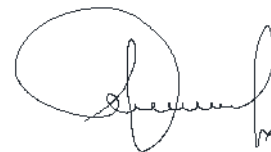


На правах рукописи



Увалиев Дидархан Сактапберенович

**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)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» на кафедре организации деятельности пожарной охраны (в составе учебно-научного комплекса систем обеспечения пожарной безопасности)

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Соколов Сергей Викторович

Официальные оппоненты: **Порошин Александр Алексеевич**
заслуженный работник пожарной охраны Российской Федерации, доктор технических наук, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, научно-исследовательский центр организационно-управленческих проблем пожарной безопасности, главный научный сотрудник

Шикунская Ольга Михайловна

доктор технических наук, профессор, ГБОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра пожарной безопасности и водопользования, заведующий кафедрой

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Защита диссертации состоится «18» февраля 2026 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета ДС 205.002.01 Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии Государственной противопожарной службы МЧС России и на сайте: <https://academygps.ru/upload/iblock/7fc/zj1tr9vw6tatmsz00qiwou3erdjx6et4/Диссертация%20Увалиева%20Д,С..pdf>

Автореферат разослан «18» декабря 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Повышение эффективности управления реагированием пожарных подразделений на природные и техногенные пожары остаётся 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, отнесённых к повышенным рангам, (для которых характерна высокая степень сложности и необходимость привлечения дополнительных сил и средств), растёт.

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 неопределённость 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 учёные В. Н. Бурков, Д. А. Новиков и В. А. Ириков.

Развитие методов оперативного реагирования путём 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. 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 разрабатывали модели, учитывающие цели выездов подразделений и ориентированные на их действия при тушении пожаров на объектах, оснащённых 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, А. А. Таранцев, В. А. Седнев, Ф. А. Исайкин, В. Я. Вилисов, К. С. Власов, Р. Ш. Хабибулин, Ю. В. Прус, А.В. Матвеев.

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. Роечко и В. А. Пряничников. Стоит отметить вклад М. В. Сибирякова, который изучал скорость движения пожарных автомобилей в транспортном потоке с использованием геоинформационных систем.

Зарубежные специалисты сосредоточились на изучении размещения противопожарных служб и их оперативного реагирования с учетом динамики развития пожаров на различных территориях и риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

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 учётом этих факторов, а также классификации сложности пожаров способна существенно повысить оперативность их ликвидации, снижая масштаб последствий.

Цель работы – 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 в ходе выполнения работы решались следующие **задачи исследования**:

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.

Предмет исследования – метод, модели и алгоритмы поддержки управленческих решений по привлечению пожарных подразделений на пожары повышенных рангов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

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 позволяет 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, математического моделирования, 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.

Основные результаты диссертации представлены: на научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России (г. Москва, 2023 г.); на XVIII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (г. Иваново, 2023 г.); на VI Всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности». (Железнодорожск, 2024); на IX международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, 2024 г.); на международной научно-практической конференции «Проблемы техносферной безопасности» (г. Москва, 2025 г.); на VII, VIII, IX межвузовском научном семинаре (форуме) «Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений» (г. Москва, 2023, 2024, 2025 г.).

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы используются в Академии ГПС МЧС России, ООО «Компьютерные интеллектуальные системы», ООО «Пожарные решения», ООО «Легион 911», ООО «Инста групп», Главном управлении МЧС России по Астраханской области.

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.

Личный вклад автора. В совместных публикациях результаты, связанные с анализом системы управления привлечением пожарных подразделений, предложенным методом, построением моделей и разработкой алгоритмов оперативного реагирования на этапе предварительного планирования и в реальном времени, получены автором лично.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка сокращений, 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цель, задачи, объект и предмет исследования. Проанализированы методологические подходы и методы исследования, доказана научная новизна работы, а также ее теоретическая и практическая значимость. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, и приведены сведения о внедрении и апробации результатов.

В первой главе «Анализ организационной системы управления реагированием пожарных подразделений» проведен анализ статистических данных о пожарах в соответствии с их классификацией по сложности и рангам. Исследование охватывает период с 2019 по 2022 год (таблица 1) и показывает, что количество пожаров повышенных рангов (№ 2 и выше) незначительно.

Однако несмотря на общую тенденцию к снижению числа пожаров доля пожаров повышенных рангов увеличивается (рисунок 1). При этом их последствия приводят к значительному материальному ущербу и росту затрат, связанных с привлечением дополнительных оперативных отделений для ликвидации.

Таблица 1 – Статистические данные о пожарах в соответствии с их классификацией рангов

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

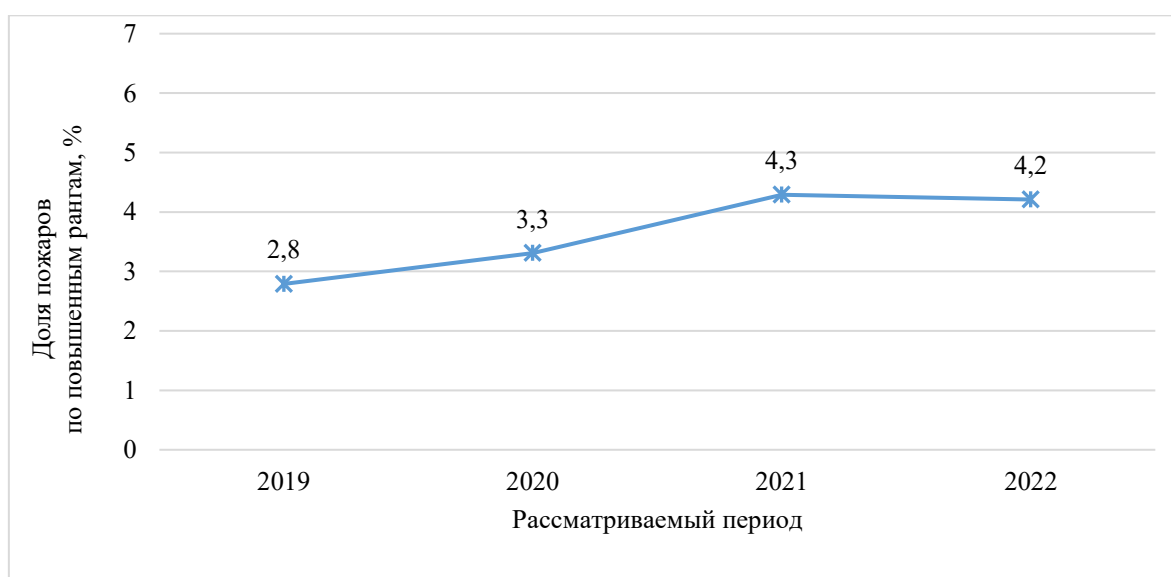


Рисунок 1 – Доля числа пожаров повышенных рангов от общего числа пожаров с 2019 по 2022 года

В ходе исследования проанализирована система управления реагированием подразделений пожарно-спасательных гарнизонов (ПСГ) как сложная организационная структура. Выделены и систематизированы объекты и субъекты управления, а также определены их функциональные взаимосвязи в контексте деятельности гарнизона (рисунок 2).

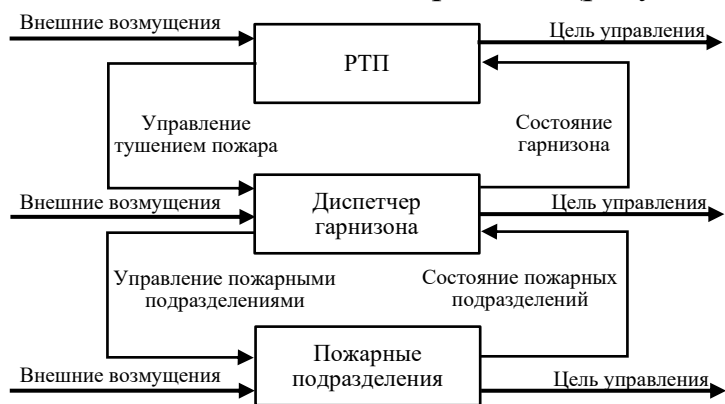


Рисунок 2 – Организационная система управления привлечением пожарных подразделений

Под управлением понимается процесс целенаправленного воздействия субъекта управления – должностного лица ПСГ, определяющего порядок выезда пожарных подразделений к месту пожара, – на объект управления, которым является оперативная группировка сил и средств пожарных подразделений.

Целью данного воздействия является достижение наилучшего состояния объекта управления, обеспечивающего своевременную локализацию и ликвидацию пожара. Воздействие субъекта управления на объект управления реализуется через принятие решений о количестве и порядке высылки пожарных подразделений, а также гарантировании минимального времени их прибытия.

Формирование порядка сосредоточения пожарных подразделений осуществляется на этапе предварительного планирования действий по тушению пожара и отражается в документе планирования – «Расписание выезда подразделений ПСГ для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (далее – Расписание выезда). Формально данный документ представляет собой структурированную базу данных, включающую в себя перечень пожарных подразделений и последовательность их отправки для тушения пожара сгруппированную по районам выезда, однако данный порядок реализуется не во всех случаях.

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. Так, например, в городах с населением до 1 млн. человек вероятность сосредоточения подразделений на пожар по рангу № 4 может составлять 0,8-0,9, а в городах с населением более 1 млн. жителей по рангу № 5 – до 0,3-0,4 (рисунок 3).

В работе проведён анализ границ районов и подрайонов выезда пожарных подразделений. Для подразделения определён район выезда, обозначенный на рисунке 4 красным контуром. При привлечении дополнительных подразделений по повышенным рангам каждый район выезда делится на подрайоны выезда, которые выделены на схеме зелёной и синей заливкой (рисунок 4).

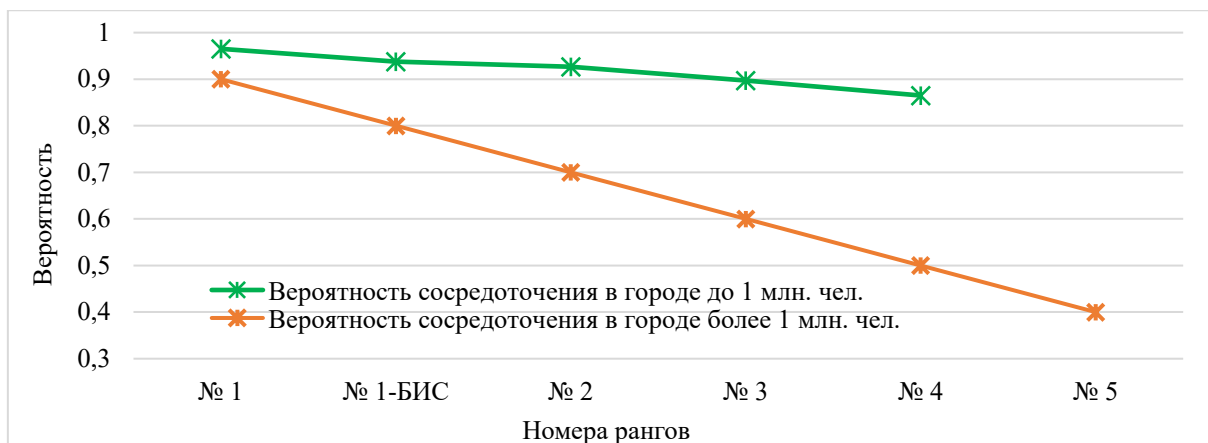


Рисунок 3 – Вероятность сосредоточения пожарных подразделений в городе с населением до 1 млн. чел и более 1 млн. чел. по каждому рангу пожара



Рисунок 4 – Пример деления районов выезда на подрайоны и построения очередности прибытия

В ходе исследования установлены случаи неоптимального распределения оперативных отделений на пожары повышенных рангов, что обусловлено построением их очередности прибытия в Расписании выезда на основе расчётного времени прибытия к наиболее удалённой точке подрайона выезда (рисунок 4 – цветные стрелки). В ряде случаев при реагировании подразделений по повышенным рангам время сосредоточения на месте пожара не всегда совпадает с минимальным возможным, хотя и полностью соответствует утвержденному варианту высылки по расписанию выезда.

Вывод по первой главе: проведенное исследование выявило рост доли числа пожаров повышенных рангов по отношению к общему числу возгораний с 2019 по 2022 год. Анализ реагирования пожарных подразделений на крупные пожары показал возможности повышения оперативности их привлечения при использовании современных подходов на основе компьютерных и географических информационных систем (ГИС), как на этапе предварительного планирования, так и в режиме реального времени при сосредоточении сил и средств по повышенному рангу пожара.

Во второй главе «Метод, модель и алгоритм формирования очередности привлечения пожарных подразделений по повышенным рангам на этапе предварительного планирования» предложен метод декомпозиции районов и подрайонов выезда на секторы выезда, разработан алгоритм, реализующий данный метод и формирующий реляционную модель данных очередности (наборов) привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов на этапе предварительного планирования, разработан

программный модуль, предназначенный для формирования наборов оперативных отделений на пожары повышенных рангов.

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:

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

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:

$$t_i = \sum_{j=1}^k t_j, \text{ при условии, что } t_j < t_{j+1}, \quad (2)$$

где t_j – время прибытия j -го отделения к месту пожара повышенного ранга, мин; k – общее количество оперативных отделений, требуемых для тушения пожара.

Критерием для выбора места в последовательности прибытия каждого конкретного оперативного отделения является условие:

$$t_j < t_{j+1}, \quad (3)$$

Условие (3) является необходимым и достаточным для решения задачи оптимального сосредоточения сил.

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_6 ; стратегии высылки, S_6 ; скоростные характеристики дорожной сети, V .

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

$$N \{G, N_{p.e.}, N_{n.n.}, N_{o.o.}, N_6, S_6, V\}.$$

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 сосредоточения подразделений территориальные единицы – **секторы выезда** по повышенным рангам (рисунок 5).

Под сектором выезда понимается совокупность расчетных единиц территории с одинаковым временем сосредоточения 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 6.

Алгоритм, реализующий метод декомпозиции и формирующий реляционную модель данных очередности привлечения подразделений по повышенным рангам представлен на рисунке 7.

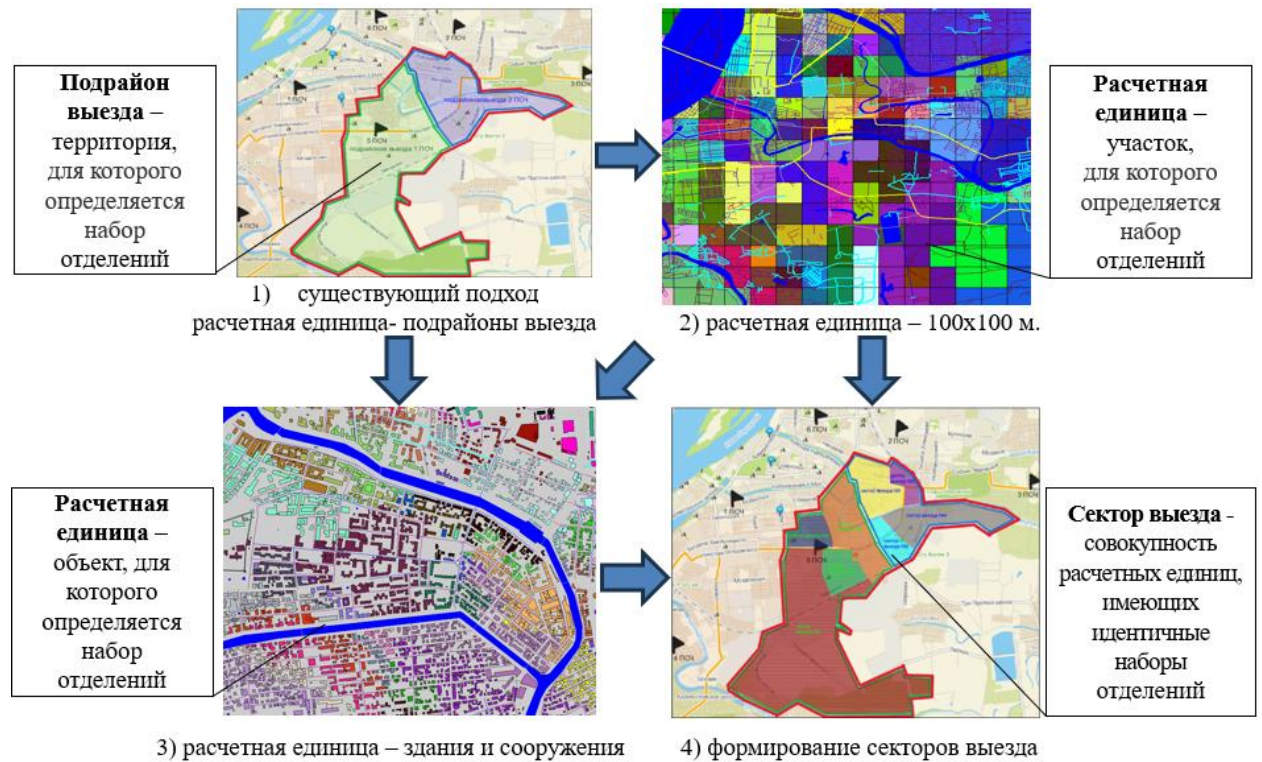


Рисунок 5 – Сущность метода декомпозиции районов (подрайонов) выезда подразделений на секторы выезда на основе расчетных единиц территории

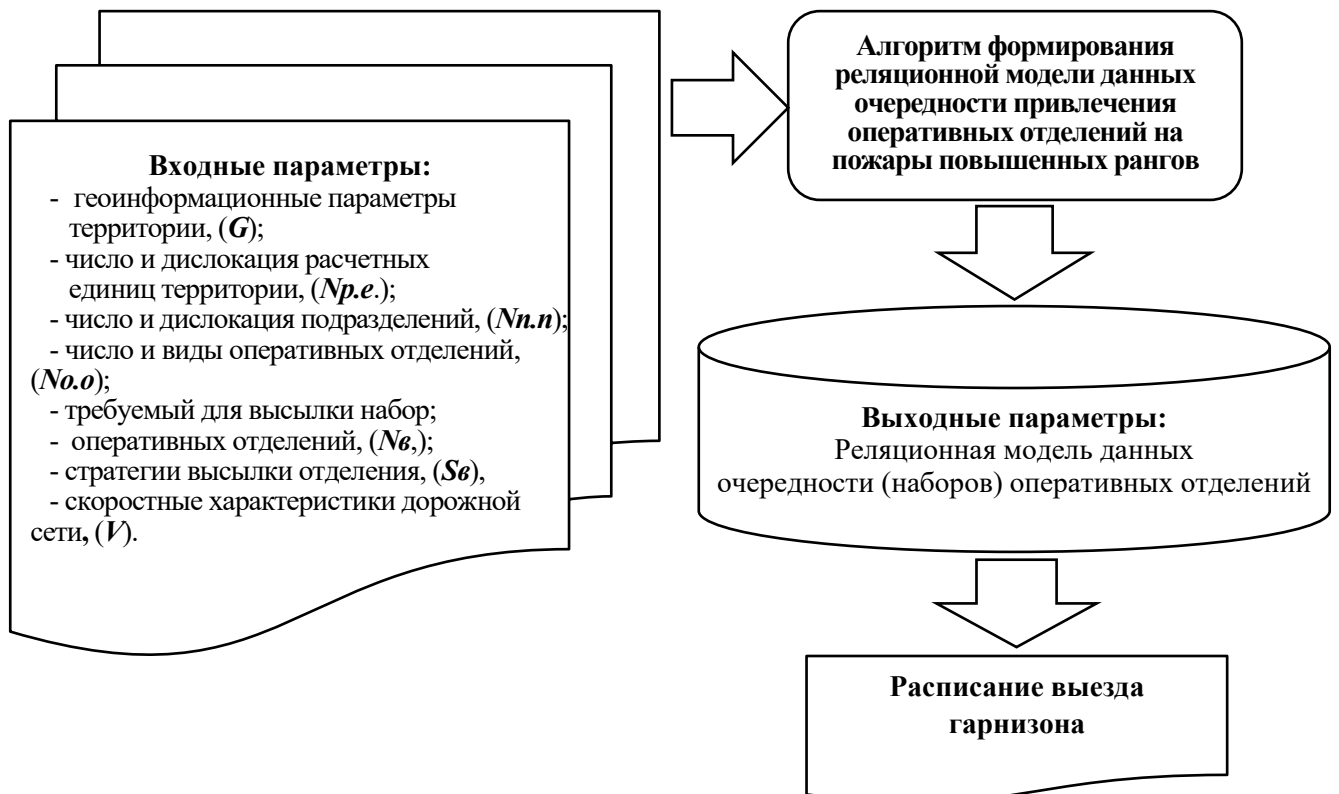


Рисунок 6 – Схема применения метода декомпозиции для построения расписания выезда

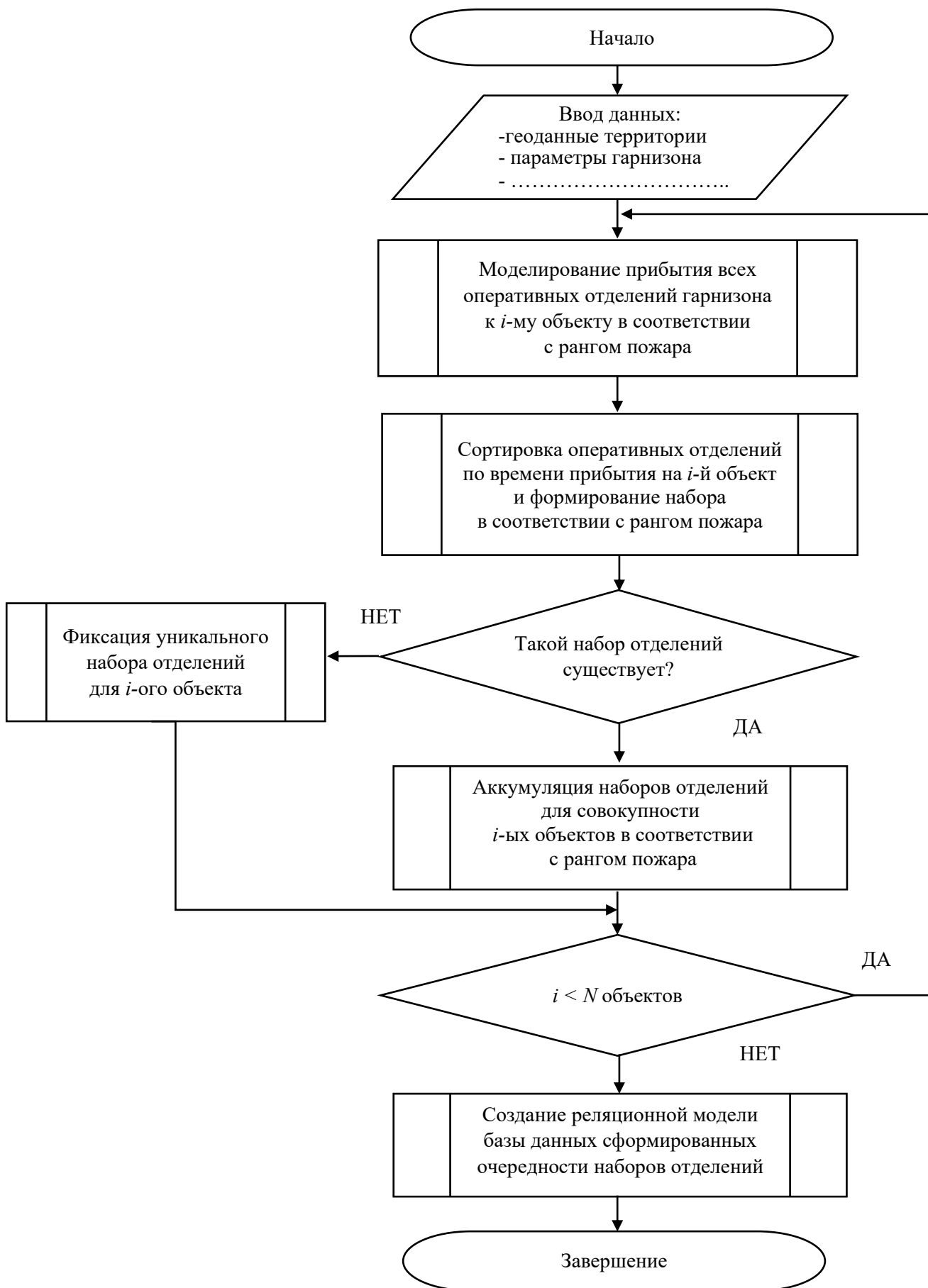


Рисунок 7 – Алгоритм формирования реляционной модели данных очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов в различные расчетные единицы территории пожарно-спасательного гарнизона

В процессе работы алгоритма моделируется прибытие оперативных отделений в каждую расчетную единицу по соответствующему рангу пожара, далее производится ранжирование отделений по времени прибытия, на основе которого формируется очередность высылки в соответствии с выражением (1). Расчетные единицы, для которых обеспечивается одинаковое время сосредоточения оперативных отделений, объединяются в **секторы выезда** – результат метода территориальной декомпозиции.

Представленный на рисунке 7 алгоритм формирует на выходе реляционную модель данных очередности (наборов) привлечения оперативных отделений по повышенным рангам пожаров (рисунок 8). Построенная модель данных служит основой для создания расписания выездов ПСГ.



Рисунок 8 – Реляционная модель данных очередности (наборов) привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов

Использование метода декомпозиции позволяет расширить количество возможных вариантов наборов оперативных отделений в расписании выездов, и при этом сокращает расчетное время их привлечения. Как показано в работе, реализация метода обеспечивает сокращение времени сосредоточения на 30-70% в зависимости от сектора выезда и ранга пожара. Но и объем разрабатываемого расписания выезда возрастает примерно в 6-10 раз.

На рисунке 9 приведено сравнение фактической и расчетной очередности прибытия отделений. Из рисунка 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.

В то же время, при одновременном направлении всех сил и средств гарнизона по максимальному рангу пожара очередность отделений уже не имеет значения.

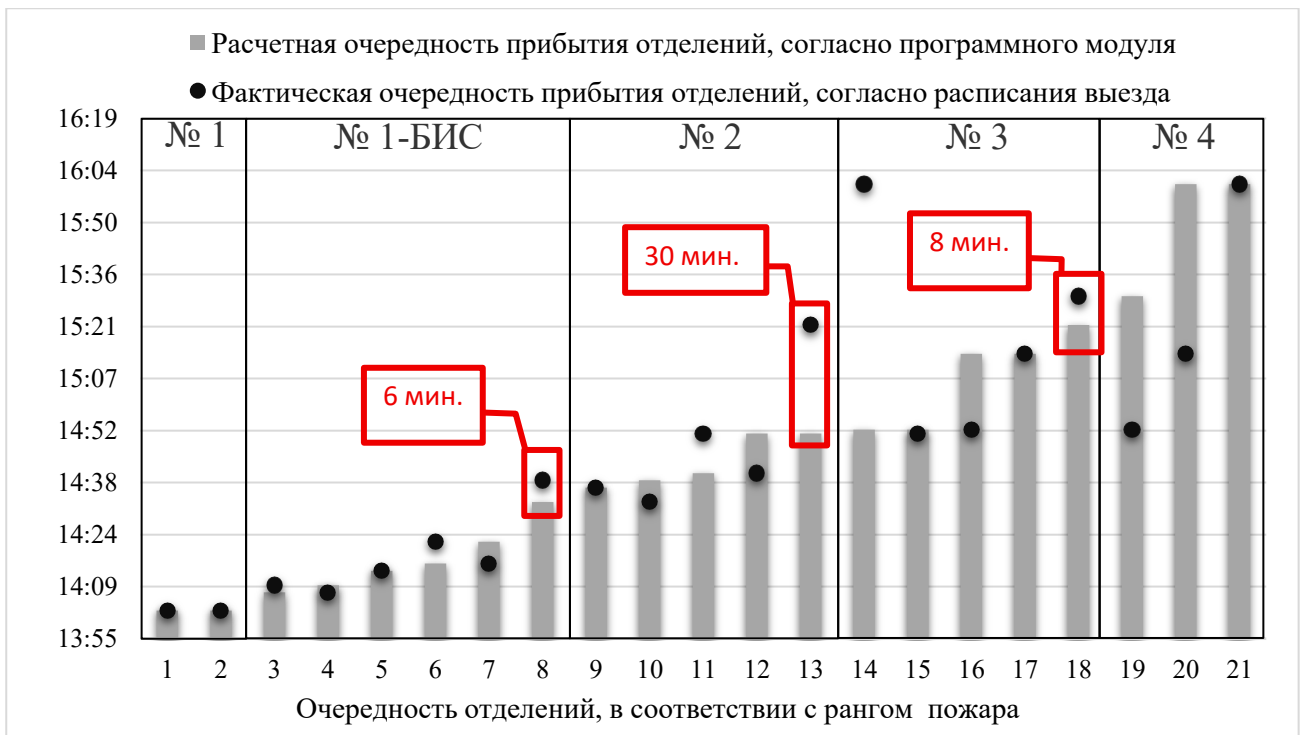


Рисунок 9 – Динамика формирования очередности прибытия оперативных отделений по программному модулю на примере конкретного пожара

Для автоматизации построения расписания выездов разработан программный модуль для компьютерной имитационной системы «КОСМАС» (рисунки 10, 11), предназначенный для формирования наборов оперативных отделений по повышенным рангам пожаров на этапе предварительного планирования.

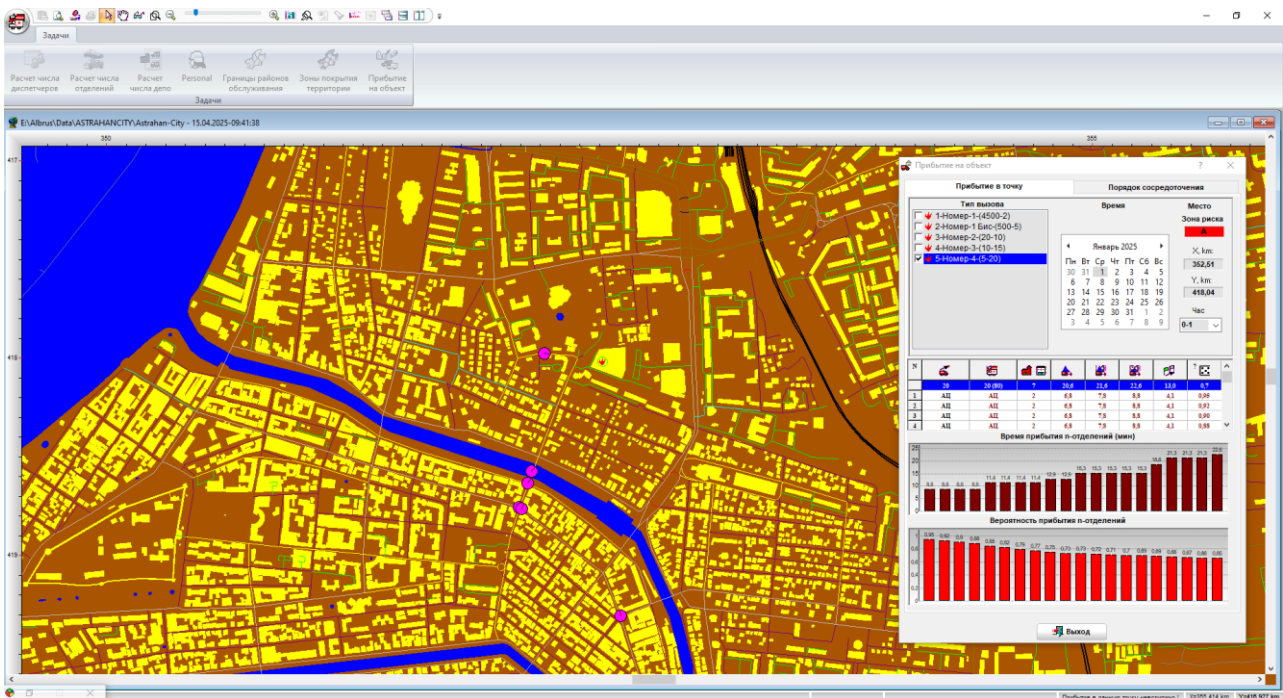


Рисунок 10 – Интерфейс программного модуля по оценке времени и вероятности сосредоточения подразделений к месту пожара

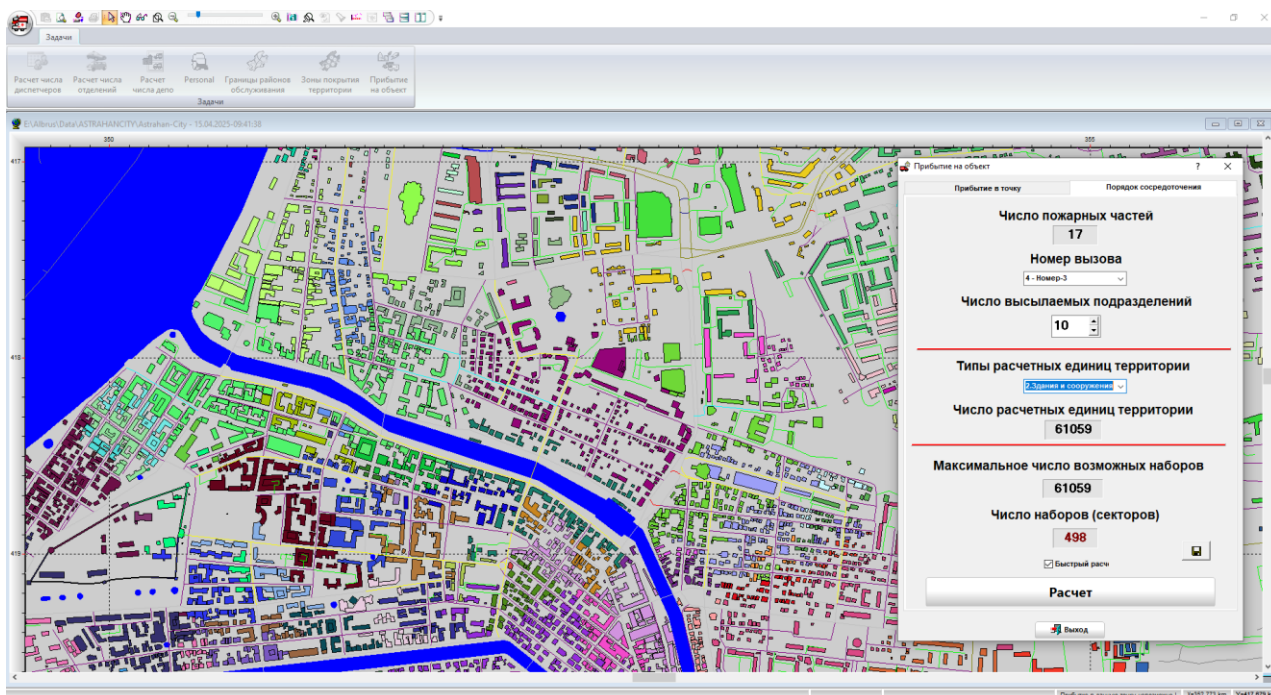


Рисунок 11 – Интерфейс программного модуля по формированию очередности (наборов) отделений индивидуально для каждого объекта к месту пожара

Программный модуль реализует алгоритм (рисунок 7) по формированию данных наборов отделений индивидуально для каждого объекта или территориальной единицы, объединяя их при идентичности в один сектор выезда. Результатом работы модуля является реляционная модель данных очередности привлечения отделений. Программа автоматизирует процесс разработки расписания выезда ПСГ и является практическим инструментом планирования.

Кроме того, модуль позволяет оценивать вероятность сосредоточения подразделений на любом объекте по любому рангу пожара, что весьма важно при разработке корректных планов пожаротушения для уникальных городских объектов.

В работе были исследованы зависимости изменения числа наборов оперативных отделений от различных параметров территории и ПСГ.

При упорядоченном распределении k элементов из множества n различных элементов без повторений число размещений задается формулой, и можно посчитать теоретическое количество наборов оперативных отделений:

$$A_n^k = \frac{n!}{(n-k)!}, \quad (4)$$

где A_n^k – теоретическое количество вариантов наборов оперативных отделений, *ед.*; n – общее количество оперативных отделений в гарнизоне, *ед.*; k – количество выслаемых оперативных отделений, необходимых для ликвидации пожара повышенного ранга (крупного пожара), *ед.*

Согласно формуле (4), на территории ПСГ, на вооружении которого находятся 10 единиц оперативных отделений, при необходимости высылки 4 единиц отделений существует 5040 возможных набора оперативных отделений, при высылке 6 единиц отделений – 151200 набора, при высылке 8 единиц оперативных отделений – 1814400 наборов и т.д.

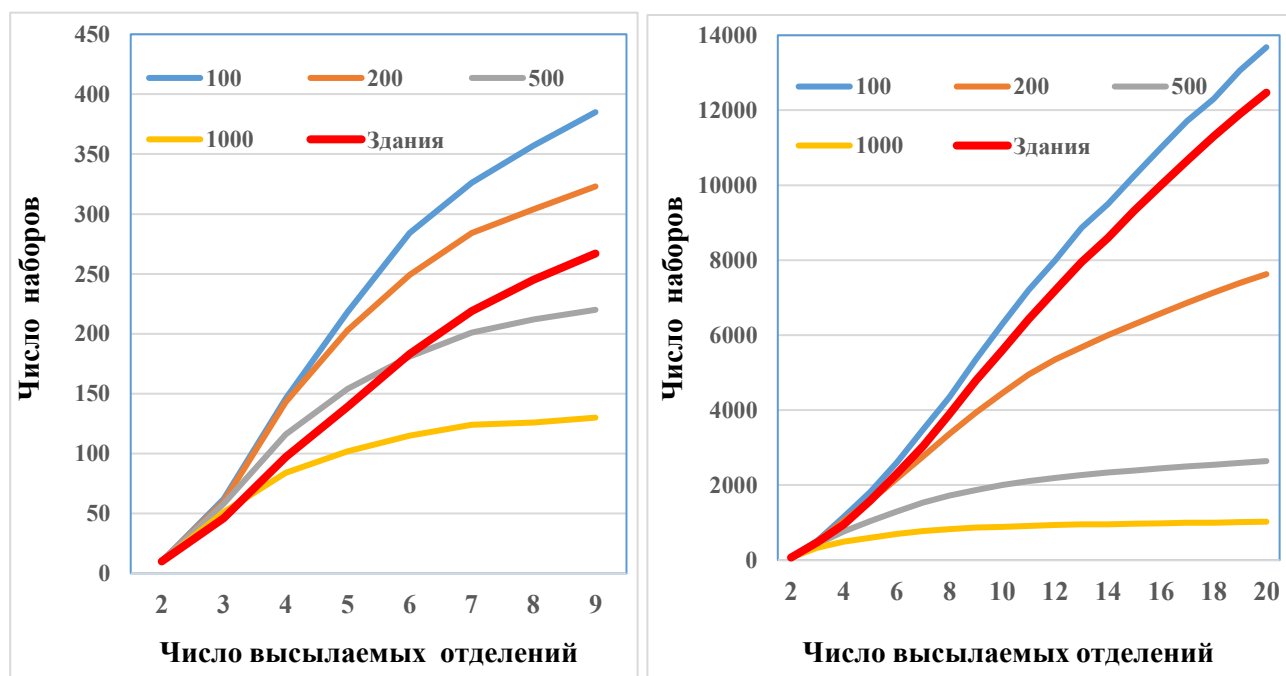
При практической реализации число наборов (размещений) ограничивается числом расчетных единиц территории, для каждой из которых может быть сформирован свой уникальный набор оперативных отделений.

С помощью разработанного программного средства были исследованы зависимости изменения числа наборов отделений от количества высылаемых отделений и размеров расчетных единиц территории разных городов (рисунок 12).

В качестве примера для исследования рассмотрены два города с различными параметрами:

- а) город 1 площадью 670 кв. км., 16248 зданий, 10 пожарных подразделений.
- б) город 2 площадью 1450 кв. км., 107543 зданий, 67 пожарных подразделений.

Из рисунка 12 следует, что чем больше необходимо выслать оперативных отделений и чем меньше размер расчетной территориальной единицы, тем больше (до определенного предела) формируется вариантов наборов оперативных отделений.



а) город 1

б) город 2

Рисунок 12 - Зависимость изменения числа наборов оперативных отделений от числа высылаемых оперативных отделений для различных расчетных единиц площади территории: 100x100 м.; 200x200 м.; 500x500 м.; 1000x1000 м.; здания и сооружения.

Вывод по второй главе: увеличение теоретического числа наборов оперативных отделений без учёта местоположения объекта пожара и маршрутов следования не сокращает время сосредоточения подразделений и лишь излишне усложняет систему управления. В этой связи местоположение объекта пожара и маршрут следования к нему рассматриваются как ключевые факторы, формирующие различные варианты очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов. В существующих методах разработки расписания выезда эти условия не учтены. Предложен метод декомпозиции районов (подрайонов) выезда подразделений на секторы выезда. Разработан алгоритм, реализующий этот метод, результатом работы которого

является реляционная модель данных очередности привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов. Разработан программный модуль, автоматизирующий построение расписания выездов ПСГ.

В третьей главе «Модель и алгоритм поддержки принятия управленческих решений выбора оперативных отделений пожарных подразделений по привлечению на пожары повышенных рангов» проведён анализ тактико-технических характеристик оперативных отделений и возможных сценариев развития обстановки на месте пожара. Определены критерии выбора оперативных отделений для привлечения на пожары повышенных рангов. Критерии позволяют оптимизировать процесс реагирования с учётом текущих потребностей на месте пожара и повысить оперативно-тактические возможности подразделений.

Построены модели поддержки принятия управленческих решений по выбору оперативных отделений для привлечения на пожары. В моделях использованы лексикографический метод и метод анализа иерархий.

Лексикографический метод отличает надёжность и устойчивость, что позволяет осуществлять выбор при дефиците времени и ограниченной информационной базы.

Метод анализа иерархий, напротив, требует экспертной оценки, которую диспетчер (субъект управления) не может предоставить, поскольку определение приоритетов критериев и оценка альтернатив находятся в компетенции руководителя тушения пожара.

В связи с этим, применение модели на основе лексикографического метода является более предпочтительным.

Математическая лексикографическая модель представляется следующими положениями.

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.

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

$$C_j: A_i \rightarrow R, \quad (6)$$

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» (объём воды, численность газодымозащитников (ГДЗС)), для других – «меньше–лучше» (время следования, расход топлива, риск возникновения деструктивного события в районе выезда).

В качестве примера рассмотрим ситуацию со следующими данными о находящихся в боевом расчёте автоцистерн (таблица 2) и решим задачу выбора оперативных отделений пожарных подразделений по нескольким критериям, учитывая вариативность обстановки на месте пожара.

Таблица 2 – 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	6,0	44,5	0,00053
2 АЦ 3 ПСЧ	2,34	1	8,0	47,0	0,00053
1 АЦ 2 ПСЧ	4,57	5	6,0	44,5	0,00145
2 АЦ 2 ПСЧ	4,57	1	8,0	47,0	0,00145
1 АЦ 1 ПСЧ	6,46	5	3,2	39,0	0,00093
2 АЦ 1 ПСЧ	6,46	1	9,0	50,0	0,00093
1 АЦ 4 ПСЧ	7,26	3	6,0	44,5	0,00024

Каждая альтернатива A_i оценивается по следующим критериям, характеризующим её оперативно-тактические возможности:

$C_1(A_i)$ – 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 .

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:

$$C'_j(A_i) = -C_j(A_i), \quad (7)$$

где $C'_j(A_i)$ нормализованное значение критерия, а $C_j(A_i)$ – исходное значение.

Для описания математической лексикографической модели выбора альтернативных наборов отделений формализуется процесс их выбора (рисунок 13):

$$\text{если } \left(\begin{array}{l} A_i > A_{i+1} \\ (\exists j \in \{1, 2, \dots, m\} \text{ такое, что } C_j(A_i) < C_j(A_{i+1}) \text{ и}) \\ C_{1..(j-1)}: C_{1..(j-1)}(A_i) = C_{1..(j-1)}(A_{i+1}) \end{array} \right), \quad (8)$$

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.

В наборе № 1 использованы все пять критериев. Парно 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.

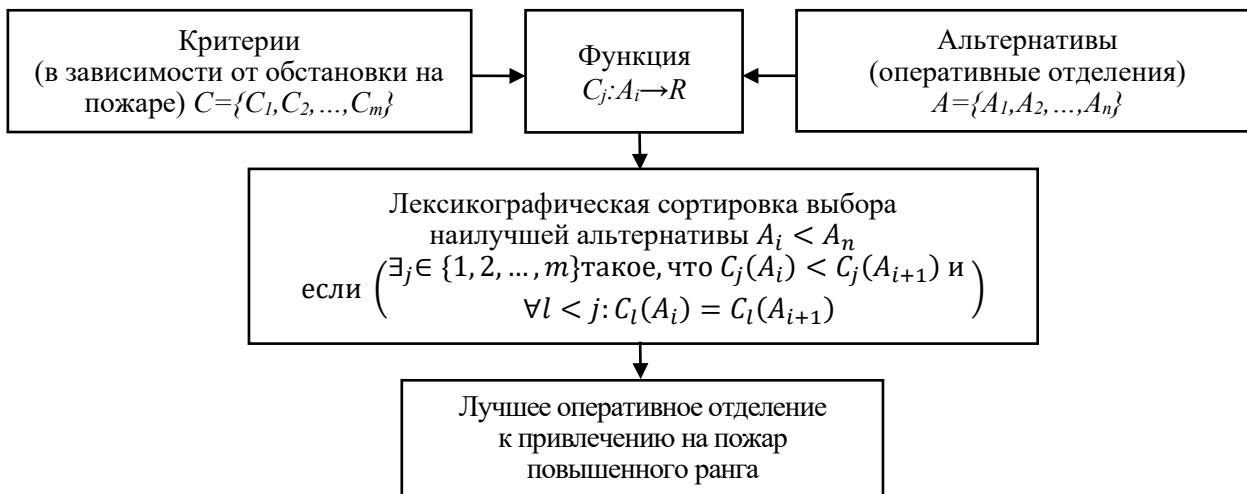


Рисунок 13 – Схема реализации лексикографической модели выбора альтернативных наборов оперативных отделений

Проведены расчеты для других наборов критериев, учитывающих обстановку на месте пожара и в 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 учётом приоритетных критериев, отражающих оперативную обстановку в реальном времени (таблица 3).

Полученные результаты могут быть использованы в качестве инструмента поддержки решений диспетчера при реагировании на пожары повышенного ранга.

Сравнительный анализ позволил выявить лидирующее оперативное отделение и расхождения между наборами критериев. 1 АЦ 3 ПСЧ стабильно занимает верхние позиции во всех наборах, что связано с географическим расположением объекта пожара в районе выезда подразделения, подтверждая обоснованность его привлечения в первую очередь.

Таблица 3 – 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 результаты в наборах № 1, № 2 и № 4, в расписании выезда находится лишь на пятом месте, что указывает на его недостаточные характеристики при текущем подходе. 1 АЦ 4 ПСЧ, возглавляя набор № 5 (где приоритетен риск), занимает низкие позиции в других случаях, подтверждая важность риска возникновения деструктивного события при занятости подразделения.

Построенная модель формирует оптимальные варианты реагирования, которые диспетчер использует для оперативного управления. Такой подход повышает оперативно-тактические возможности подразделений с учётом текущей обстановки (таблица 4).

Результаты моделирования показали преимущество предложенной модели по сравнению с расписанием выезда:

наборы 2, 4 и 5 обеспечили 14 человек ГДЗС против 12 по расписанию выезда;

набор 3 – больший объём воды (29 *m* против 26,2 *m*);

наборы 2 и 4 – меньший средний расход топлива (43,75 л/100 км против 45,13 л/100 км);

набор 5 – наименьший риск ДС (0,00089 против 0,00119).

Разработан алгоритм выбора альтернативных наборов оперативных отделений для привлечения на пожары повышенных рангов в реальном времени диспетчером ПСГ (рисунок 14).

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

На рисунке 15 представлена схема поддержки принятия решений по выбору альтернативных наборов отделений с помощью лексикографической модели. Диспетчер, получая информацию о пожаре, формирует очередность привлечения отделений по заданным критериям:

время следования;

численность расчёта;

объём огнетушащих веществ;

расход топлива;

риск деструктивного события.

Таблица 4 – Данные о повышении оперативно-тактических возможностей дополнительных оперативных отделений для привлечения к месту пожара в реальном времени

Набор критериев	Оперативно-тактические возможности отделений				
	Мин. время (мин)	Суммарная численность	Объём 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 ГСМ)	4.57	14	23.2	43.75	0.001017
Набор № 3 (объём воды, риск ДС)	4.57	10	29.0	46.50	0.001017
Набор № 4 (расход ГСМ, время следования)	4.57	14	23.2	43.75	0.001017
Набор № 5 (риск 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

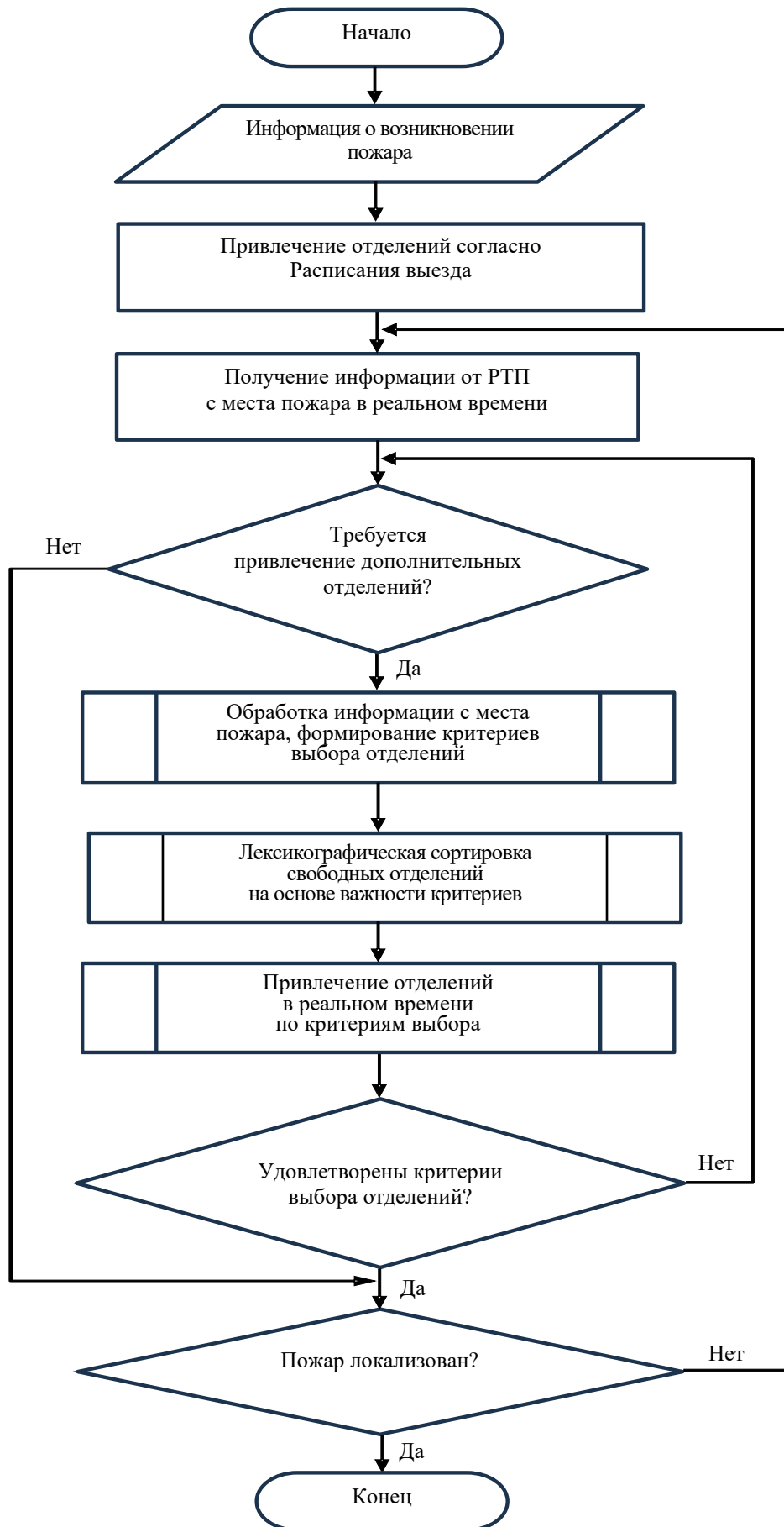


Рисунок 14 – Алгоритм выбора альтернативных наборов оперативных отделений для привлечения диспетчером пожарно-спасательного гарнизона в условиях реального времени



Рисунок 15 – Схема поддержки принятия решений по выбору альтернативных наборов оперативных отделений с помощью лексикографической модели

Вывод по третьей главе: сформулированы критерии привлечения оперативных отделений на пожары повышенных рангов, основанные на их тактико-технических возможностях. Критерии зависят от ранга пожара, характеристик объекта, обстановки на месте пожара и других факторов.

Построена лексикографическая модель и алгоритм поддержки принятия управленческих решений, позволяющие учитывать множественность адаптивных критериев в реальном времени. Модель формализует процесс принятия решений в условиях дефицита времени, рекомендуя подразделения к высылке с учётом приоритетов. Проведённое моделирование показало, что использование этой модели повышает оперативно-тактические возможности подразделений по сравнению с традиционным расписанием выезда.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Установлено, что существующее расписание выезда, применяемое в рамках предварительного планирования, не всегда обеспечивает оперативное реагирование пожарных подразделений на пожары повышенных рангов. Это связано с тем, что очередность отделений формируется без учёта фактического местоположения объекта и особенностей маршрута следования. Кроме того, отсутствует вариативность в выборе подразделений, расписание выезда предусматривает лишь один фиксированный вариант привлечения, что существенно ограничивает гибкость управления при привлечении подразделений.

2. Предложен метод декомпозиции районов (подрайонов) выезда подразделений на секторы, разработан алгоритм, реализующий данный метод и формирующий реляционную модель данных очередности (наборов) привлечения оперативных отделений по повышенным рангам. Реализация данного метода позволяет сократить время сосредоточения подразделений на 30-70% в зависимости от сектора выезда и ранга пожара, по сравнению с существующим подходом, а также оценить вероятность их сосредоточения.

3. Разработан программный модуль формирования базы данных наборов оперативных отделений по повышенным рангам индивидуально для каждого объекта защиты. Модуль объединяет наборы отделений при идентичности в один сектор выезда на этапе предварительного планирования. Программное обеспечение позволяет автоматизировать и значительно упростить процесс управления построением расписания выезда подразделений ПСГ.

4. Построена лексикографическая модель и алгоритм поддержки принятия управленческих решений по выбору альтернативных наборов оперативных отделений для привлечения на пожары повышенных рангов. Модель обеспечивает рациональный выбор отделений для сосредоточения с учетом их оперативно-тактических возможностей и минимальными затратами, повышая боеготовность ПСГ для решения основной боевой задачи на месте пожара в кратчайшие сроки.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях, включенных в список ВАК РФ:

1. Увалиев, Д.С. Очерёдность привлечения пожарно-спасательных подразделений по повышенным рангам пожаров / Д.С. Увалиев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – № 3. – С. 75–86.

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

3. Увалиев, Д.С. Подход к управлению высылкой пожарных подразделений по повышенным рангам на этапе предварительного планирования / Д.С. Увалиев, С.В. Соколов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2025. – № 1(36). – С. 18–31.

4. Увалиев, Д.С. Реляционная модель управления сосредоточением пожарных подразделений для тушения крупных пожаров / Д.С. Увалиев, С.В. Соколов, Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности. – 2025. – № 1(107). – С. 36–51.

5. Увалиев Д.С., Ищенко А.Д., Мироненко Р.В., Павлов А.В. К вопросу классификации сложности пожаров по номерам (рангам): Анализ и проблемные аспекты // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2025. – № 1(36). – С. 45–56.

6. Увалиев Д.С., Ищенко А.Д., Павлов А.В., Михайлин П.О. Проблемы управления ранговой системой классификации сложности пожаров: практическое применение и пути решения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 2 (37). С. 46–56.

Остальные публикации по теме диссертации:

7. Увалиев, Д. С. О рациональном привлечении сил и средств по повышенным рангам пожаров/Д.С. Увалиев//Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений: Сборник материалов XII научного семинара, Москва, 23.03.2023 года. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2023. – С. 509–513.

8. Увалиев, Д. С. Критерии привлечения подразделений пожарной охраны по повышенным рангам пожаров / Д. С. Увалиев // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Иваново, 23.11.2023 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ИПСА МЧС России», 2023. – С. 713–716.

9. Увалиев, Д. С. Привлечение пожарно-спасательных гарнизонов на пожары по повышенным рангам / Д. С. Увалиев // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: Материалы IX международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 20.03.2024 года. – Москва: Академия ГПС, 2024. – С. 274–279.

10. Увалиев, Д. С. Системный анализ в определении интенсивности и числа повышенных рангов пожара пожарно-спасательными подразделениями / Д. С. Увалиев // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений: Сборник материалов XIII межвузовского научного семинара (форума), Москва, 27.02.2024 года. – Москва: Академия ГПС, 2024. – С. 31–36.

11. Увалиев, Д. С. Привлечение подразделений пожарной охраны для тушения пожаров повышенных рангов в условиях массовых беспорядков / Д. С. Увалиев // Актуальные вопросы развития рукопашного боя: проблемы, пути решения, перспективы: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Москва, 05–06 октября 2023 года. – Москва: МУ МВД России, 2023.

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

13. Увалиев, Д. С. Технология управления организационной системой привлечения пожарных подразделений на пожары по повышенным рангам / Д. С. Увалиев // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 24.05.2024 года. – Железногорск: ФГБОУ ВО «Сибирская ПСА» ГПС МЧС России», 2024. – С. 210–212.

14. Увалиев, Д. С. Внедрение сектора выезда для совершенствования системы управления реагированием пожарных подразделений на пожары по повышенным номерам / Д. С. Увалиев, С. В. Соколов // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений : Сборник материалов девятого межвузовского научного семинара, Москва, 25.02.2025 года. – Москва: Академия ГПС, 2025. – С. 348–354.

15. Увалиев, Д. С. Программный модуль в управлении реагированием пожарных подразделений на этапе предварительного планирования / Д. С. Увалиев, С. В. Соколов // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2025. – № 14. – С. 196–200.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025683605 РФ. «Программа формирования очередности привлечения пожарной техники по повышенным номерам (рангам) пожаров на этапе предварительного планирования Pre-Determined Attendance «PDA»»: заявл. 20.08.2025: опублик. 05.09.2025 / Д. С. Увалиев, С. В. Соколов; ФГБОУ ВО «АГПС МЧС России».

Подписано в печать 09.12.2025. Формат 60×84/1/16

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 515

Академия ГПС МЧС России. 129366 г. Москва, ул. Б. Галушкина,4