 2.8 – Фрагмент распределения 16248 зданий по наборам отделений, количество высылаемых единиц оперативных отделений 6, количество расчетных наборов 183 (город 1)



Рисунок 2.9 – Фрагмент распределения 107 543 зданий по наборам отделений, количество высылаемых единиц оперативных отделений 15, количество расчетных наборов 9326 (город 2)

Для более детального анализа изменений в системе реагирования целесообразно рассмотреть зависимости, определяющие фактическое число наборов оперативных отделений ПП. На рисунках 2.10 и 2.11 представлены результаты исследования этих зависимостей для городов 1 и 2.

Из рисунков хорошо видно, что при увеличении числа высылаемых оперативных отделений пожарных подразделений и уменьшении размера территориальной единицы количество фактических формируемых наборов оперативных отделений значительно возрастает. Однако этот процесс не бесконечный и, например, при размерах территориальных единиц 500×500 м и 1000×1000 м при высылке более 7-8 единиц оперативных отделений пожарных подразделений наступает стабилизация по числу наборов.

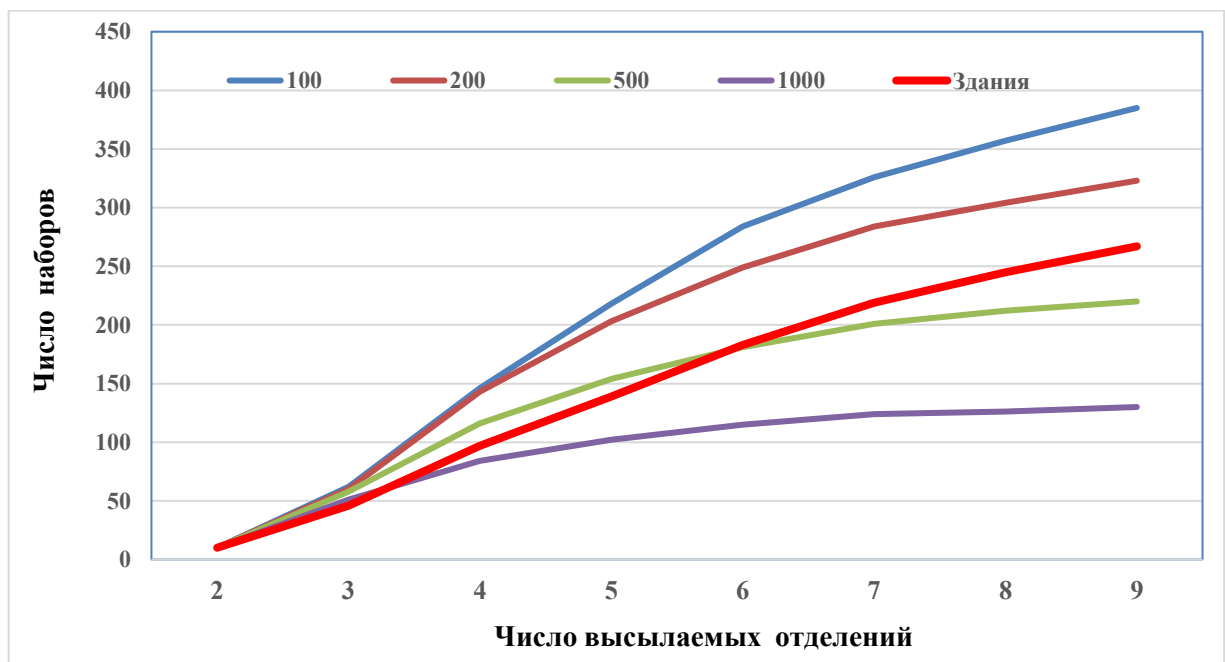


Рисунок 2.10 – Зависимость изменения числа наборов оперативных отделений от количества высылаемых оперативных отделений для различных единиц расчетной площади территории (100×100 м; 200×200 м; 500×500 м; 1000×1000 м; здания) (город 1)

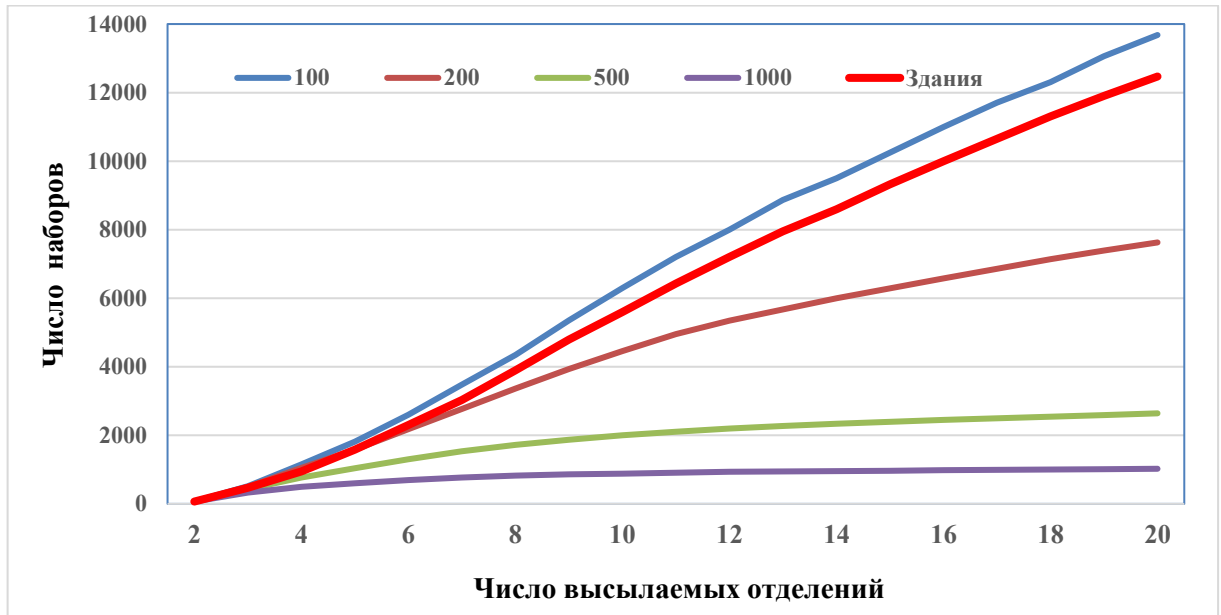


Рисунок 2.11 – Зависимость изменения числа наборов оперативных отделений от количества высланных оперативных отделений для различных единиц расчетной площади территории (100×100 м; 200×200 м; 500×500 м; 1000×1000 м; здания) (город 2)

Таким образом, проведенная апробация разработанного алгоритма и построенной реляционной модели данных подтвердила их корректность и практическую применимость. Установлено, что местоположение объекта пожара и маршрут следования подразделений существенно влияют на формирование различных вариантов очередности (наборов) привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов. В существующих методах построения расписаний выезда эти параметры ранее не учитывались.

Проведенная апробация на примере двух городов с различными масштабами и конфигурацией дорожной сети показала высокую адаптивность алгоритма и способность формировать рациональные наборы подразделений для различных условий. Разработанные метод, модель и алгоритм формирования очередности привлечения пожарных подразделений по повышенным рангам пожаров используются при разработке проектной документации в области пожарной безопасности и расписания выезда подразделений Астраханского местного пожарно-спасательного гарнизона [Приложение Б].

2.4 Разработка программного модуля формирования очередности привлечения оперативных отделений пожарных подразделений по повышенным рангам пожаров

Разработанные в предыдущих разделах метод, модель и алгоритм формирования очередности привлечения пожарных подразделений по повышенным рангам пожаров легли в основу создания программного модуля, интегрированного в КИС «КОСМАС» [6, 8-12, приложение А] (рисунок 2.12). Его реализация обеспечивает переход от теоретических решений к практическому инструменту предварительного планирования привлечением пожарно-спасательных гарнизонов, предназначенного для определения и формирования наборов оперативных отделений ПП. Модуль реализует алгоритм [54], представленный во второй главе, и обеспечивает автоматизацию формирования очередности привлечения пожарных подразделений по повышенным рангам пожаров.

Реализация разработанного метода в составе действующей информационной системы позволяет перейти от формализованного метода планирования к динамическому управлению, основанному на анализе оперативной обстановки, расстояний, маршрутов следования и времени сосредоточения оперативных отделений пожарных подразделений. Такой подход повышает достоверность расчетов, снижает вероятность задержек при реагировании и формирует предпосылки для внедрения интеллектуальных технологий поддержки принятия решений в управлении силами и средствами пожарно-спасательных гарнизонов.

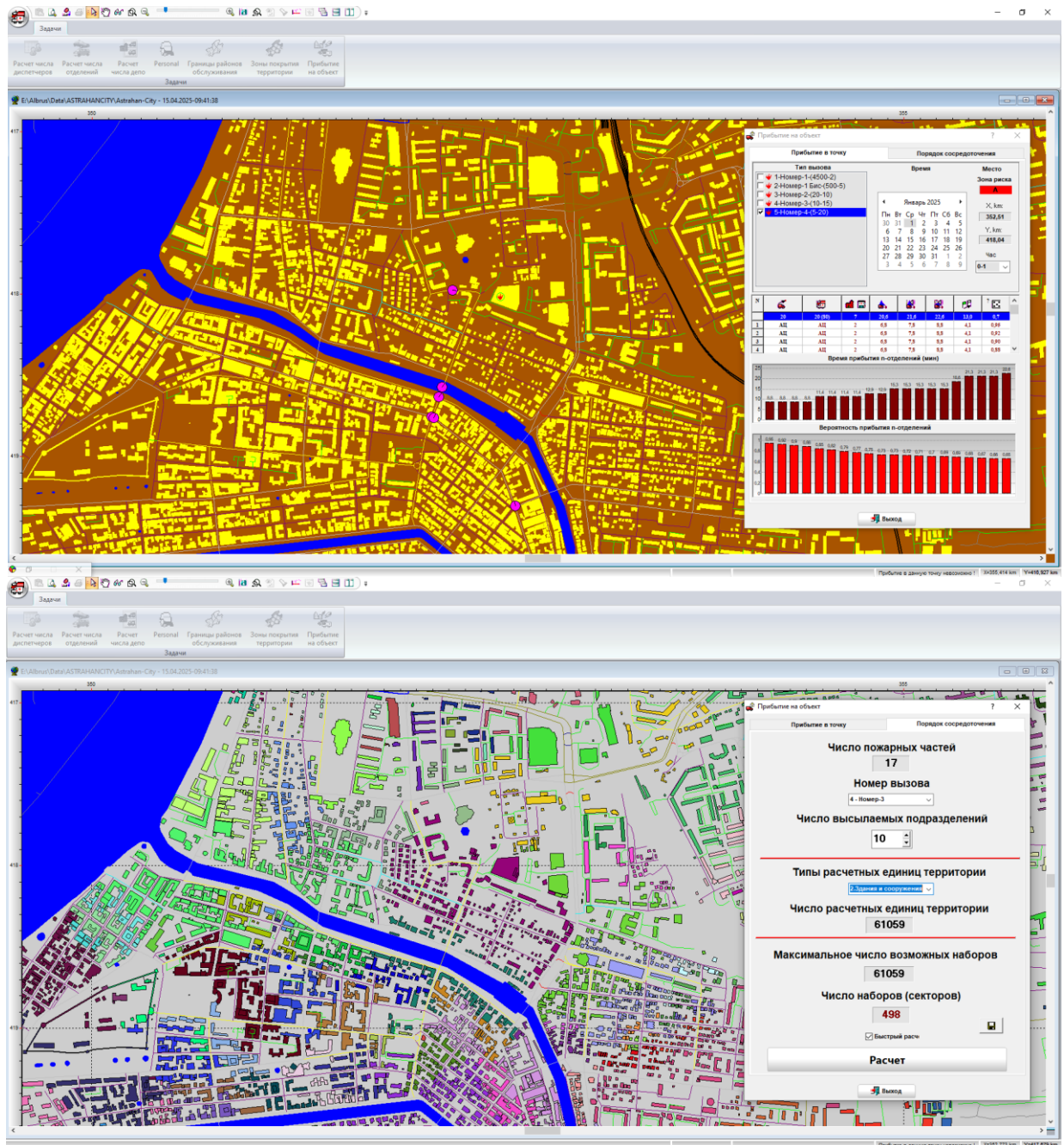


Рисунок 2.12 – Интерфейс программного модуля по формированию очередности (наборов) отделений индивидуально для каждого объекта, по оценки времени и вероятности сосредоточения подразделений к месту пожара

Программный модуль формирует наборы оперативных отделений индивидуально для каждого объекта (здания, сооружения) или территориальной единицы и объединяет их при идентичности в один сектор выезда (рисунки 2.3-2.5). Модуль также предусматривает создание базы данных фактических наборов подразделений для тушения пожаров (таблица 2.2),

охватывающей все территориальные единицы, здания и сооружения ПСГ. Она используется как инструмент поддержки при формировании расписания выездов и позволяет автоматически подбирать оптимальные наборы оперативных отделений в зависимости от географических и транспортных особенностей ПСГ, количестве оперативных отделений пожарных подразделений выслаемых в соответствии с различными рангами пожаров.

Таблица 2.2 – Пример базы данных фактического числа набора оперативных отделений пожарных подразделений для каждого объекта пожарно-спасательного гарнизона с 4 отделениями

| № Объекта | Район выезда подразделения | Подразделение откуда высылаются отделения | Время <i>мин</i> | Подразделение откуда высылаются отделения | Время <i>мин</i> | Подразделение откуда высылаются отделения | Время <i>мин</i> | Подразделение откуда высылаются отделения | Время <i>мин</i> |
|--------------|----------------------------------|--|---------------------|--|---------------------|--|---------------------|--|---------------------|
| 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 | 6 | 4 | 8 |
| 2 | | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 | 2 | 7 |
| 3 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 5 | 3 | 9 |
| 4 | | 2 | 3 | 1 | 4 | 4 | 5 | 3 | 6 |
| 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 1 | 6 | 4 | 8 |
| 6 | | 3 | 4 | 2 | 5 | 4 | 6 | 1 | 7 |
| 7 | 4 | 4 | 5 | 3 | 6 | 1 | 7 | 2 | 9 |
| 8 | | 4 | 6 | 1 | 7 | 2 | 8 | 3 | 9 |

Для проверки достоверности получаемых данных от модуля проведена апробация на примере конкретного пожара, проанализированного в главе 1 (рисунок 1.1). Проверка заключалась в сравнении фактических данных о времени сосредоточения подразделений по рангам пожара с расчетными данными, полученными при использовании программного модуля. На рисунке 2.13 представлена динамика формирования очередности прибытия оперативных отделений и сопоставление фактической и расчетной последовательности их следования.

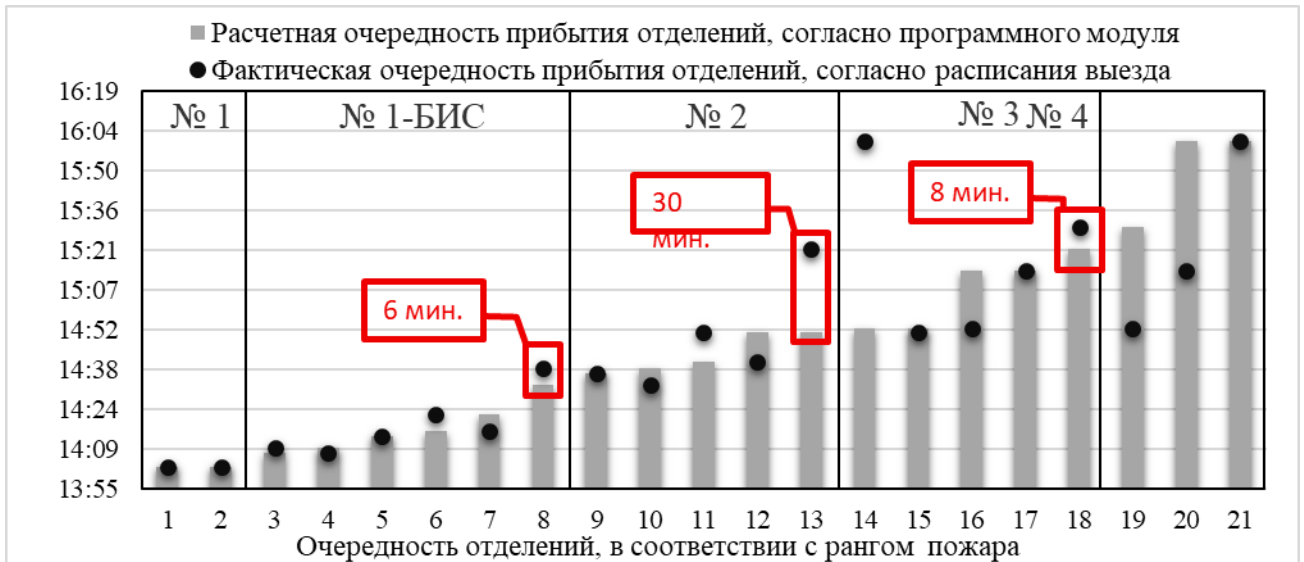


Рисунок 2.13. – Динамика формирования очереди прибытия оперативных отделений по программному модулю на примере конкретного пожара

Из рисунка 2.13. видно сокращение расчетного времени следования: на 6 минут при ранге № 1-БИС, на 30 минут при ранге № 2 и на 8 минут при ранге № 3. Таким образом, предложенный метод, разработанный алгоритм и построенная реляционная модель данных очередности привлечения оперативных отделений по повышенным рангам пожаров реализуемые в программном модуле обеспечивают уменьшение времени сосредоточения сил и средств на 30-70 % в зависимости от сектора выезда и ранга пожара.

Впервые реализованная реляционная модель данных с программным модулем позволяет существенно сократить время сосредоточения необходимого числа пожарных подразделений, а также обеспечивает воспроизводимость и прозрачность процесса планирования. Это является критически важным условием для надежности и оперативности реагирования пожарно-спасательных гарнизонов [114-118]. Помимо времени сосредоточения, модуль позволяет рассчитывать вероятность прибытия подразделений на конкретный объект по любому рангу пожара.

Таким образом, разработанный программный модуль, интегрированный в КИС «КОСМАС», обеспечивает практическую реализацию предложенных алгоритмов формирования реляционной модели данных очередности привлечения

оперативных отделений ПП и позволяет повысить обоснованность и эффективность предварительного планирования.

Перспективы дальнейшего совершенствования системы управления привлечением пожарных подразделений связаны с масштабируемым развитием предложенного подхода: расширением состава учитываемых критериев, интеграцией новых методов многокритериального анализа и построением комплексных моделей оценки эффективности реагирования.

2.5 Перспективы совершенствования системы управления привлечением пожарных подразделений на пожары повышенных рангов

Проведенные исследования, представленные в главах 1 и 2, показали, что применяемые на практике однотипные планы реагирования не обеспечивают необходимой гибкости управления. Это определило необходимость перехода к динамическим моделям планирования и управления привлечением подразделений с учетом оперативной обстановки и пространственно-временных параметров реагирования.

В настоящем разделе сформулированы основные направления дальнейшего совершенствования системы управления реагированием на пожары по повышенным рангам, обеспечивающие развитие предложенного метода и его адаптацию к современным условиям цифровой трансформации МЧС России [107].

Анализ современного состояния системы привлечения пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам демонстрирует необходимость перехода от статических, фиксированных подходов к динамически адаптируемым алгоритмическим моделям, способным учитывать реальные характеристики оперативной обстановки, ресурсного обеспечения и рискоориентированного планирования. В этом контексте перспективы совершенствования системы управления заключаются не только во внедрении формализованных алгоритмов,

разработанных в рамках настоящего исследования, но и в их масштабируемом развитии за счет расширения применяемых критериев, синтеза новых методов и построения интегральных моделей оценки эффективности привлечения.

Ключевым направлением развития представляется расширение перечня критериев, формализующих многогранные аспекты готовности и применимости пожарных подразделений. Помимо традиционно используемого параметра – времени следования, целесообразно внедрение дополнительных управленческих, эксплуатационных и логистических характеристик технического состояния – объема воды автоцистерн и численности боевого расчета, величина остаточного моторесурса, расход топлива, тип используемого топлива, оснащенность пожарных автомобилей специализированным оборудованием, опыт и квалификация личного состава, риски возникновения одновременных пожаров в районе выезда и необходимость создания резерва сил и средств.

Интеграция этих критериев в алгоритмы планирования позволяет реализовать модель с переменными приоритетами, адаптируемыми под конкретные условия выезда и характеристику объекта защиты. Такой подход обеспечивает более точную настройку расписаний выезда, минимизирует риск перегрузки гарнизонов и повышает управляемость оперативной деятельности в динамично изменяющихся условиях.

Дальнейшее развитие указанных положений требует синтеза новых моделей, в том числе за счет сочетания методов многокритериальной оптимизации, вероятностного анализа, и элементов машинного обучения. Использование аналитики и искусственного интеллекта позволит учитывать не только текущее состояние подразделений, но и вероятностные сценарии развития пожароопасной обстановки, включая погодные условия, плотность застройки, характеристики улично-дорожной сети, наличие инженерных ограничений и др.

Отдельного внимания заслуживает задача интеграции алгоритмических моделей с внешними информационными системами. Объединение данных от систем мониторинга боеготовности, диспетчерских платформ 112, погодных сервисов и ГИС обеспечит достоверную информационную базу для

автоматизированного формирования расписаний и маршрутов выезда, а также для динамической корректировки в процессе реагирования.

В условиях практической реализации указанных моделей особую роль приобретает их нормативное закрепление. Действующие регламентирующие документы, включая Приказ МЧС России от 13.01.2025 г. № 19 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах и Порядка привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, пожарно-спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» [56], не предусматривают использование гибких адаптивных алгоритмов и требуют пересмотра с учетом возможности применения интеллектуальных систем планирования, основанных на многокритериальных оценках. Разработка нормативно-методической базы, регулирующей применение формализованных моделей, обеспечит юридическую определенность принимаемых решений и создаст условия для их повсеместного внедрения в гарнизонах различных уровней.

Важным элементом повышения эффективности системы является формирование обучающих цифровых платформ и имитационных тренажеров, предназначенных для подготовки диспетчерского состава, дежурных смен и руководителей тушения пожаров. Разработанные в исследовании алгоритмы могут быть использованы в качестве программной основы для тренажерных комплексов, имитирующих различные сценарии реагирования: от ограниченности ресурсов до развития чрезвычайных ситуаций. Это позволит формировать устойчивые поведенческие стратегии в условиях неопределенности, а также повысит готовность персонала к использованию интеллектуальных инструментов планирования в реальной обстановке.

Таким образом, перспективы совершенствования системы управления привлечением пожарных подразделений по повышенным рангам заключаются в комплексной трансформации действующих подходов – от превентивных методов к управляемой системе с динамической адаптацией, учетом мультикритериальных факторов. Реализация предложенных решений и их нормативное закрепление

создадут базу для формирования единой цифровой среды поддержки принятия решений в сфере пожарной охраны.

2.6 Выводы по второй главе

1. По результатам проведенного исследования во второй главе можно сделать несколько ключевых выводов. Прежде всего, при определении теоретического и фактического числа наборов оперативных отделений пожарных подразделений необходимо учитывать, когда дальнейшее увеличение этих параметров становится нецелесообразным – ограничивается числом расчетных единиц территории, для каждой из которых может быть сформирован свой уникальный набор оперативных отделений.

2. С увеличением теоретического числа наборов оперативных отделений пожарных подразделений увеличивается сложность системы управления пожарно-спасательным гарнизоном. В случае, когда разница во времени между теоретическими наборами становится несущественной для конечного результата, а реагирование осуществляется без учета оперативной дорожной обстановки, дальнейшее формирование наборов теряет свою целесообразность с точки зрения затрат на управление. Таким образом, оптимизация системы управлением сосредоточения требует учета не только теоретических расчетов, но и реальных условий улично-дорожной сети.

3. Нынешняя система реагирования, несмотря на свою первоначальную эффективность, устарела и не отвечает современным требованиям в решении задач, связанных с пожарами по повышенным рангам, в зависимости от их сложности [10, 112]. С учетом изменений в характере и масштабах пожаров, развития транспортной инфраструктуры и появления более современной пожарной техники и технологий, старые методы планирования и координации уже не обеспечивают необходимой оперативности [11].

4. Предложен метод территориальной декомпозиции районов (подрайонов) выезда на секторы и разработан алгоритм, реализующий данный метод и формирующий реляционную модель данных очередности (наборов) привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов. Реализация предложенного подхода обеспечивает сокращение времени сосредоточения подразделений на 30-70% в зависимости от сектора выезда и ранга пожара по сравнению с существующим порядком планирования, а также позволяет оценивать вероятность их своевременного прибытия.

5. Разработан программный модуль формирования данных наборов оперативных отделений по повышенным рангам индивидуально для каждого объекта защиты. Модуль объединяет идентичные наборы отделений в единые секторы выезда на этапе предварительного планирования и обеспечивает автоматизацию процесса построения расписаний выезда подразделений ПСГ, повышая оперативность и обоснованность принимаемых решений.

ГЛАВА 3 МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВЫБОРА ОПЕРАТИВНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ПРИВЛЕЧЕНИЮ НА ПОЖАРЫ ПОВЫШЕННЫХ РАНГОВ

3.1 Критерии выбора оперативных отделений пожарных подразделений для привлечения на пожары по повышенным рангам

Во второй главе установлена необходимость оптимизации формирования наборов оперативных отделений на этапе предварительного планирования, а также выявлены ограничения действующей системы реагирования. В третьей главе предлагается построение модели поддержки принятия решений, ориентированной на выбор альтернативных оперативных отделений пожарных подразделений в условиях реального времени.

Оптимизация динамических процессов управления характерна и для системы обеспечения пожарной безопасности, где требуется формирование рациональных наборов СиС для реагирования на пожары. В публикациях [32, 33] было предложено решать проблему управления пожарных подразделений с помощью метода «дерева решений» и «машинообучаемых цепей Маркова» с использованием категории экономической эффективности уровня боеготовности. В работах [34, 35] разрабатываются модели и информационно-аналитическая система поддержки управления процессами экстренного реагирования. Иной путь решения проблемы возможен посредством предлагаемой модели. Она позволяет сформировать очередность высылки оперативных отделений, которые будут с большими оперативно-тактическими возможностями на пожаре по повышенному рангу.

Для качественного привлечения СиС проанализируем оперативные отделения ПП и сравним возможные сценарии обстановки на месте пожара. Далее

с моделируем различное привлечение отделений на один пожар, с разной обстановкой на месте пожара, применив математические модели.

В современных условиях работа диспетчера невозможна без использования информационных технологий [119-122]. Дополнительно отмечается, что цифровые системы диспетчеризации успешно применяются в зарубежной практике [44-53]. Однако, для него, как для лица принимающего решения, критерий выбора оперативных отделений ПП (альтернатив) не имеет определяющего значения. Для него все отделения как альтернативы выбора одинаковы [123], они важны другим субъектам – руководителю проведения боевых действий по тушению пожаров и старшим оперативным должностным лицам (РТП); начальникам пожарно-спасательных гарнизонов и сотрудникам, обеспечивающим деятельность Государственной противопожарной службы.

В ряде публикаций были предложены критерии привлечения экстренных служб [124] и пожарных подразделений [125]. В таблице 3.1 сформированы критерии привлечения оперативных отделений пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам, значимые для данных субъектов, для количественной и качественной оценки альтернативных.

Таблица 3.1 – Критерии привлечения оперативных отделений пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам

| № п/п | Критерий | Описание критерия |
|-------|---|---|
| 1. | Время следования | Привлечение оперативных отделений с наименьшим временем следования к месту пожара |
| 2. | Численность личного состава газодымозащитной службы (ГДЗС) | Привлечение оперативных отделений с большей численностью личного состава ГДЗС для проведения боевых действий в сильно задымленных местах |
| 3. | Объем автоцистерны | Привлечение оперативных отделений с большим объемом воды в автоцистерне для увеличения времени тушения пожара без установки автомобиля на пожарный гидрант или водоисточник |
| 4. | Расход топлива | Привлечение оперативных отделений с учетом экономии горюче-смазочных материалов |
| 5. | Риск возникновения нескольких деструктивных событий в районе выезда | Привлечение оперативных отделений, в районе выезда которой наименьший риск возникновения пожара |

Продолжение таблицы 3.1

| № п/п | Критерий | Описание критерия |
|-------|------------------------------------|---|
| 6. | Численность боевого расчета | Привлечение оперативных отделений с большей численностью личного состава боевого расчета, позволяющей ускорить ликвидацию пожара |
| 7. | Тип пожарной техники | Привлечение оперативных отделений с возможностями проезда в стесненных условиях и плотной застройки, а также при малых радиусах поворота и разворота |
| 8. | Степень состояния пожарной техники | Привлечение оперативных отделений, степень состояния которой позволяет развить максимальную скорость и производительность насоса, а также исключить из привлечения, если вероятность отказа работоспособности максимальна |
| 9. | Использованные моторесурсы | Привлечение оперативных отделений с меньшими использованными моторесурсами |
| 10. | Вид используемых топлива | Привлечение оперативных отделений с равномерно использованными различными видами топлива, а в условиях дефицита исключить использование одного из видов топлива |
| 11. | Оснащенность пожарной техники | Привлечение оперативных отделений, имеющую на вооружении необходимый на месте пожара инструмент и (или) оборудование |
| 12. | Общий стаж службы личного состава | Привлечение оперативных отделений с наиболее опытным личным составом |
| 13. | Резерв сил и средств | Привлечение оперативных отделений с меньшим временем оперативного реагирования и с формированием резерва для ликвидации второго возможного пожара |

Ввод критериев в систему реагирования оперативных отделений пожарных подразделений, позволяет представить систему в иерархической структуре (рисунок 3.1):

1. Оперативного сосредоточения (время следования);
2. Качественного сосредоточения:

- а) Экономия ресурсов;
- б) Эффективность боевых действий;
- в) Безопасность гарнизона.

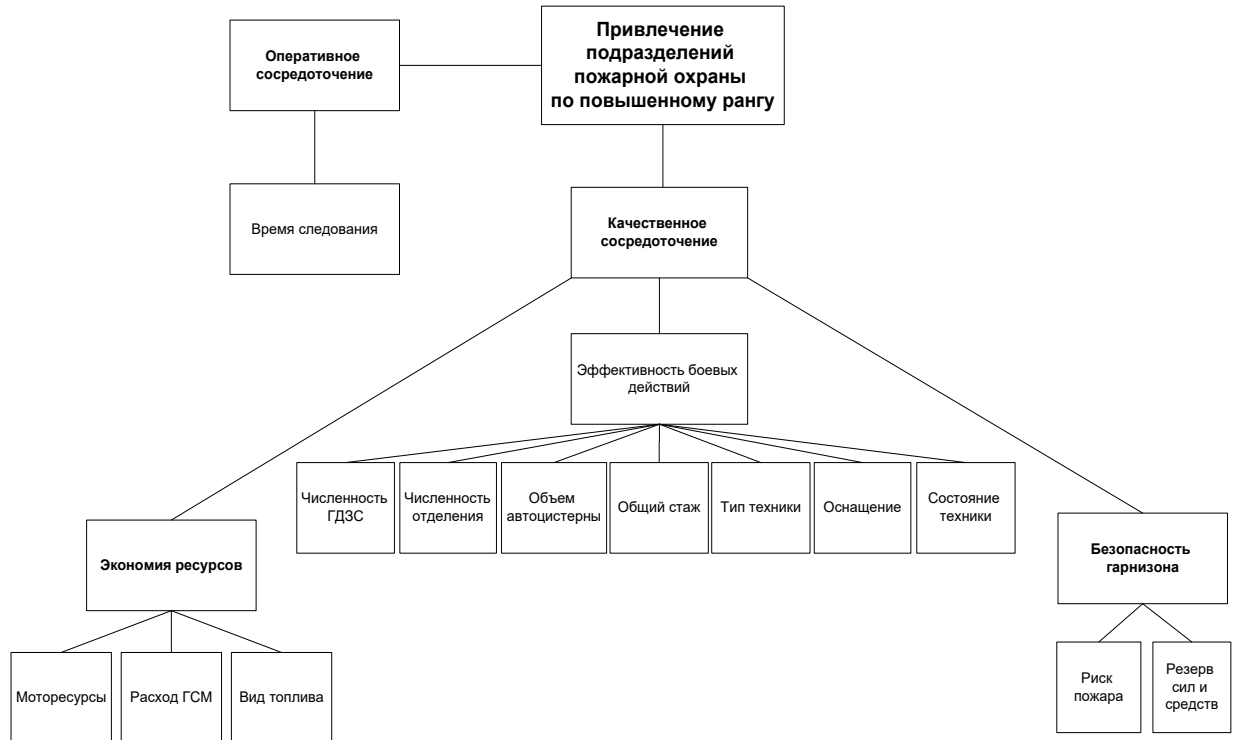


Рисунок 3.1 – Иерархия критериев привлечения оперативных отделений пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам

Сформированные критерии и их иерархическая структура являются основой для построения модели выбора альтернативных наборов подразделений. Перечисленные критерии группируются в иерархическую структуру (рисунок 3.1): к оперативному сосредоточению относится критерий 1 (время следования); к блоку «экономия ресурсов» – критерии 4, 9 и 10; к блоку «эффективность боевых действий» – критерии 2, 3, 6, 7, 11 и 12; к блоку «безопасность гарнизона» – критерии 5, 8 и 13.

Таким образом, сформированные критерии (таблица 3.1) и их иерархическая структура (рисунок 3.1) создают основу для формализации процесса выбора оперативных отделений, привлекаемых на пожары повышенных рангов. На

следующем этапе исследования данные критерии используются для построения модели поддержки принятия управленческих решений.

В целях комплексной количественной оценки потенциала пожарных подразделений при реагировании на пожары повышенных рангов введено понятие оперативно-тактических возможностей (ОТВ). Оперативно-тактические возможности – это способность пожарных подразделений обеспечивать результативное выполнение задач по тушению пожаров в кратчайшие сроки. Данный показатель в дальнейшем применяется как интегральный критерий оценки альтернатив оперативных отделений при выборе подразделений для привлечения на пожары повышенных рангов.

3.2 Модель поддержки принятия управленческих решений по привлечению оперативных отделений пожарных подразделений на пожары повышенных рангов методом анализа иерархий

Для демонстрации применимости модели выбран пожар в г. Астрахани, отражающий типовые условия реагирования региональных пожарно-спасательных гарнизонов. При этом, аналогичные расчеты могут быть выполнены для любых других городских округов, населенных пунктов и муниципальных образований, что подтверждает универсальный характер предложенной модели.

Построим математическую модель [126] на примере произошедшего пожара по рангу № 1-БИС в г. Астрахани [82], где произошло загорание кровли, внешней и внутренней отделки жилого дома и вещей на общей площади 168 м².

Смоделируем произошедший пожар. Обстановка на месте пожара предполагает использование следующих критериев:

1. Критерий «Время следования» – рассчитывается геоинформационными системами (ГИС) [42, 43].

2. Критерий «Численность личного состава ГДЗС» – известен из строевой записки гарнизона.

3. Критерий «Объем автоцистерны» – известен из строевой записки гарнизона.

4. Критерий «Расход топлива» – установлен методическими рекомендациями Министерства транспорта Российской Федерации от 14.03.2008 года № АМ-23-р «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте».

5. Критерий «Риск возникновения нескольких деструктивных событий в районе выезда» – основан на статистических данных о реагировании ПП, поэтому должен быть рассчитан согласно оперативной обстановке, соответствующей дню пожара.

Так как риск возникновения нескольких деструктивных событий распределен закону Пуассона, определим его по формуле [126]:

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda \cdot \tau)^k e^{-\lambda \cdot \tau}}{k!}, \quad (3.1)$$

где k – число появлений события в n независимых испытаниях;

λ – среднее число появлений события в n испытаниях (среднее число в сутки);

τ – среднее время обслуживания деструктивного события (примерно 30 минут, 0,02 суток).

Система реагирования ПСГ должна предусматривать возможность ликвидации нескольких одновременных событий [60-62]. Поэтому важен риск возникновения больше одного деструктивного события ($P_{<1}$) в течение суток [127]:

$$P_{<1} = 1 - (P_0 + P_1), \quad (3.2)$$

где P_0 – риск отсутствия деструктивного события в течение суток;

P_1 – риск возникновения одного деструктивного события в течение суток.

По формулам (3.1) и (3.2) определим риск возникновения нескольких деструктивных событий в районе выезда пожарно-спасательных частей (ПСЧ) г. Астрахани в течение суток. Фактические статистические данные о реагировании оперативных отделений ПП в день пожара невелики и будут незначимы для модели, поэтому для примера приняты условно (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Условные риски возникновения нескольких деструктивных событий в районе выезда пожарных подразделений г. Астрахани в течение суток

| Подразделения | Число деструктивных событий | Риск отсутствия деструктивного события (P_0) | Риск возникновения одного деструктивного события (P_1) | Риск возникновения большего одного деструктивного события ($P_{<1}$) |
|---------------|-----------------------------|--|--|--|
| 1 ПСЧ | 800 | 0,95711 | 0,04196 | 0,00093 |
| 2 ПСЧ | 1000 | 0,94668 | 0,05187 | 0,00145 |
| 3 ПСЧ | 600 | 0,96766 | 0,03181 | 0,00053 |
| 4 ПСЧ | 400 | 0,97832 | 0,02144 | 0,00024 |

Критерий «Риск возникновения нескольких деструктивных событий в районе выезда» предпочтительней использовать в крупных городах, где количество деструктивных событий в районе выезда в течение года свыше 1000, а различия значений между количеством событий в районах выезда – свыше 500. Тогда использование критерия является значимым при привлечении оперативных отделений ПП по повышенным рангам пожаров. Например, по имеющимся статистическим данным за 2019 год, для г. Москвы рассчитаны риски возникновения нескольких деструктивных событий. Значения приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Риск возникновения нескольких деструктивных событий в г. Москве в течение суток

| Административный округ | Число деструктивных событий | Риск отсутствия деструктивного события (P_0) | Риск возникновения одного деструктивного события (P_1) | Риск возникновения большего одного деструктивного события ($P_{<1}$) |
|---------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| Центральный | 5264 | 0,75 | 0,22 | 0,03 |
| Северо-Восточный | 7050 | 0,68 | 0,26 | 0,06 |
| Восточный | 1453 | 0,92 | 0,07 | 0,01 |
| Юго-Восточный | 10298 | 0,57 | 0,32 | 0,11 |
| Южный | 9019 | 0,61 | 0,31 | 0,09 |
| Юго-Западный | 1453 | 0,92 | 0,07 | 0,01 |
| Западный | 8327 | 0,63 | 0,29 | 0,08 |
| Северо-Западный | 2835 | 0,86 | 0,13 | 0,01 |
| Северный | 4512 | 0,78 | 0,19 | 0,03 |
| Зеленоградский | 2029 | 0,89 | 0,09 | 0,01 |
| Троицкий и Новомосковский | 2627 | 0,87 | 0,13 | 0,01 |

Сведения о ближайших к месту пожара оперативных отделений ПП представлены в таблице 3.4. Произведем моделирование различных вариантов прибытия отделений к месту пожара и сравним их между собой.

Таблица 3.4 – Сведения о пожарных подразделениях ближайших к месту пожара

| Подразделение | Время следования, мин | Численность личного состава ГДЗС, чел. | Объем воды автоцистерны, тонн | Расход топлива, литр/км | Риск возникновения нескольких деструктивных событий в районе выезда |
|---------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------|---|
| 1 АЦ 1 ПСЧ | 14 | 5 | 9 | 50 | 0,00093 |
| 2 АЦ 1 ПСЧ | 14 | 1 | 6 | 44,5 | 0,00093 |
| 1 АЦ 2 ПСЧ | 18 | 5 | 6 | 44,5 | 0,00102 |
| 2 АЦ 2 ПСЧ | 18 | 1 | 8 | 47 | 0,00102 |
| 1 АЦ 3 ПСЧ | 30 | 0 | 3,2 | 39 | 0,00009 |
| 1 АЦ 4 ПСЧ | 26 | 5 | 6 | 50 | 0,00145 |
| 2 АЦ 4 ПСЧ | 26 | 1 | 8 | 47 | 0,00145 |
| 1 АЦ 5 ПСЧ | 25 | 5 | 6 | 44,5 | 0,00053 |
| 2 АЦ 5 ПСЧ | 25 | 1 | 8 | 47 | 0,00053 |
| 1 АЦ 4 ПСЧ | 26 | 5 | 3,2 | 39 | 0,00024 |
| 2 АЦ 4 ПСЧ | 26 | 1 | 3,2 | 39 | 0,00024 |

Метод аналитической иерархии позволяет сравнить существующие альтернативы по всем критериям и определить их тактические возможности. Вследствие этого вышеупомянутую математическую модель оптимально использовать при реагировании оперативных отделений пожарных подразделений по повышенным рангам пожаров.

Все критерии необходимо количественно определить: n – альтернативность автоцистерн (АЦ) состоящих в боевом расчете оперативных отделений ПП, которые запишем как A_1, A_2, \dots, A_n , и m критериев (вышеуказанные), обозначенные как K_1, K_2, \dots, K_m . Далее используем шкалу относительной значимости сопоставлений (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Шкала относительной значимости сопоставлений альтернатив

| Уровень значимости | Степень значимости h |
|--------------------|------------------------|
| Равная | 1 |
| Умеренная | 3 |
| Существенная | 5 |
| Значительная | 7 |
| Наибольшая | 9 |

Допустим, K_1 – критерий времени следования. Далее мы попарно оценим все АЦ ПСЧ между собой (Нумерация ПСЧ – условная). В результате создается матрица сопоставлений V_{ij}^1 , где любое значение альтернативы A_i – не менее наилучшей, чем альтернатива A_j , равна h . Если же значение A_i – не более наилучшей чем альтернатива A_j , то значимость матрицы V_{ij}^1 , следовательно, $1/h$ (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Матрица критерия «Время следования»

| $V_{\text{вр.с.}}^{(1)}$ | 1 АЦ 1 ПСЧ | 2 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 2 ПСЧ | 2 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 3 ПСЧ | 1 АЦ 4 ПСЧ | 2 АЦ 4 ПСЧ | 1 АЦ 5 ПСЧ | 2 АЦ 5 ПСЧ | 1 АЦ 6 ПСЧ | 2 АЦ 6 ПСЧ |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 АЦ 1 ПСЧ | 1 | 1 | 3 | 3 | 9 | 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 7 |
| 2 АЦ 1 ПСЧ | 1 | 1 | 3 | 3 | 9 | 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 7 |
| 1 АЦ 2 ПСЧ | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 7 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 2 АЦ 2 ПСЧ | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 7 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 1 АЦ 3 ПСЧ | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 |

Продолжение таблицы 3.6

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|-----|-----|---|---|
| 1 АЦ 4 ПСЧ | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 |
| 2 АЦ 4 ПСЧ | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 |
| 1 АЦ 5 ПСЧ | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 5 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| 2 АЦ 5 ПСЧ | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 5 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| 1 АЦ 6 ПСЧ | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 |
| 2 АЦ 6 ПСЧ | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 |

Соответствующим методом сопоставляются значения и составляются матрицы оставшихся критериев, которые важны именно для этого пожара – численность личного состава ГДЗС (K^2), объем воды АЦ (K^3), расход топлива (K^4), риск возникновения нескольких деструктивных событий в районе выезда ПП (K^5).

Следующий шаг – определение собственных векторов альтернатив. Здесь для i -й альтернативы по k -му критерию можно найти вектор $U_i^{(k)}$. Среднегеометрическое число сопоставления матрицы в этой альтернативе (строки матрицы) [104]:

$$U_i^{(k)} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n V_{ij}^{(k)}}, \quad (3.3)$$

где k – критерий;

i – альтернативы по k -му критерию;

$V_{ij}^{(k)}$ – элемент собственного вектора матрицы.

В последующем у каждого критерия устанавливается вес альтернатив и вес самих критериев посредством корректировки собственных значений. Отношение

элементов собственного вектора к общей сумме элементов собственного вектора позволяет определить значение веса i -й альтернативы по k -му критерию $W_i^{(k)}$ [126]:

$$W_i^{(k)} = \frac{U_i^{(k)}}{\sum_{i=1}^n U_i^{(k)}}, \quad (3.4)$$

где k – критерии;

i – альтернативы по k -му критерию;

$W_i^{(k)}$ – вес i -й альтернативы по k -му критерию.

Таким образом, формула (3.3) позволяет вычислить среднегеометрическое значение для каждой альтернативы, а формула (3.4) нормирует полученные данные и преобразует их в веса, сумма которых равна единице. Это обеспечивает возможность сравнения альтернатив между собой по каждому критерию.

В таблице 3.7 представлены итоговые расчеты собственных векторов и весов альтернатив критерия «Время следования». Аналогичные вычисления выполнены для остальных критериев.

Таблица 3.7 – Матрица критерия «Время следования»

| $V_{\text{в.с.}}^{(l)}$ | 1 АЦ 1 ПСЧ | 2 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 2 ПСЧ | 2 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 3 ПСЧ | 1 АЦ 4 ПСЧ | 2 АЦ 4 ПСЧ | 1 АЦ 5 ПСЧ | 2 АЦ 5 ПСЧ | 1 АЦ 6 ПСЧ | 2 АЦ 6 ПСЧ | $U_{\text{в.с.}}^{(l)}$ | $W_{\text{в.с.}}^{(l)}$ |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 АЦ 1 ПСЧ | 1 | 1 | 3 | 3 | 9 | 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 7 | 4,054 | 0,2436 |
| 2 АЦ 1 ПСЧ | 1 | 1 | 3 | 3 | 9 | 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 7 | 4,054 | 0,2436 |
| 1 АЦ 2 ПСЧ | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 7 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 2,142 | 0,1288 |
| 2 АЦ 2 ПСЧ | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 7 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 2,142 | 0,1288 |
| 1 АЦ 3 ПСЧ | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 0,235 | 0,0141 |
| 1 АЦ 4 ПСЧ | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 0,474 | 0,0284 |
| 2 АЦ 4 ПСЧ | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 0,474 | 0,0284 |

Продолжение таблицы 3.7

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|-----|-----|---|---|-------|--------|
| 1 АЦ 5 ПСЧ | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 5 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1,054 | 0,0634 |
| 2 АЦ 5 ПСЧ | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 5 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1,054 | 0,0634 |
| 1 АЦ 6 ПСЧ | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 0,474 | 0,0284 |
| 2 АЦ 6 ПСЧ | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 0,474 | 0,0284 |

У самих критериев тоже определим собственные векторы и вес, условно обозначив $U_{крит}^{(k)}$ и $W_{крит}^{(k)}$.

В итоге определяем функцию полезности для всех альтернатив, так как мы имеем все значения альтернатив для каждого критерия и вес критериев (таблица 3.8). Сопоставляем все альтернативы и определяем альтернативу с максимальной функцией (таблица 3.9) [126]:

$$F_i = \sum_{k=1}^m W_i^{(k)} \times W_{крит}^k, \quad (3.5)$$

где F_i – функция полезности i -й альтернативы;

$W_i^{(k)}$ – вес i -й альтернативы по k -му критерию;

$W_{крит}^{(k)}$ – вес критерия.

Таблица 3.8 – Матрица критериев

| Критерий | K_1 | K_2 | K_3 | K_4 | K_5 | $U_{крит}^{(k)}$ | $W_{крит}^{(k)}$ |
|----------|----------|----------|----------|-------|----------|------------------|------------------|
| K_1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 5,799546 | 0,648336 |
| K_2 | 0,111111 | 1 | 3 | 7 | 9 | 1,838416 | 0,205518 |
| K_3 | 0,111111 | 0,333333 | 1 | 5 | 7 | 1,053273 | 0,117746 |
| K_4 | 0,111111 | 0,142857 | 0,2 | 1 | 0,333333 | 0,254047 | 0,028401 |
| K_5 | 0,111111 | 0,111111 | 0,142857 | 3 | 1 | 0,350516 | 0,039184 |

Таблица 3.9 – Функция полезности по каждой альтернативе

| A_i | F_i | Порядковый номер очередности привлечения, согласно функции полезности | Порядковый номер очередности привлечения, согласно расписания выезда |
|------------|-----------|---|--|
| 1 АЦ 1 ПСЧ | 0,1964877 | 1 | 1 |
| 2 АЦ 1 ПСЧ | 0,1705741 | 2 | 2 |
| 1 АЦ 2 ПСЧ | 0,0933731 | 4 | 3 |
| 2 АЦ 2 ПСЧ | 0,1040723 | 3 | 4 |
| 1 АЦ 3 ПСЧ | 0,0240195 | 11 | 5 |
| 1 АЦ 4 ПСЧ | 0,0263127 | 10 | 6 |
| 2 АЦ 4 ПСЧ | 0,0360973 | 7 | 7 |
| 1 АЦ 5 ПСЧ | 0,0525942 | 6 | 8 |
| 2 АЦ 5 ПСЧ | 0,0623788 | 5 | Не предусмотрено |
| 1 АЦ 6 ПСЧ | 0,0286764 | 8 | Не предусмотрено |
| 2 АЦ 6 ПСЧ | 0,0286764 | 9 | Не предусмотрено |

В таблице 3.9 видно, что порядок очередности привлечения оперативных отделений ПП, построенный с помощью модели, незначительно отличается от расписания выезда. Первые 4 АЦ остались неизменны. Так как самым важным критерием было выбрано «Время следования», то 2 АЦ 1 ПСЧ направляются пятыми по очередности, вместо 1 АЦ 4 ПСЧ. В результате силы и средства будут сосредоточены на 0,8 минут быстрее и общий объем огнетушащих веществ в виде воды будет на 3 тонны больше. Однако на месте пожара на 2 газодымозащитника будет меньше, и расход топлива увеличится (5,5 литров на 100 км). В случае пожара по рангу № 1-БИС и выше, куда, согласно расписанию выезда, направляется 5 АЦ, результаты моделирования являются значительными.

Для примера смоделируем произошедший пожар в двух ситуациях:

1. В условиях массовой эвакуации людей, где для РТП важно сосредоточить звенья ГДЗС. Время следования остается приоритетным, риск нескольких

деструктивных событий незначителен, а объем воды АЦ и расход – незначимым (таблица 3.10).

2. В условиях недостаточности огнетушащих веществ (безводный участок местности), где для РТП важно сосредоточить АЦ с большим объемом воды. Время следования остается приоритетным, риск возникновения нескольких деструктивных событий в районе выезда незначителен, а численность личного состава ГДЗС и расход топлива – незначимыми (таблица 3.11).

Таблица 3.10 – Функция полезности для всех альтернатив при первом условии

| A_i | F_i | Порядковый номер очередности привлечения, согласно функции полезности | Порядковый номер очередности привлечения, согласно расписанию выезда |
|---------------|-----------|---|---|
| 1 АЦ 1 ПСЧ | 0,1649826 | 1 | 1 |
| 2 АЦ 1 ПСЧ | 0,1649826 | 2 | 2 |
| 1 АЦ 2 ПСЧ | 0,0871248 | 3 | 3 |
| 2 АЦ 2 ПСЧ | 0,0871248 | 4 | 4 |
| 1 АЦ 3 ПСЧ | 0,0406476 | 7 | 5 |
| 1 АЦ 4 ПСЧ | 0,0200723 | 10 | 6 |
| 2 АЦ 4 ПСЧ | 0,0200723 | 11 | 7 |
| 1 АЦ 5 ПСЧ | 0,0512736 | 5 | 8 |
| 2 АЦ 5 ПСЧ | 0,0512736 | 6 | Не предусмотрено |
| 1 АЦ 6 ПСЧ | 0,0370632 | 8 | Не предусмотрено |
| 2 АЦ 6 ПСЧ | 0,0370632 | 9 | Не предусмотрено |

Таблица 3.11 – Функция полезности для всех альтернатив при втором условии

| A_i | F_i | Порядковый номер очередности привлечения, согласно функции полезности | Порядковый номер очередности привлечения, согласно расписанию выезда |
|---------------|-----------|---|---|
| 1 АЦ 1 ПСЧ | 0,2333749 | 1 | 1 |
| 2 АЦ 1 ПСЧ | 0,1926429 | 2 | 2 |
| 1 АЦ 2 ПСЧ | 0,1068601 | 4 | 3 |
| 2 АЦ 2 ПСЧ | 0,1236774 | 3 | 4 |
| 1 АЦ 3 ПСЧ | 0,0391120 | 10 | 5 |
| 1 АЦ 4 ПСЧ | 0,0326768 | 11 | 6 |
| 2 АЦ 4 ПСЧ | 0,0480567 | 7 | 7 |
| 1 АЦ 5 ПСЧ | 0,0645748 | 6 | 8 |
| 2 АЦ 5 ПСЧ | 0,0799546 | 5 | Не предусмотрено |
| 1 АЦ 6 ПСЧ | 0,0395347 | 8 | Не предусмотрено |
| 2 АЦ 6 ПСЧ | 0,0395347 | 9 | Не предусмотрено |

В таблице 3.10 видно, что порядок привлечения также изменился, начиная с 5 АЦ. При привлечении по рангу пожара № 2 прибывает на 1 газодымозащитника больше и общее время сосредоточения на 4 минут быстрее, чем по расписанию выезда.

Из таблицы 3.11 видно, что очередность изменилась с 3 автоцистерны, но это маловажно, так как 4 АЦ из этого же ПП. При этом, общий объем огнетушащих веществ в виде воды будет на 2 тонны больше, время сосредоточения быстрее на 4 минуты.

При этом необходимо обратить внимание, на очередность прибытия в таблице 3.10 и 3.11 согласно модели. Очередность отличается, в связи с различным риском возникновения деструктивного события в обслуживаемых районах выезда [127, 128].

Место возникновения пожара и различные возможные пути следования оперативных отделений ПП к месту пожара формирует критерий «Время следования». Это позволяет сформировать последовательную очередность высылки пожарных подразделений и, тем самым, оперативно сосредоточить отделения на пожары по повышенному рангу [129, 130]. Поэтому он остается приоритетным критерием в привлечении на все пожары. Но относительно других критериев его важность можно уменьшить или увеличить, что повлияет на оперативность сосредоточения [131].

В рассчитанной модели применены не все сформированные критерии, так как для произошедшего пожара значения по всем критериям незначимы. При этом, критерии можно как добавлять в модель, так и исключать в зависимости от ранга пожара, объекта пожара, складывающейся обстановки на месте пожара и обстановки в пожарно-спасательном гарнизоне в целом. Чем больше критериев учитывается при привлечении, тем выше оперативно-тактические возможности пожарных подразделений. Модель также применима для выбора оперативных отделений ПП при следовании в подразделение после завершения тушения пожара по повышенному рангу [126].

При привлечении АЦ, состоящих в боевом расчете ПСЧ, важна оперативность их реагирования. Однако на сегодняшний день Расписанием выезда, являющимся главным инструментом поддержки принятия решений в очередности привлечения АЦ, предусмотрен только один «сценарий» высылки в районы (подрайоны) выезда ПСЧ. Как ранее отмечалось, расписание выезда – база данных, включающая в себя очередность привлечения пожарных подразделений, сгруппированную по районам выезда, однако фактическое сосредоточение подразделений не во всех случаях соответствует этому порядку.

Вероятность $P_{\geq n}$ того, что n и более оперативных отделений из общего числа N потенциальных свободных отделений и могут быть привлечены на пожар, определяется выражением:

$$P_{\geq n} = \sum_{i=n}^N P_i , \quad (3.6)$$

где P_i – вероятность того, что i отделений свободны и могут прибыть к месту вызова.

Если требуется оценить вероятность P'_n сосредоточения на месте пожара конкретного набора из n отделений, предусмотренных Расписанием выезда по данному рангу, то при допущении статистической независимости их занятости используется выражение:

$$P'_n = \prod_{j=1}^n P_j , \quad (3.7)$$

где P_j - вероятность того, что j отделение свободно.

Чем выше риск возникновения деструктивных событий (ДС) в зоне обслуживания ПСГ, т.е. чем выше загрузка подразделений, тем меньше вероятность их сосредоточения в соответствии с расписанием выезда.

Помимо того, что предусмотрен один вариант привлечения, он применим не во всех случаях. Так, для примера по имеющимся статистическим данным о реагировании оперативных отделений ПП в г. Астрахани за 2022 год (таблица 3.12) [82] смоделировано привлечение в район выезда 2 ПСЧ (подрайон выезда 1 ПСЧ) согласно Расписанию выезда по каждому рангу пожара. Для каждого оперативного отделения на основе числа деструктивных событий определен риск отсутствия деструктивных событий P_0 в течение суток; рассчитанные значения приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Статистические данные о реагировании оперативных отделений в г. Астрахани

| Подразделения | Число деструктивных событий | Риск отсутствия деструктивных событий (P_0) | Подразделения | Число деструктивных событий | Риск отсутствия деструктивных событий (P_0) |
|---------------|-----------------------------|---|---------------|-----------------------------|---|
| 1 ПСЧ | 533 | 0,971217 | 9 ПСЧ | 347 | 0,981166 |
| 2 ПСЧ | 646 | 0,965222 | 17 ПСЧ | 243 | 0,986773 |
| 3 ПСЧ | 207 | 0,988722 | 42 ПСЧ | 419 | 0,977303 |
| 4 ПСЧ | 252 | 0,986287 | | | |

Вероятность сосредоточения пожарных подразделений по каждому рангу пожара в г. Астрахани P_c рассчитывается по выражению (3.8) как произведение соответствующих значений P_0 для оперативных отделений, входящих в расписание выезда по данному рангу; результаты расчета сведены в таблицу 3.13:

$$P_c = P_0^{1\text{ПСЧ}} \times P_0^{2\text{ПСЧ}} \dots \times P_0^{n\text{ПСЧ}}, \quad (3.8)$$

где P_0 – риск отсутствия деструктивных событий в течение суток.

Таблица 3.13 – Вероятность сосредоточения пожарных подразделений в г. Астрахани по каждому рангу пожара

| № п/п | Ранг пожара | Вероятность сосредоточения (P_c) | № п/п | Ранг пожара | Вероятность сосредоточения (P_c) |
|-------|-------------|--------------------------------------|-------|-------------|--------------------------------------|
| 1. | № 1 | 0,965222 | 4. | № 3 | 0,896944 |
| 2. | № 1-БИС | 0,937441 | 5. | № 4 | 0,864987 |
| 3. | № 2 | 0,926867 | | | |

Так, в 2022 году в г. Астрахани только в 86% случаях (таблица 3.13, рисунок 3.2) оперативные отделения ПП смогли бы прибыть на пожар по повышенному рангу № 4 в район выезда 2 ПСЧ (подрайон выезда ПСЧ), в соответствии с расписанием выезда, а в г. Санкт-Петербург в 40% случаях по повышенному рангу пожара № 5.

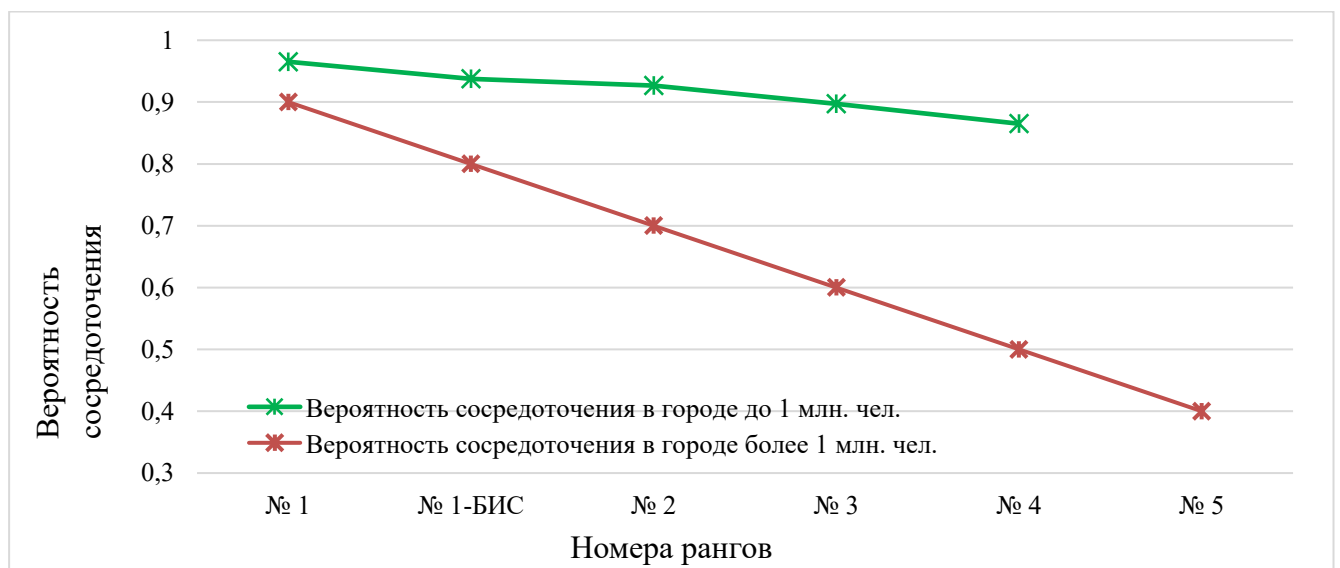


Рисунок 3.2 – Вероятность сосредоточения пожарных подразделений г. Астрахани и в г. Санкт-Петербург по каждому рангу пожара

И чем меньше риск отсутствия деструктивных событий в районах выезда оперативных отделений ПП, тем выше вероятность сосредоточения отделений не в соответствии с расписанием выезда. При этом, не учтены плановые мероприятия пожарных подразделений (занятия, учения, техническое обслуживание, заправка топливом), что также увеличивает вероятность сосредоточения отделений не в соответствии с расписанием выезда.

3.3 Лексикографическая модель выбора альтернативных наборов оперативных отделений пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам

В предыдущем параграфе была рассмотрена модель на основе метода анализа иерархий. Несмотря на его широкое применение, данный метод требует экспертной оценки и предварительного установления приоритетов критериев, что в условиях реального пожара затруднительно, поскольку диспетчер (субъект управления) не обладает полномочиями и временем для их определения.

В связи с этим, целесообразно применение лексикографического метода, отличающегося надежностью и устойчивостью при дефиците времени и информации. Выбор данного метода обусловлен его соответствием специфике работы диспетчера в реальной обстановке пожара, где решения принимаются в условиях ограниченных данных и необходимости оперативного реагирования.

Математическая модель представляется следующим выражением [54]:

Пусть $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ – множество альтернатив в виде n отделений.

Пусть $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ – упорядоченное множество критериев выбора, где C_1 – самый важный критерий, а C_m – наименее важный. Далее будем использовать обозначение.

Каждый критерий C_j представляет собой функцию, которая каждой альтернативе сопоставляет числовое значение:

$$C_j: A_i \rightarrow R, \quad (3.9)$$

где A_i – одна из альтернатив в виде n оперативных отделений (автоцистерны – АЦ);

C_j – один из m критериев оценки оперативных отделений;

R – числовое значение.

Для каждого критерия устанавливается направление предпочтений: для некоторых критериев «больше – лучше» (объем воды, численность газодымозащитников (ГДЗС)), для других – «меньше – лучше» (время следования, расход топлива, риск возникновения деструктивного события в районе выезда).

В качестве примера рассмотрим данные о находящихся в боевом расчете автоцистернах (таблица 3.14) и решим задачу выбора оперативных отделений по нескольким критериям, учитывая вариативность обстановки на месте пожара.

Таблица 3.14 – Критерии привлечения на основе тактико-технических характеристик оперативных отделений, ближайших к месту пожара

| Оперативные отделения | Критерии привлечения: | | | | |
|-----------------------|------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|--|
| | Время следования, мин. | Численность личного состава ГДЗС, чел. | Объем воды автоцистерны, тонн | Расход топлива, литр/100 км | Риск возникновения нескольких ДС в районе выезда |
| 1 АЦ 3 ПСЧ | 2,34 | 5 | 6 | 44,5 | 0,00053 |
| 2 АЦ 3 ПСЧ | 2,34 | 1 | 8 | 47 | 0,00053 |
| 1 АЦ 2 ПСЧ | 4,57 | 5 | 6 | 44,5 | 0,00145 |
| 2 АЦ 2 ПСЧ | 4,57 | 1 | 8 | 47 | 0,00145 |
| 1 АЦ 1 ПСЧ | 6,46 | 5 | 3,2 | 39 | 0,00093 |
| 2 АЦ 1 ПСЧ | 6,46 | 1 | 9 | 50 | 0,00093 |
| 1 АЦ 4 ПСЧ | 7,26 | 3 | 6 | 44,5 | 0,00024 |

Каждая альтернатива A_i оценивается по следующим критериям:

$C_1(A_i)$ – время следования отделений A_i , $C_2(A_i)$ – численность ГДЗС A_i , $C_3(A_i)$ – объем воды A_i , $C_4(A_i)$ – расход топлива A_i , $C_5(A_i)$ – риск возникновения ДС A_i .

Оптимальность выбора альтернативных наборов определяется совокупностью критериев (время следования, численность личного состава ГДЗС, объем воды автоцистерны, расход топлива, риск возникновения деструктивных событий в районе выезда) и выражается в минимизации времени сосредоточения оперативных отделений ПП и повышении оперативно-тактических возможностей их привлечения, при одновременном сохранении боеготовности пожарно-спасательного гарнизона.

Для корректного применения лексикографического метода необходимо нормализовать направления предпочтений всех критериев. Например, для критериев, где «больше–лучше», применяется такое преобразование, при котором все критерии имели направление «меньше – лучше» по формуле:

$$C'_j(A_i) = -C_j(A_i), \quad (3.10)$$

где $C'_j(A_i)$ нормализованное значение критерия;

$C_j(A_i)$ – исходное значение.

Для описания математической лексикографической модели выбора альтернативных наборов отделений формализуется процесс их выбора. Схематично модель представлена на Рисунке 3.3:

$$A_i \succ A_{i+1} \\ \text{если } \left(\begin{array}{l} \exists j \in \{1, 2, \dots, m\} \text{ такое, что } C_j(A_i) < C_j(A_{i+1}) \text{ и} \\ C_{1..(j-1)}: C_{1..(j-1)}(A_i) = C_{1..(j-1)}(A_{i+1}) \end{array} \right), \quad (3.11)$$

где A_i – альтернатива,

$C_j(A_i)$ – значение j -ого критерия для альтернативы A_i ;

m – количество критериев.

При этом значения критериев у альтернатив совпадают для всех индексов от первого до $(j-1)$ -го.

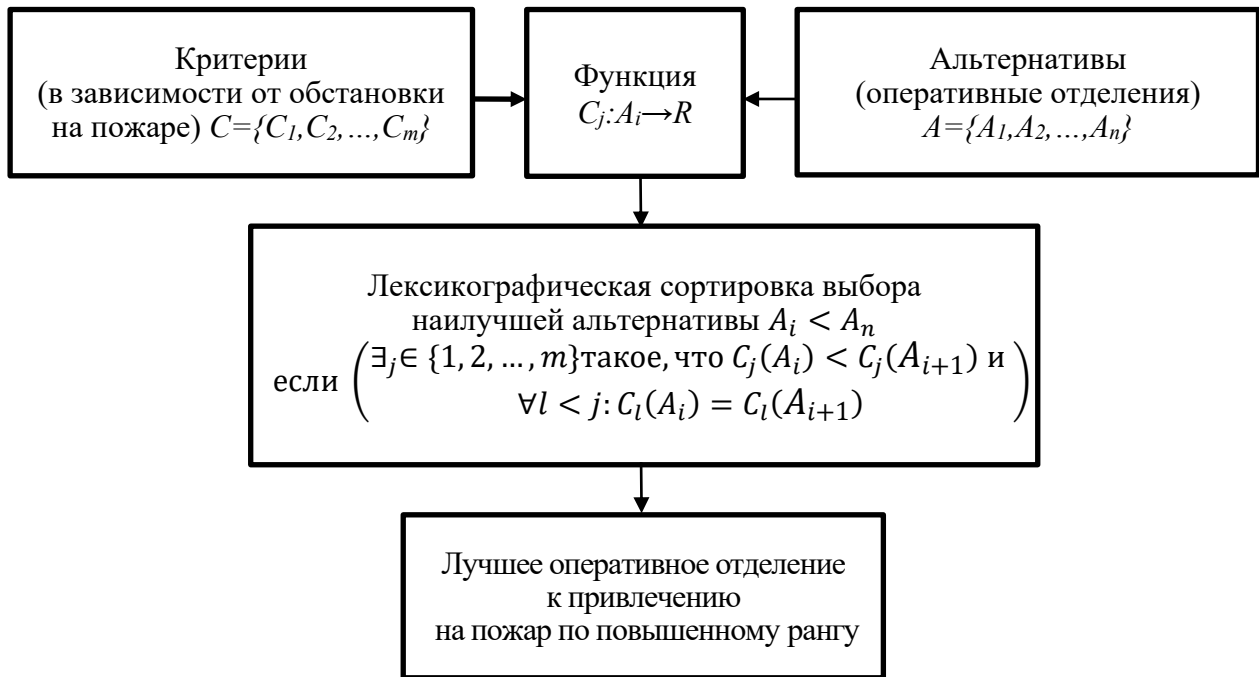


Рисунок 3.3 – Схема реализации лексикографической модели выбора альтернативных наборов оперативных отделений

В наборе № 1 использованы все пять критериев.

Попарно сравниваются альтернативы A_1, A_2, \dots, A_7 по времени следования C_1 , начиная с наименьшего значения (так как меньшее время предпочтительнее). Если для двух альтернатив A_i и A_k время следования различается, то:

$$A_1 > A_2 \text{ если } C_1(A_1) < C_1(A_2)$$

Если значения первого критерия совпадают $C_1(A_1) = C_1(A_2)$, используется следующий по приоритету критерий (C_2), и так далее, пока не будет выбрана лучшая альтернатива. Победившая альтернатива сравнивается с остальными по тому же принципу. В результате формируется упорядоченный список на основе последовательного попарного сравнения по лексикографическому правилу.

Проведены расчеты для других наборов критериев, учитывающих обстановку на месте пожара и в пожарно-спасательном гарнизоне (ПСГ): Набор № 2: $C_1(A_i)$ – численность ГДЗС A_i , $C_2(A_i)$ – расход топлива A_i ; Набор № 3: $C_1(A_i)$ – объем воды A_i , $C_2(A_i)$ – риск возникновения ДС A_i ; Набор № 4: $C_1(A_i)$ – расход топлива A_i , $C_2(A_i)$ – время следования отделения A_i ; Набор № 5: $C_1(A_i)$ – риск возникновения ДС A_i , $C_2(A_i)$ – время следования отделения A_i .

По результатам моделирования сформированы данные об оптимальной очередности привлечения оперативных отделений к месту пожара с учетом приоритетных критериев, отражающих оперативную обстановку в реальном времени (таблица 3.15). Полученные результаты могут быть использованы в качестве инструмента поддержки решений диспетчера при реагировании на пожары повышенного ранга.

Проведенный анализ позволил выделить устойчивые лидирующие подразделения и выявить расхождения между наборами выбора критериев. 1 АЦ 3 ПСЧ стабильно входит в число первых по всем наборам критериев, что подтверждает его зону ответственности (объект пожара расположен в районе выезда данного подразделения).

Таблица 3.15 – Данные об очередности выбора дополнительных оперативных отделений для привлечения к месту пожара в реальном времени

| Очередность выбора отделений для привлечения | Набор согласно расписанию выезда | Набор согласно методу анализа иерархии | Набор № 1 (Все критерии) | Набор № 2 (Численность ГДЗС, расход топлива) | Набор № 3 (Объем воды, риск возникновения ДС) | Набор № 4 (Расход топлива, время следования) | Набор № 5 (Риск возникновения ДС время следования) |
|--|----------------------------------|--|--------------------------|--|---|--|--|
| 1 | 1 АЦ 3 ПСЧ | | | | | | |
| 2 | 2 АЦ 3 ПСЧ | | | | | | |
| 3 | 1 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 1 ПСЧ | 2 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 4 ПСЧ |
| 4 | 2 АЦ 2 ПСЧ | 2 АЦ 2 ПСЧ | 2 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 2 ПСЧ | 2 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 1 ПСЧ |
| 5 | 1 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 4 ПСЧ | 1 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 4 ПСЧ | 1 АЦ 4 ПСЧ | 1 АЦ 4 ПСЧ | 2 АЦ 1 ПСЧ |
| 6 | 2 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 1 ПСЧ | 2 АЦ 1 ПСЧ | 2 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 2 ПСЧ | 2 АЦ 2 ПСЧ | 1 АЦ 2 ПСЧ |
| 7 | 1 АЦ 4 ПСЧ | 2 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 4 ПСЧ | 2 АЦ 1 ПСЧ | 1 АЦ 1 ПСЧ | 2 АЦ 1 ПСЧ | 2 АЦ 2 ПСЧ |

В то же время 1 АЦ 1 ПСЧ, показывая высокие места в наборах № 1, № 2 и № 4, располагается лишь на пятом месте в расписании, что может указывать на несовершенство расписания выезда как инструмента поддержки выбора

подразделения в реальном времени. 1 АЦ 4 ПСЧ, возглавляя набор № 5 (где приоритетен риск), занимает нижние позиции в других случаях, подчеркивая важность учета вероятности возникновения ДС при занятости подразделения на вызове.

Подразделения 2 АЦ 2 ПСЧ и 2 АЦ 1 ПСЧ стабильно находятся в числе последних, из-за длительного времени прибытия, высокого расхода топлива и меньшей численности боевого расчета.

Для наглядности применения результатов исследования смоделируем ситуацию, когда первые два отделения подразделения убыли в соответствии с расписанием выезда по рангу пожара № 1. После проведенной разведки, руководитель тушения пожара установил потребность в дополнительных силах и средствах по рангу пожара № 2 (дополнительно 4 автоцистерны). Вариативность очередности привлечения представлена в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Данные об оперативно-тактических возможностях выбора дополнительных оперативных отделений для привлечения к месту пожара в реальном времени

| Набор критериев | Числовые показатели | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|----------------|------------------------------------|-----------------|
| | Мин. время (мин) | Суммарная численность | Объем воды (т) | Средний расход топлива (л/100 км.) | Средний риск |
| Набор № 1 (все критерии) | 4,57 | 12 | 26,2 | 45,13 | 0,001190 |
| Набор № 2 (численность ГДЗС, расход топлива) | 4,57 | 14 | 23,2 | 43,75 | 0,001017 |
| Набор № 3 (объем воды, риск возникновения ДС) | 4,57 | 10 | 29,0 | 46,50 | 0,001017 |
| Набор № 4 (расход топлива, время следования) | 4,57 | 14 | 23,2 | 43,75 | 0,001017 |
| Набор № 5 (риск возникновения ДС, время следования) | 4,57 | 14 | 24,2 | 44,50 | 0,000888 |
| Набор по расписанию выезда | 4,57 | 12 | 26,2 | 45,13 | 0,001190 |

Сравнение четырех дополнительно направляемых подразделений показало, что применение модели выбора пожарных подразделений для привлечения на пожары повышенных рангов позволяет достичь повышение тактических возможностей, чем

существующее расписание выезда. Так, в наборах 2, 4 и 5 суммарная численность ГДЗС составляет 14 человек против 12 по расписанию выезда. Набор 3 обеспечивает наибольший объем воды – 29 *т* против 26,2 *т*, а наборы 2 и 4 дают наименьший средний расход топлива – 43,75 *литров/100 км.* против 45,13 *литров/100 км.* Набор 5 показывает наименьший риск – 0,00089 против 0,00119.

Таким образом, результаты моделирования показывают, что использование многокритериальной модели позволяет формировать варианты привлечения подразделений с большими оперативно-тактическими возможностями по сравнению с действующим расписанием выезда [54].

3.4 Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по выбору пожарных подразделений по привлечению на пожары повышенных рангов

Проведенное сравнение показало, что модель поддержки принятия управленческих решений формирует наборы оперативных отделений с большими оперативно-тактическими возможностями по сравнению с действующим расписанием выезда. Для ее применения в условиях реального времени необходим алгоритм, обеспечивающий формализацию процесса выбора подразделений: от момента поступления сигнала о пожаре по повышенному рангу до принятия диспетчером решения о направлении оперативных отделений пожарных подразделений. Представлен алгоритм выбора альтернативных наборов оперативных отделений для привлечения на пожары по повышенным рангам в реальном времени диспетчером ПСГ (рисунок 3.4).

Алгоритм определяет оперативные отделения для высылки, учитывая потребность в дополнительных силах с использованием лексикографического метода сортировки.

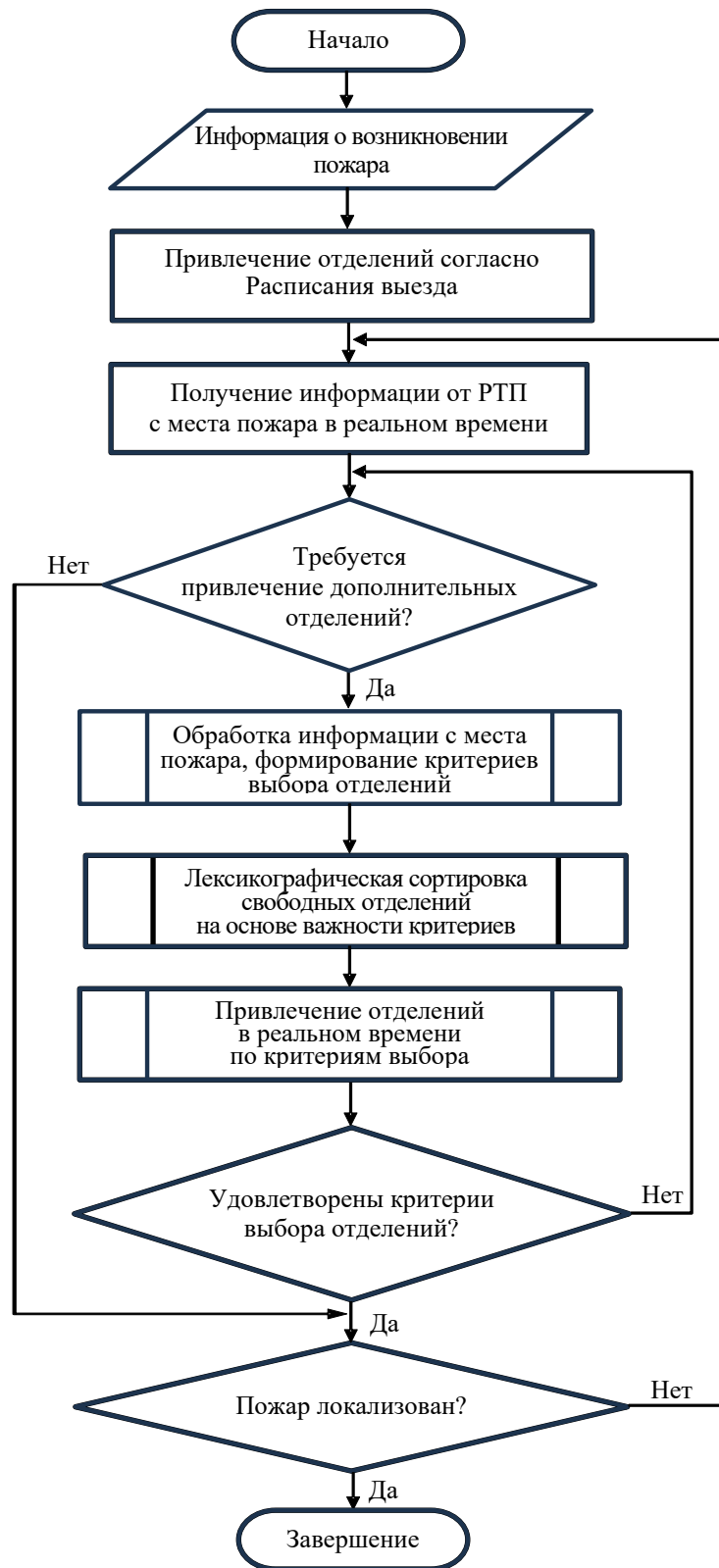


Рисунок 3.4 - Алгоритм выбора альтернативных наборов оперативных отделений для привлечения диспетчером пожарно-спасательного гарнизона в условиях реального времени

Алгоритм включает следующие основные этапы. На первом этапе диспетчер ПСГ получает информацию о пожаре по повышенному рангу и фиксирует потребность в дополнительных силах и средствах. На втором этапе определяется перечень доступных оперативных отделений, удовлетворяющих условиям реагирования. Далее, с использованием лексикографического метода сортировки, производится ранжирование альтернативных наборов по выбранным критериям. На заключительном этапе алгоритм формирует оптимальный набор подразделений и обеспечивает его передачу диспетчеру для принятия решения о направлении отделений ПП к месту пожара.

Для практического применения алгоритма разработана схема поддержки принятия решений (рисунок 3.5), которая отражает систему управления привлечением подразделений. На схеме показано, каким образом субъекты управления – диспетчер ПСГ и руководитель тушения пожара – воздействуют на объект управления, которым является процесс формирования наборов оперативных отделений. В этой системе лексикографическая модель занимает центральное место, так как именно она обеспечивает ранжирование альтернативных наборов по критериям (время следования, численность расчета, объем воды в автоцистерне, расход топлива и риск возникновения деструктивных событий) и формирует основу для принятия диспетчером управленческого решения.



Рисунок 3.5 – Схема поддержки принятия решений по выбору альтернативных наборов оперативных отделений с помощью лексикографической модели

Таким образом, алгоритм и схема поддержки принятия решений реализуют практическую формализацию процесса выбора оперативных отделений и обеспечивают его применение в условиях реального времени, что повышает обоснованность управленческих действий диспетчера ПСГ при привлечении оперативных отделений пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам.

3.5 Выводы по третьей главе

1. Моделирование показало, что использование действующего расписания выезда приводит к снижению уровня оперативно-тактических возможностей пожарных подразделений по сравнению с результатами оценки наборов оперативных отделений.

2. Применение модели по выбору пожарных подразделений, учитывающих совокупность значимых критериев (время следования, численность боевого расчета, объем воды в автоцистерне, расход топлива и риск возникновения деструктивного события), обеспечивает повышение оперативно-тактических возможностей пожарных подразделений при реагировании. Это выражается в возможности привлечения меньшего числа оперативных отделений при сохранении требуемого тактического потенциала.

3. Введение критерия, отражающего риск возникновения деструктивных событий в районе выезда, позволяет формировать резерв сил и средств, обеспечивая повышение оперативно-тактических возможностей гарнизона. Это создает предпосылки для более рационального планирования действий подразделений при вероятности возникновения параллельных или последовательно развивающихся пожаров.

4. Разработанная модель поддержки принятия управленческих решений по выбору альтернативных наборов оперативных отделений пожарных подразделений

способствует повышению обоснованности управления и уровня оперативно-тактических возможностей за счет адаптивности к условиям реального времени и формирования более рациональной последовательности привлечения сил и средств.

5. Разработанная модель и алгоритм поддержки принятия управленческих решений по выбору пожарных подразделений по привлечению на пожары повышенных рангов используется в автоматизированной системе управления пожарно-спасательного гарнизона ООО «Компьютерные интеллектуальные системы» и в учебном процессе кафедры организации деятельности пожарной охраны (в составе учебно-научного комплекса систем обеспечения пожарной безопасности) Академии ГПС МЧС России [Приложение Б]. Результаты исследования имеют прикладное значение: их интеграция в автоматизированные системы управления и планирования позволит повысить уровень оперативно-тактических возможностей пожарных подразделений и общий уровень пожарной безопасности на территории субъектов Российской Федерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что существующее расписание выезда пожарных подразделений, применяемое при предварительном планировании, не обеспечивает необходимой оперативности и эффективности реагирования на пожары повышенных рангов. Основные причины связаны с формированием очередности привлечения без учета фактического местоположения объектов защиты, особенностей маршрутов следования и отсутствием вариативности в выборе оперативных отделений пожарных подразделений, что ограничивает гибкость управления.

2. Предложен метод территориальной декомпозиции районов (подрайонов) выезда на секторы и разработан алгоритм, реализующий данный метод и формирующий реляционную модель данных очередности (наборов) привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов. Реализация предложенного подхода обеспечивает сокращение времени сосредоточения подразделений на 30-70 % в зависимости от сектора выезда и ранга пожара по сравнению с существующим порядком планирования, а также позволяет оценивать вероятность их своевременного прибытия.

3. Разработан программный модуль для КИС «КОСМАС», автоматизирующий процесс формирования наборов оперативных отделений пожарных подразделений на этапе предварительного планирования. Модуль реализует разработанный алгоритм, учитывает вероятность сосредоточения подразделений и позволяет разрабатывать расписания выезда, с учетом времени прибытия, секторов выезда и вероятности сосредоточения сил и средств.

4. Сформулированы критерии привлечения пожарных подразделений на пожары повышенных рангов, основанные на тактико-технических характеристиках оперативных отделений и тактическом потенциале, а также рисках возникновения деструктивных событий. На основе данных критериев построена лексикографическая модель поддержки принятия управленческих решений,

обеспечивающая оптимальный выбор оперативных отделений пожарных подразделений в реальном времени.

5. Разработан алгоритм выбора альтернативных наборов оперативных отделений пожарных подразделений, реализующий лексикографическую модель в условиях ограниченного времени. Проведенное моделирование показало, что применение разработанной модели позволяет формировать более рациональные варианты привлечения оперативных отделений пожарных подразделений по сравнению с действующим расписанием выезда, обеспечивая сосредоточение сил и средств с максимальными оперативно-тактическими возможностями и минимальными затратами, при сохранении боеготовности пожарно-спасательного гарнизона для выполнения основной боевой задачи на месте пожара в кратчайшие сроки.

6. Полученные результаты обладают высокой прикладной значимостью, могут быть интегрированы в действующие автоматизированные системы управления и уже использованы в методических рекомендациях по организации гарнизонной службы в пожарно-спасательном гарнизоне МЧС России.

Цели и задачи исследования достигнуты. Полученные теоретические и практические результаты выполненной работы подтверждают научную новизну, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АЦ – автоцистерна;

ГДЗС – газодымозащитная служба;

ГИС – географическая информационная система;

ГСМ – горюче-смазочные материалы;

ДС – деструктивное событие;

МЧС России – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий;

КИС – компьютерная имитационная система;

КОСМАС – компьютерная система моделирования аварийных служб;

ЛПР – лицо, принимающее решение;

ОПП – объект предварительного планирования;

ПП – пожарное подразделение;

ППС – противопожарная служба;

ПСГ – пожарно-спасательный гарнизон;

ПТ – пожарная техника;

РТП – руководитель тушения пожара;

СиС – силы и средства;

СППР – система поддержки принятия решений;

ФПС – федеральная противопожарная служба;

ЦАО – Центральный административный округ;

ЮФО – Южный федеральный округ;

1 ПСЧ ФПС 1 ПСО ФПС ГУ МЧС России по г. Москве – 1 пожарно-спасательная часть федеральной противопожарной службы 1 пожарно-спасательного отряда федеральной противопожарной службы Главного управления МЧС России по г. Москве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурков В. Н., Новиков Д. А., Щепкин А. В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. – М.: Физматлит, 2008. – 244 с. – EDN: PFGVKH.
2. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами. – 4-е изд. – М. : Ленанд, 2022. – 500 с.
3. Ириков В. А., Новиков Д. А., Тренев В. Н. Целостная система государственно-частного управления инновационным развитием как средство удвоения темпов выхода России из кризиса и посткризисного роста. – М. : МИЭЭ, 2009. – 220 с.
4. Брушлинский Н. Н. О некоторых проблемах, связанных с нормированием пожарных автомобилей и пожарных депо // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – Т. 13, № 4. – С. 76–81.
5. Брушлинский Н. Н. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 9. – С. 42–48. – EDN OFXCVT.
6. Опыт применения компьютерных имитационных систем моделирования деятельности экстренных служб / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, Е. М. Алехин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 8. – С. 6–16. – DOI 10.18322/PVB.2016.25.08.6-16. – EDN WYJWGL.
7. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П. Организация пожарно-спасательных служб в городах мира // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 1. – С. 49–55.
8. Соколов С. В., Брушлинский Н. Н., Фам К. Х. Разработка и адаптация имитационной системы оперативной деятельности пожарных подразделений к условиям Вьетнама // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 2. – С. 5–14.
9. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P. Russian simulation for strategic planning // Fire International. – 1996. – № 11. – С. 32.

10. Проблемно-ориентированные имитационные системы для автоматизированного проектирования и стратегического управления экстренными и аварийно-спасательными службами городов / Е. М. Алехин, Н. Н. Брушлинский, П. Вагнер [и др.] // Вестник РАЕН. – 2012. – Т. 12, № 3. – С. 27–34. – EDN TXIKGX.

11. Алехин Е. М., Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О распределении Эрланга и некоторых его приложениях // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 6. – С. 11–17. – EDN SNVTNF.

12. Решение проблемы оргпроектирования экстренных и аварийно-спасательных служб в городах / Е. М. Алехин, Н. Н. Брушлинский, П. Вагнер [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 3 (67). – С. 192–199. – EDN YKVJOV.

13. Абдурагимов Г. И. Об оптимальных границах районов выезда пожарных подразделений // Сборник научных трудов ВИПШТ МВД РФ. – М., 1993. – С. 79–86.

14. Брушлинский Н. Н., Абдурагимов Г. И. Оптимизация границ районов выезда аварийных служб // Материалы российско-британского семинара «Пожарная безопасность и защита». – М. : МГСУ, 1995.

15. Соколов С. В., Вагнер П. Оценка обстановки с пожарами в мире // Пожаровзрывобезопасность. – 2024. – Т. 33, № 6. – С. 67–84. – DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.06.67-84. – EDN VYWRYO.

16. Матюшин А. В., Порошин А. А., Матюшин Ю. А. Методологические основы определения необходимого числа оперативных подразделений пожарной охраны для защиты городских и сельских поселений // Пожарная безопасность. – 2005. – № 3. – С. 45–52.

17. Определение максимально допустимого расстояния между пожарным депо и объектом предполагаемого пожара при стохастической постановке задачи / А. В. Матюшин, А. А. Порошин, А. А. Кондашов, Ю. А. Матюшин // Пожарная безопасность. – 2007. – № 2. – С. 103–121. – EDN JWNRRRL.

18. Определение областей нормативного обслуживания территории населенного пункта (района) оперативными подразделениями пожарной охраны / А. В. Матюшин, А. А. Порошин, Е. В. Бобринев [и др.] // Пожарная безопасность. – 2010. – № 4. – С. 104–110. – EDN MXFQXZ.

19. Современные геоинформационные технологии в проектировании гарнизонов пожарной охраны / А. В. Матюшин, А. А. Порошин, Е. В. Бобринев [и др.] // Пожарная безопасность. – 2012. – № 3. – С. 107–119. – EDN PHSLGR.

20. Проектирование размещения подразделений пожарной охраны в населенных пунктах с использованием геоинформационных технологий / А. В. Матюшин, А. А. Порошин, Ю. А. Матюшин [и др.] // Bezpieczenstwo i Technika Pożarnicza. – 2013. – Т. 31, № 3. – S. 81–86. – DOI 10.12845/bitp.31.3.2013.9. – EDN SBOQIR.

21. Топольский Н. Г., Вилисов В. Я. Алгоритм оптимального планирования операций по ликвидации последствий пожаров и чрезвычайных ситуаций гетерогенной группой автономных мобильных роботов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 4 (76). – С. 226–241. – EDN RHHTRG.

22. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах / И. М. Тетерин, Н. Г. Топольский, В. М. Климовцов, Ю. В. Прус // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – № 4 (20). – С. 7. – EDN MNIRMR.

23. Таранцев А. А. О проблеме размещения вновь создаваемых пожарных частей на территориях регионов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2013. – Т. 22, № 5. – С. 52–57. – EDN QIYYVB.

24. Таранцев А. А. Методика определения мест дислокации поэтапно создаваемых пожарных частей в сельской местности и корректировки границ районов выезда // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24, № 4. – С. 72–78.

25. Таранцев А. А., Поташев Д. А., Ульяновская Т. С. Сетевые модели управления силами и средствами при тушении транспортных средств и проведении аварийно-спасательных работ // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2023. – № 1 (28). – С. 145–152. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.62.90.012. – EDN EPPUGH.

26. Седнев В. А. Основные критерии оценки эффективности действий спасательных формирований / В. А. Седнев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 4. – С. 51–57. – DOI 10.25257/FE.2020.4.51-57. – EDN SCDYUY.

27. Седнев В. А., Блинов Д. Л. Проблемы обоснования и планирования применения аварийно-спасательных формирований для ликвидации последствий воздействия метеороидов по территории субъекта Российской Федерации // Техносферная безопасность. – 2018. – № 1 (18). – С. 37–46. – EDN YUDJFL.

28. Исайкин Ф. А. Применение систем поддержки принятия решений в оперативном управлении пожарными подразделениями // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – № 4. – С. 35–42.

29. Власов К. С. Проблемные вопросы управления Федеральной противопожарной службой и пожарной охраной других видов // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – № 3 (97). – С. 131–143. – DOI 10.25257/TTS.2022.3.97.131-143. – EDN MSXHLM.

30. Власов К. С., Данилов М. М. Применение информационных технологий для управления пожарно-спасательными подразделениями // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций : сб. ст. по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 26 апреля 2019 г. – Железногорск : Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 484–494. – EDN DITINF.

31. Вилисов В. Я. Об оценивании эффективности применения транспортных моделей для управления ликвидацией пожаров // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 6.
32. Применение машинообучаемых цепей Маркова для определения ранга пожара и прогнозирования фаз его развития / Н. Г. Топольский, В. Я. Вилисов, Р. Ш. Хабибулин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30, № 6. – С. 39–51. – DOI 10.22227/0869-7493.2021.30.06.39-51. – EDN JNKGTH.
33. Вилисов В. Я., Хабибулин Р. Ш. Применение машинообучаемого дерева решений для определения ранга пожара по его регистрируемым признакам // Технологии техносферной безопасности. – 2024. – № 4 (106). – С. 47–65. – DOI 10.25257/TTS.2024.4.106.47-65. – EDN XUGMIU.
34. Матвеев А. В. Стратегическое планирование сил и средств МЧС России в Арктической зоне // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2017. – № 4 (20). – С. 32–42. – EDN NRZQFX.
35. Матвеев А. В. Алгоритм ассимиляции данных при адаптивном прогнозировании кризисных и чрезвычайных ситуаций // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2021. – № 4. – С. 99–103. – EDN BPZJQD.
36. Безбородько М. Д., Алешков М. В. Развитие механизированных средств подачи воды на пожарах // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – № 4. – С. 72–78.
37. Автомобильная цистерна : авторское свидетельство СССР № 793836 А1 : МПК В60Р 3/22 / М. Д. Безбородько, В. В. Роечко ; заявитель Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР. – Заявл. 17.03.1977 ; опубл. 07.01.1981. – EDN REXONF.
38. Повзик Я. С. Пожарная тактика. – М. : ЗАО «Спецтехника», 2004. – 416 с.
39. Роечко В. В., Назармамбетов Д. Т., Омуров У. К. Влияние технических характеристик пожарных автомобилей на время их следования к местам вызовов // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 1 (71). – С. 36–40. – EDN ZDRJUP.
40. Алешков М. В., Двоенко О. В. Создание пожарной и аварийно-спасательной техники для работы в экстремальных метеорологических условиях // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2011. – № 4. – С. 4–10.

41. Пряничников В. А., Сибиряков М. В. Концепция модели обеспечения нормативного времени прибытия аварийных служб в условиях мегаполиса // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 3. – С. 37–40. – DOI 10.25257/FE.2015.3.37-40. – EDN VENPKR.

42. Сибиряков М. В. Анализ геоинформационных данных о следовании пожарно-спасательных подразделений к местам экстренных вызовов // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 6 (70). – С. 214–221. – EDN YTCZGD.

43. Соколов С. В., Сибиряков М. В. Определение преимущества движения пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 1 (71). – С. 244–254. – EDN ZDRKFT.

44. Hou G., Li Q., Song Z., Zhang H. Optimal fire station locations for historic wood building areas considering individual fire spread patterns and different fire risks // Case Studies in Thermal Engineering. – 2021. – Vol. 28. – Art. 101548. – DOI 10.1016/j.csite.2021.101548.

45. Echeverria F., Abrego A., Gonzalez de Audicana M., Lopez-Maestresalas A., Arazuri S., Ciriza R., Jaren C. Analysis of fire services coverage in Spain // DYNA. – 2018. – Vol. 93, No. 3. – P. 247–251. – DOI 10.6036/8408.

46. Badri M. A., Mortagy A. K., Alsayed C. A. A multi-objective model for locating fire stations // European Journal of Operational Research. – 1998. – Vol. 110, No. 2. – P. 243–260. – DOI 10.1016/S0377-2217(97)00247-6.

47. Coban H. O., Erdin C. Forest fire risk assessment using GIS and AHP integration in Bucak forest enterprise, Turkey // Applied Ecology and Environmental Research. – 2020. – Vol. 18, No. 1. – P. 1567–1583. – DOI 10.15666/aeer/1801_15671583. – EDN FSYFVH.

48. Nyimbili P. H., Erden T. A combined model of GIS and fuzzy logic evaluation for locating emergency facilities: a case study of Istanbul // Proceedings of the 8th International Conference on Cartography and GIS, 15–20 June 2020, Nessebar, Bulgaria. – Vol. 1. – P. 191–203.

49. Zhao H., Niu C., Dou X., Liang J. Urban multi-point fire emergency simulation system based on WebGIS and discrete-event modeling // *Sustainable Cities and Society*. – 2024. – Vol. 104. – Art. 104312. – DOI 10.1016/j.scs.2024.104312.

50. Fertier A., Barthe-Delanoë A.-M., Montarnal A., Truptil S., Bénaben F. A new emergency decision support system: the automatic interpretation and contextualisation of events to model a crisis situation in real-time // *Decision Support Systems*. – 2020. – Vol. 136. – Art. 113260. – DOI 10.1016/j.dss.2020.113260.

51. Yeboah G., Park P. Y. Using survival analysis to improve pre-emptive fire engine allocation for emergency response // *Fire Safety Journal*. – 2018. – Vol. 97. – P. 76–84. – DOI 10.1016/j.firesaf.2018.02.005.

52. Eslamzadeh R., Grilo A., Espadinha-Cruz P. A framework for resource allocation in fire departments: a structured literature review // *Fire*. – 2022. – Vol. 5, No. 4. – Art. 109. – DOI 10.3390/fire5040109.

53. Taylor B. D. Spatial modelling of emergency service response times // *Journal of the Royal Statistical Society. Series A: Statistics in Society*. – 2017. – Vol. 180, No. 2. – P. 433–453. – DOI 10.1111/rssa.12192.

54. Увалиев Д. С., Соколов С. В., Тараканов Д. В. Реляционная модель управления сосредоточением пожарных подразделений для тушения крупных пожаров // *Технологии техносферной безопасности*. – 2025. – № 1 (107). – С. 36–51. – DOI 10.25257/TTS.2025.1.107.36-51. – EDN IPVXPD.

55. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Приказ от 25.10.2017 № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71733064/> (дата обращения: 08.06.2025).

56. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Приказ от 13.01.2025 № 19 «Об утверждении Положения о пожарно-

спасательных гарнизонах и Порядка привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, пожарно-спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411511881/> (дата обращения: 02.09.2025).

57. Увалиев Д. С. Технология управления организационной системой привлечения пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 24 мая 2024 г. – Железногорск : Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. – С. 210–212. – EDN VKJEUU.

58. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Приказ от 08.02.2021 № 60 «Об утверждении Положения о порядке координации деятельности пожарной охраны» [Электронный ресурс]. – Официальный интернет-портал правовой информации. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103200009> (дата обращения: 12.07.2023).

59. Методические рекомендации по изучению пожаров / утв. Главным военным экспертом генерал-полковником П. В. Платом 27.02.2013 № 2-4-87-2-18 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rulaws.ru/acts/Metodicheskie-rekomendatsii-po-izucheniyu-pozharov/> (дата обращения: 08.06.2024).

60. Власов К. С., Данилов М. М., Денисов А. Н. Крупные пожары – критерии отбора // Пожарная безопасность. – 2020. – № 3 (100). – С. 65–72. – DOI 10.37657/vniipo.pb.2020.99.86.008. – EDN GLYIJG.

61. Порошин А. А., Власов К. С. Понятие «крупный пожар» и критерии его определения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2021. – № 3 (22). – С. 37–44. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.64.89.005. – EDN XIXCZW.

62. Генезис развития, современные реалии научно-методического и нормативного правового обоснования понятий «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар» / А. Н. Денисов, А. А. Порошин, М. М. Данилов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2025. – Т. 34, № 2. – С. 5–19. – DOI 10.22227/0869-7493.2025.34.02.5-19. – EDN XVYUPE.

63. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году : информационно-аналитический сборник / В. С. Гончаренко, Т. А. Чечетина, В. И. Сибирко [и др.]. – Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. – 80 с. – EDN IKFNVG.

64. К вопросу классификации сложности пожаров по номерам (рангам): анализ и проблемные аспекты / Д. С. Увалиев, А. Д. Ищенко, Р. В. Мироненко [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2025. – № 1 (36). – С. 45–56. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.78.001. – EDN RNXBTS.

65. Документация по предварительному планированию боевых действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ / В. А. Бородин, А. В. Кузовлев, А. А. Харитонов [и др.] // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1, № 9. – С. 85–87. – EDN YQIFFR.

66. Документы предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ / М. М. Золотухин, С. В. Рамазанов, Е. В. Лакиза [и др.] // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – № 1 (9). – С. 172–173. – EDN XSLWAN.

67. Номер (ранг) пожара [Электронный ресурс] // Fireman.club. – Режим доступа: <https://fireman.club/inseklodepia/nomer-rang-pozhara/> (дата обращения: 09.06.2025).

68. Расписание выезда подразделений территориального пожарно-спасательного гарнизона для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на территории города Москвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://5nomer.ru/wp-content/uploads/2022/03/РВ-Москва-2021-Приказ-333_31.03.2021.pdf (дата обращения: 02.07.2023).

69. Увалиев Д. С. Привлечение пожарно-спасательных гарнизонов на пожары по повышенным рангам // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : материалы IX международной научно-практической конференции, Москва, 20 марта 2024 г. – М. : Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2024. – С. 274–279. – EDN JNVWJG.

70. Incident Command System [Электронный ресурс] // Wikipedia. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Incident_Command_System (дата обращения: 22.01.2025).

71. United States Coast Guard. Incident Management Handbook [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. – Режим доступа: <https://homeport.uscg.mil/Lists/Content/Attachments/2923/Incident%20Management%20Handbook%20in%20Russian2.pdf> (дата обращения: 22.01.2025).

72. OSPRI. Incident Management System [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. – Режим доступа: https://www.ospri.online/site/assets/files/1130/incident-management-system_ru.pdf (дата обращения: 22.01.2025).

73. Ollersbach A. Alarmstufen bei Feuerwehreinsätzen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ollersbach.at/alarmstufen-bei-feuerwehreinsaetzen/> (дата обращения: 22.01.2025).

74. Соловьев Я. В., Федоров Д. А. К вопросу оптимизации принятия решений в процессе исследования развития крупных пожаров // Наука и инновации XXI века : сб. ст. по материалам V Всероссийской конференции молодых ученых, Сургут, 30 ноября 2018 г. В 3 т. Т. 1. – Сургут : Сургутский государственный университет, 2018. – С. 70–75. – EDN ЮРСVV.

75. Вилисов В. Я., Хабибулин Р. Ш. Кластеризация пожаров на объектах топливно-энергетического комплекса по ретроспективным статистическим данным для выявления рангов пожаров // Пожаровзрывобезопасность. – 2024. – Т. 33, № 1. – С. 83–93. – DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.01.83-93. – EDN IMEWMI.

76. Станкевич Т. С., Бутузов С. Ю., Рыженко А. А. Разработка алгоритма выбора ранга пожара и алгоритма прогнозирования площади пожара при тушении пожаров в морских портах // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 7 (114). – С. 109–116. – DOI 10.21285/1814-3520-2016-7-109-116. – EDN ZJQDDX.

77. Дырин С. Ю., Таранцев А. А. Математическая модель определения ранга пожара в жилых и административных зданиях на основе теории нечетких множеств // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2006. – № 4 (15).

78. Кипер А. В., Станкевич Т. С. Разработка нечеткого классификатора на базе нечеткой системы Сугено для определения ранга пожара на территории морского порта // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2012. – № 2. – С. 18–25. – EDN PCDWST.

79. Гвоздик М. И., Абдулалиев Ф. А., Шилов А. Г. Программная система определения ранга пожара с использованием нечеткой логики // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2016. – № 1 (37). – С. 80–87. – EDN VWPVUF.

80. Серегин М. В., Подгрушный А. В., Евтеев Д. С. Обоснование номера (ранга) пожара // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : материалы IX международной научно-практической конференции, Москва, 19–20 марта 2024 г. В 2 ч. – М. : Академия Государственной противопожарной службы, 2024. – С. 66–69. – EDN OFOTGP.

81. Увалиев Д. С. Очередность привлечения пожарно-спасательных подразделений по повышенным рангам пожаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – № 3. – С. 75–86. – DOI 10.25257/FE.2023.3.75-86. – EDN BNDLRD.

82. Увалиев Д. С. О рациональном привлечении сил и средств по повышенным рангам пожаров // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений : сб. материалов седьмого научного семинара,

Москва, 23 марта 2023 г. – М. : Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2023. – С. 509–513. – EDN KLTXRM.

83. Увалиев Д. С. Привлечение подразделений пожарной охраны для тушения пожаров повышенных рангов в условиях массовых беспорядков // Актуальные вопросы развития рукопашного боя: проблемы, пути решения, перспективы : сб. науч. трудов Международной научно-практической конференции, Москва, 5–6 октября 2023 г. – М. : Московский университет МВД России имени В. Я. Кикотя, 2023. – С. 168–170. – EDN JKUGOH.

84. Увалиев Д. С. О привлечении пожарных подразделений при проектировании объектов защиты с отступлениями от требований пожарной безопасности // Проблемы техносферной безопасности : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – 2024. – № 13. – С. 111–114. – EDN BKGSRL.

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

86. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения : свод правил (утв. приказом МЧС России от 25.03.2009 № 181, ред. от 09.12.2010) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/sp-11131302009-svod-pravil-mesta-dislokatsii-podrazdelenii/> (дата обращения: 02.07.2023).

87. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Приказ от 15.10.2021 № 700 «Об утверждении методик расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minjust.consultant.ru/documents/29141> (дата обращения: 02.07.2023).

88. Справочник по работе начальника штаба пожаротушения. – М. : АГПС МЧС России, 2006. – 288 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/psgp/spravochnik-RTP.pdf> (дата обращения: 08.06.2025).

89. Базовые системы инфокоммуникационного обеспечения – основа создания «виртуального штаба» при пожарах и ЧС / Б. Ж. Битуев, Ю. В. Прус, В. М. Шаповалов [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – № 5 (21). – С. 9. – EDN MNIRQD.

90. Лобода А. В., Муконина И. А. Анализ расположения подразделений пожарной охраны в городах (на примере г. Воронежа) // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – № 4 (9). – С. 29–34. – EDN ROEXCJ.

91. Малютин О. С., Бабенышев С. В., Матеров Е. Н. Оптимизация границ районов выезда с использованием языка программирования Python и библиотеки OSMNX // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2023. – № 1 (28). – С. 38–55. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.83.62.001. – EDN НТННGL.

92. Применение геоинформационных инструментов для работы с большими данными при анализе пространственного распределения пожаров / С. В. Бабенышев, Г. М. Бойко, О. С. Малютин [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2021. – № 2 (21). – С. 70–77. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.47.69.013. – EDN YOJATK.

93. Увалиев Д. С. Системный анализ в определении интенсивности и числа повышений рангов пожара пожарно-спасательными подразделениями // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений : сб. материалов восьмого межвузовского научного семинара (форума), Москва, 27 февраля 2024 г. – М. : Академия государственной противопожарной службы, 2024. – С. 31–36. – EDN VVKOMJ.

94. Лаппа А. В., Бахвалов Е. В., Аникина А. С. Метод характеристических функций в оценивании математического ожидания случайных величин с бесконечной дисперсией // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. – 2004. – № 2. – С. 1–6. – EDN HRURUD.

95. Волчихин В. И., Иванов А. И., Серикова Ю. И. Компенсация методических погрешностей вычисления стандартных отклонений и коэффициентов корреляции, возникающих из-за малого объема выборок //

Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 1 (37). – С. 103–110. – EDN WAXCCF.

96. Александровская Л. Н., Кузнецов А. Использование нормального закона распределения вероятностей в задачах оценки соответствия // Законодательная и прикладная метрология. – 2010. – № 1. – С. 5–12. – EDN PBCFXD.

97. Есмагамбетов Т. У., Шиккульская О. М., Богатырев И. Т. Принятие решений по выбору маршрута следования подразделений пожарной охраны на объект пожара в условиях городской среды // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы XIII Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 28–31 мая 2024 г. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 269–271. – EDN LNUIEQ.

98. Есмагамбетов Т. У., Шиккульская О. М. Моделирование системы управления процессами экстренного реагирования при ЧС и пожарах // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 123–129. – DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-123-129. – EDN LGIWVT.

99. Есмагамбетов Т. У., Шиккульская М. И., Шиккульская О. М. Система информационно-аналитической поддержки управления процессами экстренного реагирования на ЧС и пожары // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 73–79. – DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-73-79. – EDN AXAАНР.

100. Оценка применимости библиотеки OSMnx для анализа параметров прибытия пожарных подразделений на примере строящихся станций метрополитена в Красноярске / О. С. Малютин, Г. Ю. Шамсудинов, В. В. Морозов [и др.] // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : материалы научно-практической конференции, Красноярск, 24–26 октября 2024 г. –

Железногорск : Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. – С. 18–21. – EDN KPGKGW.

101. Метод оценки времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны с использованием современных геоинформационных технологий / Г. Ю. Шамсудинов, В. В. Морозов, О. С. Малютин [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2025. – № 1 (36). – С. 136–149. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.86.16.013. – EDN AVNFAM.

102. Увалиев Д. С. Об особенностях привлечения подразделений пожарной охраны по повышенным рангам пожаров // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : сб. материалов XVII междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 13 апреля 2023 г. : в 2 т. Т. 1. – Минск : Ун-т гражданской защиты МЧС Беларуси, 2023. – С. 112–115.

103. How mobile apps are improving firefighter safety and fire prevention [Электронный ресурс] // FireRescue1. – Режим доступа: <https://www.firerescue1.com/fire-products/firesoftware/articles/how-mobile-apps-are-improving-firefighter-safety-and-fire-preventionndB76YGE4t0s4s01> (дата обращения: 02.07.2024).

104. Обзор современных зарубежных подходов к решению задач дислокации пожарных подразделений / С. В. Бабенышев, А. Н. Батуро, О. С. Малютин [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2025. – № 3(38). – С. 127-141. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.11.87.012. – EDN MEDAEP.

105. Чан М. Х. Х., Степанов Е. В., Тараканов Д. В. Оценка сложности системы управления на пожаре // Системы безопасности : материалы международной научно-технической конференции. – 2022. – № 31. – С. 38–41. – EDN OZHKYH.

106. Пивоваров Н. Ю. Проблемы оценки достаточности водоснабжения для тушения крупных пожаров на предприятиях нефтехимической промышленности // Проблемы техносферной безопасности : материалы

международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – 2015. – № 4. – С. 82–85. – EDN YQWUPL.

107. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Приказ от 25.08.2025 № 738 «Об утверждении Концепции создания (развития) государственной информационной системы «Обеспечение управления силами и средствами пожарно-спасательных гарнизонов» и о создании государственной информационной системы «Обеспечение управление силами и средствами пожарно-спасательных гарнизонов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fireman.club/normative-documents/prikaz-mchs-rossii-738-ot-25-08-2025-ob-utverzhdanii-konczepczii-psg/> (дата обращения: 20.10.2025).

108. Кузнецов А. В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ // Современные проблемы гражданской защиты. – 2021. – № 4 (41). – С. 18–23. – EDN KLWLVM.

109. Семенов А. О., Смирнов В. А., Коричев С. Н. Совершенствование системы управления подразделениями пожарно-спасательных гарнизонов при тушении пожаров на открытой местности // Пожарная и аварийная безопасность. – 2017. – № 4 (7). – С. 53–60. – EDN YXUROP.

110. Хабибулин Р. Ш., Тараканов Д. В. Многокритериальный анализ пожарных рисков. Модель количественной важности рисков «один ко многим» // Технологии техносферной безопасности. – 2023. – № 3 (101). – С. 105–113. – DOI 10.25257/TTS.2023.3.101.105-113. – EDN VKPFJW.

111. Тараканов Д. В. Многокритериальная модель управления пожарно-спасательными подразделениями // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 4 (74). – С. 148–154. – EDN YWYDMH.

112. Увалиев Д. С. Алгоритм очередности привлечения пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 24 мая 2024 г. –

Железногорск : Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. – С. 203–205. – EDN TGKRPO.

113. Ледовская Я. О., Щекина Е. О. Современные направления применения задач комбинаторики // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2019. – № 4-3. – С. 64–67. – EDN QSRIXW.

114. Михайлин П. О. Разработка критериев и алгоритма проведения оценки управления планирования занятий по разбору пожаров // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2024. – № 3 (34). – С. 97–103. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.97.82.007. – EDN DVGHMH.

115. Мареев, М. А. Анализ пожаров, произошедших в складских зданиях в 2022 году / М. А. Мареев, П. О. Михайлин // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 26 мая 2023 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2023. – С. 107-110. – EDN HPECVI.

116. Михайлин, П. О. Разбор пожаров в подразделениях пожарной охраны / П. О. Михайлин // Пожарная безопасность. – 2022. – № 4(109). – С. 63-72. – DOI 10.37657/vniipro.pb.2022.109.4.007. – EDN HKLXCW.

117. О некоторых современных проблемах функционирования пожарно-спасательных гарнизонов при реагировании на пожары и чрезвычайные ситуации / А. Д. Ищенко, М. В. Шевцов, Ю. Я. Дирляйн [и др.] // Научный аспект. – 2023. – Т. 1, № 10. – С. 97-106. – EDN QUDTLX.

118. Чан Минь Хоанг Ха. Анализ многокритериальных моделей и методов управления ресурсами пожарной охраны // Технологии техносферной безопасности. 2023. Вып. 4 (102). С. 120-132. DOI: 10.25257/TTS.2023.4.102.120-132 EDN: KFNGDB.

119. Апарин А. А., Андрианова А. Д. Плюсы и минусы внедренных инновационных разработок пожарной техники и оборудования в подразделениях МЧС России [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2020. – № 20 (310). – С. 85–87. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/310/70268/> (дата обращения: 01.06.2023).

120. Страхолис А. А., Олейников В. Т., Рюмшина Н. С. Проблемы и направления информационно-аналитической поддержки решений специалистов по приему и обработке экстренных вызовов // Перспективные технологии в средствах передачи информации : материалы 14-й международной научно-технической конференции, Владимир, 6–7 октября 2021 г. – Владимир : Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2021. – С. 360–363. – EDN DQZVLF.

121. Качанов С. А., Нехорошев С. Н., Попов А. П. Информационные технологии поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях : автоматизированная информационно-управляющая система Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: вчера, сегодня, завтра. – М. : ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России, 2011. – 400 с. – ISBN 978-5-93970-064-1. – EDN OJXVAN.

122. Звонок в спасательную службу : по материалам зарубежной печати и Первой Всероссийской научно-практической конференции «Единые дежурно-диспетчерские службы. Опыт, проблемы, перспективы» / И. И. Зенцов, А. М. Елисеев, С. А. Качалов [и др.]. – М., 2000. – 132 с. – ISBN 5-93970-002-0. – EDN MTCJZR.

123. Проблемы управления ранговой системой классификации сложности пожаров: практическое применение и пути решения / Д. С. Увалиев, А. Д. Ищенко, А. В. Павлов [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2025. – № 2 (37). – С. 46–56. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.61.31.005. – EDN UDFMTY.

124. Увалиев Д. С. Критерии привлечения сил и средств экстренных оперативных служб на крупные происшествия // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: теория. Инновации. Практика : материалы науч.-практ. конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России, Москва, 19 октября 2023 г. – М. : Академия Государственной противопожарной службы, 2023. – С. 89–94. – EDN CISEME.

125. Увалиев Д. С. Критерии привлечения подразделений пожарной охраны по повышенным рангам пожаров // Пожарная и аварийная безопасность : сб. материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Иваново, 23 ноября 2023 г. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. – С. 713–716. – EDN BAMQMI.

126. Увалиев Д. С., Соколов С. В., Григорьева М. П. Модель привлечения подразделений пожарной охраны на пожары по повышенным рангам методом анализа иерархий // Технологии техносферной безопасности. – 2024. – № 2 (104). – С. 55–72. – DOI 10.25257/TTS.2024.2.104.55-72. – EDN PIPDBC.

127. Присяжнюк Н. Л., Соловьева Т. Н. Некоторые аспекты анализа и управления пожарным риском // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2005. – № 3. – С. 158–161. – EDN LYEUVA.

128. Мордовин С. К. Теоретические основы ситуационного анализа как метода управления социально-экономическими процессами // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. – 2003. – № 12. – С. 45–56. – EDN HSOSED.

129. Мироненко Р. В., Сибиряков М. В., Соковнин А. И. Использование машинного обучения в вопросе прогнозирования времени прибытия пожарно-спасательных подразделений // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 4 (49). – С. 76–83. – EDN NSUMPL.

130. Краснов А. А., Мироненко Р. В. Проблема определения района выезда пожарных подразделений // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений : сб. материалов седьмого научного семинара, Москва, 23 марта 2023 г. – М. : Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2023. – С. 289–291. – EDN JZHFBC.

131. Метод определения состава сил и средств территориальных подразделений пожарной охраны / А. А. Порошин, А. А. Кондашов, Е. В. Бобринев [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2024. – № 3 (105). – С. 8–25. – DOI 10.25257/TTS.2024.3.105.8-25. – EDN NHHXGM.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ
ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025683605

«Программа формирования очередности привлечения пожарной техники по повышенным номерам (рангам) пожаров на этапе предварительного планирования Pre-Determined Attendance «PDA»»

Правообладатель: *Российская Федерация, от имени которой выступает Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (RU)*

Авторы: *Увалиев Дидархан Сактапбергенович (RU), Соколов Сергей Викторович (RU)*

Заявка № 2025681747

Дата поступления 20 августа 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 05 сентября 2025 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a6300b154f240f670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ



Общество с ограниченной ответственностью
 «Компьютерные интеллектуальные системы»
 ИНН 7723329600, КПП 771401001
 ул. 2-я Магистральная, д. 8А стр.1, Москва, Россия, 123290
 тел. +7 495 640-38-34; факс: +7 495 640-38-35
 e-mail: info@c-i-systems.com; https://www.c-i-systems.com

АКТ внедрения результатов

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационной работы, выполненной Увалиевым Дидарханом Сактапбергеновичем в Академии ГПС МЧС России под научным руководством доктора технических наук профессора Соколова Сергея Викторовича, в частности, «Алгоритм и лексикографическая модель поддержки принятия управленческих решений при выборе альтернативных наборов пожарной техники для привлечения на пожары по повышенным рангам в реальном времени», используются в программе для ЭВМ «Автоматизированная система поддержки принятия решения и оперативного управления подразделениями пожарно-спасательных гарнизонов» (внесена в Единый реестр российских программ для ЭВМ за номером 18859). Программа для ЭВМ разработана Обществом с ограниченной ответственностью «Компьютерные интеллектуальные системы».

Используемый в программе для ЭВМ алгоритм обеспечивает автоматический подбор сил и средств по уровню (масштабу) происшествия с учётом оперативной обстановки, складывающейся в пожарно-спасательном гарнизоне, оптимальных маршрутов движения боевых расчетов к месту пожара с учётом дорожной обстановки и прогнозируемого времени прибытия и информации о наличии и составе сил и средств подразделений гарнизона в текущий момент времени.

Дальнейшие доработки программы для ЭВМ с учётом результатов диссертационной работы, а именно, дополнительного использования в модели специального программного обеспечения критериев численности боевого расчёта, объёма доставляемых к месту происшествия воды и огнетушащих средств, расхода горюче-смазочных материалов, вероятности возникновения дублирующих событий позволят повысить эффективность проведения боевых действий по тушению пожаров по повышенным рангам.

Генеральный директор

«09» июня 2025 г.



И.В. Ларионов



Дата: 05.06.25

АКТ внедрения результатов

Настоящим подтверждается, что результаты научно-исследовательской работы, выполненной Увалиевым Дидарханом Сактапбергеновичем в Академии ГПС МЧС России под научным руководством доктора технических наук, профессора Соколова Сергея Викторовича, в части разработки метода, алгоритма и модели формирования очередности привлечения пожарных подразделений по повышенным номерам вызовов на этапе предварительного планирования, внедрены в практическую деятельность ООО «Инста Групп» при разработке проектной и рабочей документации в области пожарной безопасности.

Реализация диссертационной работы в составе проектной документации по пожарной безопасности обеспечивает:

- применения формализованного подхода к определению состава, очередности и маршрутов следования пожарных подразделений;
- оптимизации расчётного времени прибытия техники с учётом особенностей застройки, параметров улично-дорожной сети, границ проектируемого участка, обозначенных в градостроительном плане земельного участка (ГПЗУ), а также конфигурации и этажности зданий;
- повышения согласованности проектных решений с территориальной системой гарнизонов пожарной охраны и требованиями нормативных документов МЧС России.

С уважением,
Генеральный директор
ООО «Инста Групп»



Бородин И.В.



+7 (499) 753 93 93



125367, г. Москва, Полесский проезд, д.16



instagroup.ru



info@instagroup.ru

ООО «ПОЖАРНЫЕ РЕШЕНИЯ»

ИНН 9714034467 | тел. +7 968 372-72-88 | Адрес: г. Москва, поселение Мосрентген, Киевское ш., 21-й км,
домовладение 3, стр. 1, помещение 2/3, офис 313

АКТ
внедрения результатов

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационной работы, выполненной **Увалиевым Дидарханом Сактапбергеновичем** в Академии ГПС МЧС России под научным руководством доктора технических наук, профессора **Соколова Сергея Викторовича**, в части разработки **«Метода, алгоритма и модели формирования очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования»**, внедрены в практическую деятельность общества с ограниченной ответственностью **«ПОЖАРНЫЕ РЕШЕНИЯ»**, при разработке проектной и рабочей документации в области пожарной безопасности.

Интеграция разработанных положений в состав проектной документации по обеспечению пожарной безопасности обеспечивает:

– реализацию научно-обоснованного подхода к определению очередности и маршрутов следования пожарных подразделений в сценариях реагирования на пожары по повышенным номерам вызова;

– определение расчетного времени прибытия пожарной техники, с учетом геометрии улично-дорожной сети, планировочной структуры застройки, конфигурации объекта, а также границ проектируемого участка в соответствии с данными градостроительного плана земельного участка (ГПЗУ);

– адаптацию проектных решений с действующей системой реагирования пожарно-спасательных гарнизонов и нормативными документами МЧС России, регламентирующих порядок реагирования на пожары.

Генеральный директор
ООО «ПОЖАРНЫЕ РЕШЕНИЯ»



2025 г.

Е.А. Гайсин

АКТ**Внедрения результатов**

Настоящим подтверждается, что результаты научно-исследовательской работы, выполненной Увалиевым Дидарханом Сактапбергеновичем в Академии ГПС МЧС России под научным руководством доктора технических наук, профессора Соколова Сергея Викторовича, в части разработки метода, алгоритма и модели формирования очередности привлечения пожарных подразделений по повышенным номерам вызовов на этапе предварительного планирования, внедрены в практическую деятельность ООО «Легион 911» при разработке проектной и рабочей документации в области пожарной безопасности.

Реализация диссертационной работы в составе проектной документации по пожарной безопасности обеспечивает:

- применения формализованного подхода к определению состава, очередности и маршрутов следования пожарных подразделений;
- оптимизации расчётного времени прибытия техники с учётом особенностей застройки, параметров улично-дорожной сети, границ проектируемого участка, обозначенных в градостроительном плане земельного участка (ГПЗУ), а также конфигурации и этажности зданий;
- повышения согласованности проектных решений с территориальной системой гарнизонов пожарной охраны и требованиями нормативных документов МЧС России.

Генеральный директор ООО «Легион 911»
Аксенин А.Г.

«10» июля 2025 г.



УТВЕРЖДАЮ
Исполняющий обязанности
начальника Главного управления
МЧС России по Астраханской области
полковник



С.Г. Авраменко

2025 г.

М.П.

АКТ

внедрения результатов диссертации адъюнкта факультета подготовки научно-педагогических кадров Академии ГПС МЧС России капитана внутренней службы Увалиева Дидархана Сактапбергеновича

Комиссия в составе:

начальника отдела организации пожаротушения УОПТ и ПАСР подполковника внутренней службы М.Г. Асхарова; начальника отделения организации подготовки и пожарно-спасательного спорта УОПТ и ПАСР старшего лейтенанта внутренней службы Ю.Н. Яковлевой; старшего инженера отдела организации пожаротушения УОПТ и ПАСР майора внутренней службы А.В. Шпыркова подтверждает, что результаты диссертации Увалиева Д.С. по специальности 2.3.4. «Управление в организационных системах» выполненной в Академии ГПС МЧС России под научным руководством доктора технических наук, профессора Соколова Сергея Викторовича, в части разработки «Метода, алгоритма и модели формирования очередности привлечения оперативных отделений по повышенным рангам пожаров на этапе предварительного планирования», внедрены в практическую деятельность разработки расписания выезда подразделений местных пожарно-спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ Астраханской области.

Применение разработанных в диссертации метода, модели и алгоритма обеспечивает: реализацию научно-обоснованного подхода при разработке Расписания выезда при формировании очередности привлечения пожарных подразделений на пожары по повышенным номерам вызова; сокращению расчетного времени прибытия пожарной техники, с учетом геометрии улично-дорожной сети, планировочной структуры городской застройки, а также конфигурации объекта пожара.

Начальник отдела ОПТ УОПТ и ПАСР
подполковник внутренней службы

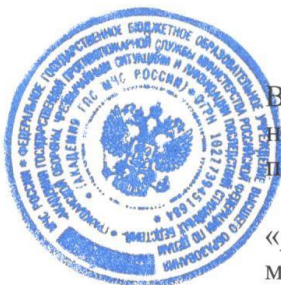
М.Г. Асхаров

Начальник отделения П и ПСС УОПТ и ПАСР
старший лейтенант внутренней службы

Ю.Н. Яковлева

Старший инженер отдела ОПТ УОПТ и ПАСР
майор внутренней службы

А.В. Шпырков



УТВЕРЖДАЮ

Временно исполняющий обязанности
начальника Академии ГПС МЧС России
полковник внутренней службы

Е.О. Летешев

« 11 » 2025 г.

М.П.

АКТ

внедрения результатов диссертации на тему «Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений по привлечению пожарных подразделений на пожары повышенных рангов» майора внутренней службы
Увалиева Дидархана Сактапбергеновича
в учебный процесс Академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе начальника учебно-научного комплекса систем обеспечения пожарной безопасности к.т.н., доцента, Сибирикова Максима Владимировича; начальника научно-исследовательского отделения проблем управления систем обеспечения пожарной безопасности, к.т.н. Клименти Николая Юрьевича; доцента кафедры организации деятельности пожарной охраны (в составе УНК СОПБ) к.т.н. майора внутренней службы Мироненко Романа Владимировича, подтверждает, что результаты диссертации Увалиева Дидархана Сактапбергеновича по научной специальности 2.3.4. Управление в организационных системах внедрены в учебный процесс кафедры ОДПО (в составе УНК СОПБ) для проведения практических занятий по дисциплине «Математические методы и модели управления пожарно-спасательными службами» и «Организация деятельности пожарной охраны» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01. «Техносферная безопасность» профиль «Пожарная безопасность» по теме «Модели поддержки принятия управленческих решений по привлечению пожарных подразделений», «Разработка документов предварительного планирования».

Начальник УНК СОПБ
кандидат технических наук, доцент
подполковник внутренней службы

М.В. Сибириков

Начальник НИО ПУСОПБ УНК СОПБ
кандидат технических наук
полковник внутренней службы

Н.Ю. Клименти

Доцент кафедры ОДПО (в составе УНК СОПБ)
кандидат технических наук
майор внутренней службы

Р.В. Мироненко