

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

На правах рукописи



КОРОЛЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

Специальность 2.3.4.

Управление в организационных системах
(технические науки)

Диссертация
на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Данилов Михаил Михайлович

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ.....	13
1.1 Комплексный анализ показателей управления пожаротушением в подземных сооружениях.....	13
1.2 Комплексный (ретроспективный) анализ моделей поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров.....	35
1.3 Выводы по первой главе.....	48
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ.....	51
2.1 Разработка моделей поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров и организации взаимодействия на месте пожара в подземных сооружениях.....	53
2.1.1 Влияние параметров пожара в подземных сооружениях на действия пожарно-спасательных подразделений.....	53
2.1.2 Разработка модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях.....	74
2.1.3 Разработка иерархической модели организации взаимодействия на месте пожара в подземных сооружениях.....	112
2.2 Алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования управленческих альтернатив при тушении пожаров в подземных сооружениях.....	135
2.3 Алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в подземных сооружениях.....	140

2.4 Выводы по второй главе.....	143
ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ.....	145
3.1 Графоаналитическое обоснование модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях.....	148
3.2 Программная реализация поддержки принятия решений при тушении пожаров в подземных сооружениях.....	174
3.3 Внедрение программного модуля в организационную структуру управления при тушении пожаров в подземных сооружениях.....	182
3.4 Условия принятия опорных решений при решении задач управления тушением пожаров в подземных сооружениях.....	186
3.5 Выводы по третьей главе.....	195
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	198
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	201
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	203
Приложение А (обязательное) Объединенная схема с классификацией типовых подземных сооружений и особенности идентификации граничных условий при решении задач управления при тушении пожара в подземных сооружениях	227
Приложение Б (обязательное) Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ	232
Приложение В (обязательное) Акты внедрения результатов исследования	235

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации¹ определяет комплексное развитие подразделений пожарной охраны и аварийно-спасательных формирований в соответствии с решаемыми ими задачами, как один из путей реализации государственной политики, направленной на достижение целей обеспечения государственной и общественной безопасности. Согласно Основам государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года² совершенствование управления подразделениями всех видов пожарной охраны, обеспечение их взаимодействия, а также координации их деятельности по поддержанию в необходимой готовности сил и средств оперативного реагирования на пожары является одним из приоритетных направлений по обеспечению эффективного функционирования пожарной охраны России.

Задачи управления пожарно-спасательными подразделениями и организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций – одни из задач управления в организационной системе пожаротушения. Условия управления силами с средствами при тушении пожаров в подземных сооружениях (далее – ПС), в том числе большой протяженности и площади преимущественно рассматриваются на примере подземной инфраструктуры метрополитенов, как объектов, объединяющих в себе все типы подземных сооружений [38], и объектов технологического и коммунального назначения. Пожары и аварии на объектах транспортной системы городов, в том числе и в метрополитенах, повлекут за собой человеческие жертвы, парализацию инфраструктуры и колоссальные экономические потери. Наблюдается тенденция увеличения количества пожаров [64] и иных аварий в городах, в том числе и на

¹ Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

² Указ Президента Российской Федерации от 01.01.2018 № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года».

объектах транспортной инфраструктуры. «Большинство пожаров и загораний в Московском метрополитене происходит в подвижном составе (50,5 %), в 48,4 % случаев состав удается вывести на станцию, большое количество пожаров происходит в перегонных тоннелях между станциями (23,7 %)» [141]. Остальные 25,8 % пожаров происходит в остальных ПС и помещениях метрополитена.

Так, произошедшие на удаленных участках ПС пожары (перегонные тоннели метрополитенов, транспортные тоннели, вспомогательные подземные сооружения метрополитенов, коллектора, многофункциональные подземные объекты и их комплексы, подземные сооружения производственно-технологического и специального назначения и иные ПС) представляют наиболее высокую сложность при их ликвидации [46]. При тушении пожара в ПС пожарно-спасательные подразделения (далее – ПСП) сталкиваются с рядом осложняющих факторов. К таким факторам можно отнести: высокая протяженность подземных коммуникаций, малая площадь сечения проходов некоторых ПС, высокая удельная горючая нагрузка, разнообразие типов горючей нагрузки, быстрая потеря видимости в дыму, транзитные электросети, которые не могут быть обесточены или их обесточивание занимает продолжительное время, высокая скорость развития пожара, сложность организации управления и взаимодействия на пожаре в данных сооружениях и т.д.

Разработка моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров позволяет учесть вышеописанные факторы и повысить оперативность принятия управленческих решений при организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующими объектами организаций при тушении пожара и, следовательно, сократить время выполнения основной боевой задачи. Внедрение разработанных моделей и алгоритмов в систему предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ, а также в процесс отработки ПСП тушения пожаров в рамках учений и тренировок, позволит превентивно отработать вопросы взаимодействия при тушении пожара в ПС между ПСП, городскими аварийными службами и службами эксплуатирующими объектами организаций.

Степень разработанности. Фундаментальным базисом научного исследования являются теоретические положения управления в организационных системах, разработанные В.Н. Бурковым [31-34] и Д.А. Новиковым [95-100, 181]. Научные концепции автора, нашедшие выражение в настоящем исследовании, сформировались на научных подходах к разработке методов, моделей и алгоритмов решения задач управления при тушении пожаров, поддержки принятия решений при пожарах и чрезвычайных ситуациях, включая расчетно-аналитические и математические методы, изложенных в трудах Н.Н. Брушлинского [8, 12, 26-30, 101, 114, 142], С.В. Соколова [12, 28, 29, 114], Б.М. Пранова [129], Е.А. Мешалкина [62], Н.Г. Топольского [130, 143], А.Н. Денисова [6, 37, 50, 53, 54, 56-60, 73, 167], А.В. Матюшина [82, 83, 59], В.Л. Семикова [112], А.А. Порошина [59, 82], Д.В. Тараканова [10, 154, 155, 160, 172, 185], В.Б. Коробко [60, 151], Ю.В. Пруса [130, 143], А.Н. Членова [101], Я.С. Повзика [118], М.М. Данилова [6, 50, 53-54], В.М. Климовцова [130, 143], К.С. Власова [37], П. Вагнера [8, 12, 28, 29] и др.

Однако, в работах авторов не было уделено внимания вопросам поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС. Поэтому решаемая в диссертации научная задача заключается в повышении оперативности принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и службами эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

Объект исследования – процесс управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров в подземных сооружениях во взаимодействии с аварийными службами города и эксплуатирующих объектов организаций.

Предмет исследования – модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях.

Цель исследования: повышение оперативности принятия управленческих решений при организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений

с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в подземных сооружениях.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо решить следующие **научные задачи**:

1. Провести комплексный анализ процесса принятия управленческих решений в организационной системе пожаротушения при тушении пожаров в подземных сооружениях.

2. Разработать:

модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий пожарно-спасательных подразделений;

иерархическую модель организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в подземных сооружениях.

3. Разработать алгоритмы:

поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в подземных сооружениях;

поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара.

4. Провести обоснование моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях.

Научная новизна диссертации заключается в получении следующих научных результатов:

модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП, отличающаяся от существующих возможностью

осуществления ранжирования критериев выбора управленческой альтернативы на основе идентификации граничных условий пожаротушения в ПС;

иерархическая модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС, отличающаяся от существующих учетом возникающих граничных условий пожаротушения при формировании оптимальной структуры организации взаимодействия на месте пожара;

алгоритмы поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в ПС и поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара, основным отличием от существующих алгоритмов является возможность получения исходной информации о необходимом оптимальном количестве сил, средств пожарно-спасательных подразделений и оптимальной организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организации для тушения пожара в ПС.

Теоретическая значимость заключается в использовании разработанных моделей и алгоритмов в научной среде, а также в расширении границ применения положений теории управления в области поддержки принятия управленческих решений и решения задач управления в организационной системе пожаротушения при тушении пожара в ПС.

Практическая значимость:

Для профессиональной среды заключается: в реализации результатов в оперативно-служебной деятельности структурных подразделений МЧС России; в реализации разработанных моделей и алгоритмов для повышения эффективности разрабатываемых планирующих документов пожарно-тактически учений, документов предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ в организациях, использующих документы предварительного планирования действий по тушению пожаров; в

реализации разработанных моделей и алгоритмов для повышения эффективности анализа действий ПСП на произошедших пожарах, а также организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС; в пожарно-тактической экспертизе действий ПСП по тушению пожаров в ПС.

Для образовательной среды заключается: в повышении культуры безопасности при формировании и выборе альтернатив управленческих решений при проведении практических тренировок, написании курсовых проектов, проведении пожарно-тактических учений и пожарно-тактических занятий.

Для научной среды заключается: в определении особенностей принятия решений применительно к аналогичным объектам. Результаты исследования содержат научно-обоснованное решение задачи поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС. Использование результатов может служить ориентиром для проведения дальнейших научных исследований и получения актуальных результатов в области решения задач управления пожаротушением.

Методология и методы исследования – для решения поставленных задач были использованы следующие основные методы исследования: иерархического управления структурой и составом организационных систем; графической оценки; анализа систем; анализа иерархий.

На защиту выносятся:

1. Модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий пожарно-спасательных подразделений;

2. Иерархическая модель организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в подземных сооружениях;

3. Алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в подземных сооружениях;

4. Алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатируемых объектов организаций на месте пожара.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечивается применением апробированного математического аппарата; строгим обоснованием основных теоретических положений и утверждений; применением научных и обоснованных методов теории управления организационными системами; непротиворечивостью и согласованностью результатов работы с результатами, полученными другими авторами; апробацией результатов исследования на всероссийских и международных научно-практических конференциях; публикацией результатов исследования в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК России).

Основные результаты диссертации доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Школа молодых ученых и специалистов МЧС России – 2018» (Москва, 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Гражданская оборона на страже мира и безопасности» (Москва, 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности. Кампания «Мой город готовится»: задачи, проблемы, перспективы» (Воронеж, 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория. Инновации. Практика» (Москва, 2023 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях» (Москва, 2023 г.); III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Кибернетика, информатика, аналитика: модели, инструменты методы» (Донецк, 2024 г.);

X Международной научно-практической конференции «Современные исследования: теория, практика, результаты» (Москва 2024 г.); XXXV Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации» (Москва 2025 г.).

Внедрение результатов исследования:

Результаты диссертационной работы внедрены (Приложение В):

В образовательный процесс кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по направлению подготовки 38.04.04 «Государственное и муниципальное управление» по дисциплине «Управление силами и средствами при тушении пожаров».

При планировании действий ПСП по тушению пожаров в ПС, проведению тренировок и пожарно-тактических учений, в том числе совместных учений по взаимодействию ПСП с аварийными службами и эксплуатирующими объекты организациями при тушении пожаров в ПС в Главном управлении МЧС России по Чукотскому автономному округу.

При проведении пожарно-тактических учений и взаимодействии ПСП с аварийными службами города и службами эксплуатирующими объекты организаций при тушении пожаров в ПС в Главном управлении МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу.

В деятельности ООО «МНИЦ С И ПБ» при разработке и обосновании мероприятий по обеспечению безопасности подразделений пожарной охраны при ликвидации пожара в ПС.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 14 научных работ, в том числе 4 научных работы в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. Выносимые на защиту положения разработаны лично автором. В совместных публикациях результаты, связанные с разработкой моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении

пожаров в ПС, а также идентификацией граничных условий пожаротушения в ПС, получены автором лично.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 240 страниц, включая 67 рисунков, 33 таблицы, 3 приложения и список литературы из 191 наименования.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Управление пожарно-спасательными подразделениями при выполнении ими основной боевой задачи в ПС сопряжено с большим количеством возникающих трудностей. Руководителю тушению пожара, для успешного выполнения поставленных задач, спасения людей и материальных ценностей, локализации и ликвидации пожара необходимо принимать решения с учетом этих трудностей. В данной главе проведен комплексный анализ процесса принятия управленческих решений руководителем тушения пожара (далее – РТП) при тушении пожара. Проведен анализ существующих методов, моделей, алгоритмов и решений в области решения задач управления пожарно-спасательными подразделениями, а также организации взаимодействия на месте пожара с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций при тушении пожаров в ПС. Поставлены задачи исследования.

1.1 Комплексный анализ показателей управления пожаротушением в подземных сооружениях

С ростом общественных производительных сил и их сосредоточением в крупных городах, возникает необходимость в развитии транспортной, коммуникационной и технологической инфраструктуры городов. Рост численности населения городов Российской Федерации различен и зависит от размеров города и близости малых городов к крупным административным центрам [18]. В Российской Федерации в городах проживает 73,1 % населения, в сельской местности 26,3 % [16]. Роль подземных сооружений в современной жизни мегаполиса хорошо видна на примере строительства и развития сети

метрополитенов, которая позволяет удовлетворить постоянно растущую потребность городов в эффективной транспортной системе. Так, московский метрополитен (с московским центральным кольцом) за 2023 г. осуществил перевозку в сумме 2,2 млрд. пассажиров³, что говорит о высокой эффективности и необходимости развития метрополитенов. Соответственно, в условиях обстановки с пожарами в современном мире [8, 12, 28, 29], с ростом инфраструктуры растет необходимость совершенствования обеспечения пожарной безопасности, в том числе и управления в организационной системе пожаротушения. В исследовании организационная система пожаротушения рассматривается как совокупность элементов, участвующих в тушении пожара (сил, средств и иных задействованных элементов) и связей между ними (информационных, управленческих и др.), действующая в определённо сложившейся внешней среде.

Тушение пожара является непрерывным процессом принятия решений в изменяющейся обстановке. От качества выбранных решений, из массива управленческих альтернатив, зависит успех в выполнении основной боевой задачи [103] пожарно-спасательными подразделениями на месте пожара. Остро встает вопрос о необходимости повышения результативности управленческих решений (сокращении времени на выполнение основной боевой задачи), принимаемых РТП и уменьшения времени на принятие решений им самим. Разработка моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений направлена на повышение оперативности принятия решений РТП и организации взаимодействия участников тушения пожара в ПС. Неотъемлемой частью данной деятельности является организация взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями и другими службами, такими как аварийные службы города и эксплуатирующих объекты организаций.

Для своевременной и эффективной минимизации угрозы пожаров в ПС необходимо проведение комплекса мероприятий:

совершенствование пожарной техники;

³ Московский транспорт [Электронный ресурс]: Данные по работе Московского транспорта URL: https://transport.mos.ru/mostrans/for_journals/data (дата обращения: 22.10.2024).

внедрение и модернизация автоматических систем противопожарной защиты;
совершенствование надзорной и профилактической работы;
совершенствование подготовки работников пожарной охраны;
совершенствование управления пожарно-спасательными подразделениями и взаимодействием участников тушения пожара на месте пожара.

Особое внимание стоит выделить на совершенствование управления пожарно-спасательными подразделениями, включая межведомственное взаимодействие и взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатируемых объектов организаций на месте пожара. Поиск решений, направленных на оптимизацию и увеличение эффективности управления ПСП и взаимодействие с городскими и ведомственными аварийными службами (а также со штатными и нештатными аварийными службами эксплуатирующих ПС организаций), позволит в кратчайшие сроки обеспечить достижение основной боевой задачи на каждом пожаре в ПС.

Оперативно-тактическое управление пожарными подразделениями при тушении пожаров основывается на принятии решений лицом, принимающим РТП. От принятого РТП решения зависит ход тушения пожара и время выполнения основной боевой задачи. Обоснованность такого решения прямо влияет на эффективность всего комплекса мер по спасению людей, материальных ценностей, локализацию и ликвидацию пожара. Характерной чертой процесса принятия управленческих решений РТП являются граничные условия пожаротушения. Принимать решения РТП необходимо в ограниченном временном промежутке и в условиях неполной или неточной информации о сложившейся обстановке на пожаре.

Ограниченное время, недостаточность информации, факторы неопределенности и риска повышают сложность принятия решений и прогнозирование их последствий. РТП на месте пожара сталкивается с многокритериальной задачей с противоречивыми целями. Задачи такого типа являются наиболее сложными в теории принятия решений [93]. Применительно к задаче принятия решений в граничных условиях при тушении пожаров в ПС они до конца не решены. Для решения этих задач требуется принимать во внимание

многокритериальность, многофакторность проблемы и множество переменных, определяющих состояние окружающей обстановки.

Современные условия тушения пожара, диктуемые постоянно развивающейся инфраструктурой, требуют разработки новых моделей и алгоритмов в управлении пожарными подразделениями. Конечный результат, сроки и качество тушения пожара напрямую зависят от решения РТП, который выполняет управленческие функции тушения пожара в ПС. Подбирая решение, РТП оценивает обстановку на месте пожара и не всегда учитывая граничные условия пожаротушения и документы предварительного планирования действий по тушению пожара и проведения аварийно-спасательных работ.

В рамках проведенного исследования, деятельность РТП рассматривается как совокупность действий, таких как получение информации, оценка и прогнозирование обстановки на пожаре, формирование и реализация управленческих альтернатив при тушении пожара, организация взаимодействия на месте пожара между пожарно-спасательными подразделениями, аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций. Данная деятельность рассматривается как классический процесс принятия решений. Процесс принятия решений в данной модели деятельности РТП является разносторонним, универсальным процессом, включающим в себя определенное количество стадий действий пожарных подразделений. Результат тушения пожара является основным в теории принятия управленческих решений. В целях управления подразделениями пожарной охраны при использовании алгоритмов и методик тушения пожаров оценка обстановки начинается с выявления скоррелированных факторов в быстро меняющейся обстановке для достижения результатов пожаротушения [65].

В процессе управления пожарными подразделениями РТП необходимо принимать решения в сложной обстановке, характеризуемой следующими факторами:

отсутствие точной информации о факторах, характеризующих обстановку, сложившуюся на месте пожара;

непрерывно изменяющаяся окружающая обстановка на месте тушения пожара в ПС;

необходимость действия РТП в системе «принятое решение – обратная связь», осуществлять контроль исполнения принятых решений и использовать результаты принятых решений для дальнейшей выработки альтернатив управления;

недостаток времени для анализа факторов, характеризующих сложившуюся обстановку на месте пожара в ПС, влияющего на качество поиска альтернатив управления и выбора наилучшей из них;

высокая степень риска для участников тушения пожара в ПС, и постоянно растущий ущерб от пожара до его ликвидации, которые оказывают психологическое давление на РТП и повышают ответственность принимаемых им решений;

значительное количество участников тушения пожара, с ростом числа которых усложняется процесс обмена информацией и, следовательно, усложняется контроль за исполнением принятых решений;

уникальность каждого пожара и возникающих на нем условий;

психологические факторы, воздействующие на участников тушения пожара.

Процесс управления ПСП при тушении пожаров в ПС требует особого рассмотрения. «Подземное сооружение или подземная часть сооружения: Сооружение или часть сооружения, расположенная ниже уровня поверхности земли (планировки)» [147]. Известно, что «номенклатура объектов по их назначению, размещаемых в подземном пространстве, на которые распространяются требования настоящего свода правил, включает в себя: гражданские сооружения жилого, административного назначения и сферы обслуживания, спортивные сооружения; сооружения промышленного назначения; транспортные сооружения и пешеходные переходы; гидротехнические сооружения; инженерные сооружения и сети; многофункциональные комплексы. В зависимости от пространственной компоновки подземные сооружения подразделяются на линейные (протяженные

объекты и их комплексы: тоннели, подземные переходы, инженерные сети и др.) и компактные (локальные отдельно стоящие объекты и их комплексы)» [147].

В свою очередь, «перечень основных видов городских объектов, потенциально пригодных для размещения ниже уровня поверхности земли, включает: инженерно-транспортные сооружения (автотранспортные и пешеходные тоннели; подземные участки путей рельсового транспорта метрополитена, мини-метро, «скоростного трамвая»; автомобильные стоянки и гаражи; помещения автобусных и железнодорожных вокзалов и др.); предприятия торговли и общественного питания (торговые центры и залы; магазины различного профиля и киоски; вспомогательные помещения кафе, столовых, ресторанов и др.); административные, зрелищные и спортивные сооружения (конференц-залы, архивы, выставочные и концертные залы, кинотеатры, спортивные залы, плавательные бассейны, катки с искусственным льдом и др.); предприятия коммунально-бытового обслуживания и связи (ателье ремонта, химчистки, прачечные, бани, парикмахерские, почтовые и телеграфные отделения, автоматические телефонные станции и др.); объекты складского хозяйства (продуктовые и промтоварные склады, овощехранилища, холодильники, резервуары для жидкостей и газов, склады горюче-смазочных материалов и др.); объекты промышленного назначения и энергетики, в которых необходима тщательная защита от пыли, вибраций, перепадов температур и других внешних воздействий; сооружения и сети инженерного оборудования (сети водопровода и канализации, электроснабжения и газоснабжения, тепловые сети, котельные, насосные станции и резервуары, общие проходные коллекторы, трансформаторные станции, газораспределительные станции и др.)» [135].

Согласно действующим нормативно-правовым актам [104] выполнение горноспасательных, а также других специальных и аварийно-спасательных работ на территориях организаций, осуществляющих горные и другие виды работ на опасных производственных объектах угольной, горнодобывающей, металлургической промышленности, в подземном строительстве, в период

строительства, реконструкции, ликвидации или консервации подземных сооружений осуществляется военизированными горноспасательными частями [110].

Тушение пожаров в остальных ПС (метрополитены, подземные парковки, коллекторы, кабельные каналы) и на промышленных предприятиях (тоннели, коллайдеры, убежища), как правило, осуществляется силами Государственной противопожарной службы МЧС России или другими видами пожарной охраны предусмотренные законодательством [5].

По результатам анализа статистических данных о пожарах [119-127] в ПС в период с 2015 по 2023 год можно сделать вывод о снижении общего числа пожаров в ПС с учетом изменения порядка сбора статистических данных о пожарах в 2019 году (Рисунок 1.1). Наблюдается незначительный рост числа погибших на пожарах в подвальных помещениях и снижение числа погибших при пожарах в коллекторах и коммуникационных ПС (Рисунок 1.2). Количество травмировавшихся на пожарах в ПС всех типов (Рисунок 1.3) стабильно снижалось в указанный период.

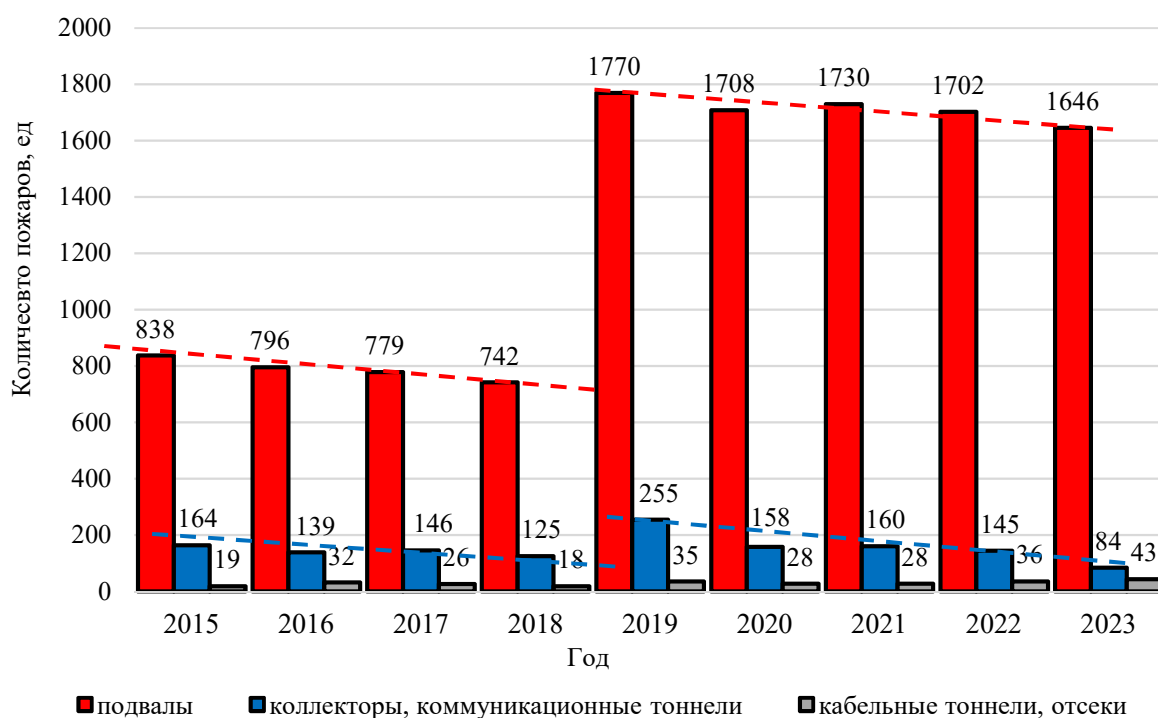


Рисунок 1.1 – Количество пожаров в ПС в период с 2015 по 2023 год

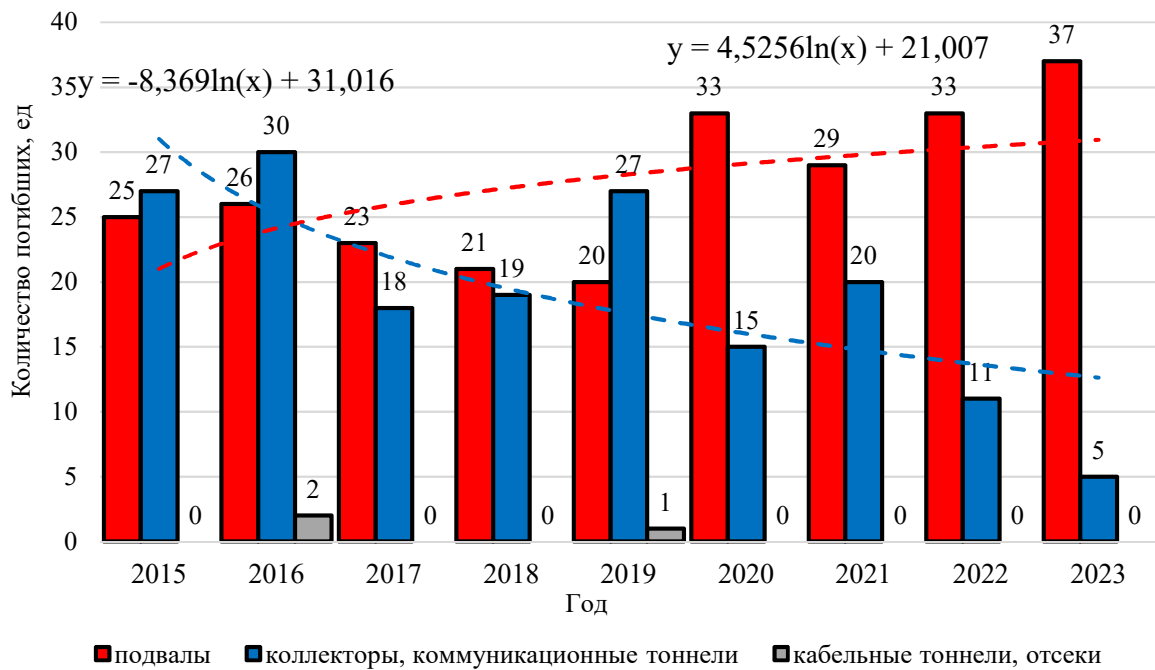


Рисунок 1.2 – Количество погибших на пожарах в ПС в период с 2015 по 2023 год

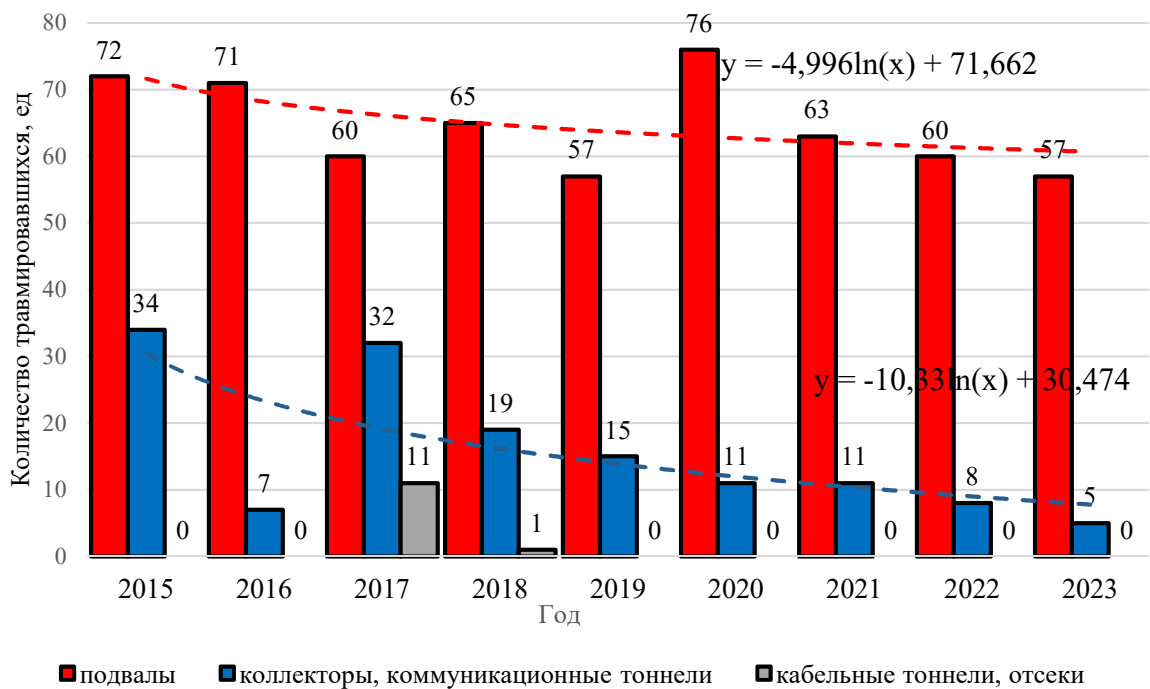


Рисунок 1.3 – Количество травмированных на пожарах в ПС в период с 2015 по 2023 год

Исходя из отношения погибших и травмировавшихся на пожарах в ПС к количеству пожаров в период с 2015 по 2023 год (Рисунок 1.4) коэффициент для коллекторов и коммуникационных ПС в 1,5–2 раза выше коэффициента для

подвалов, однако количество пожаров в подвалах в 5–7 раз выше, чем в коллекторах, что говорит об их потенциальной опасности.

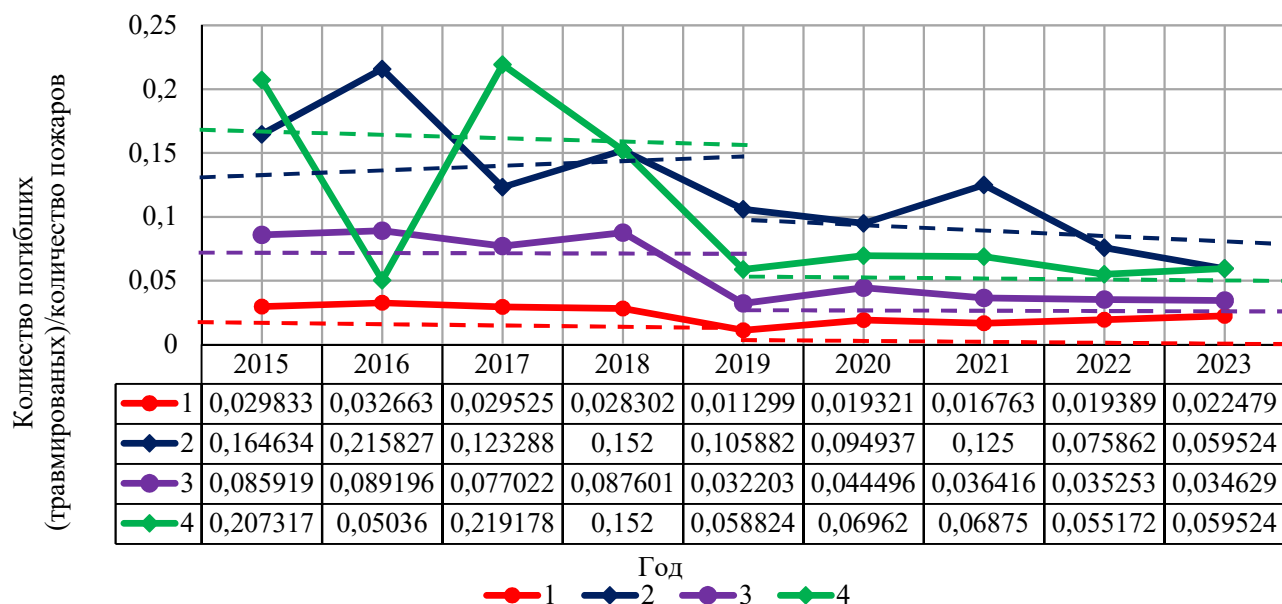


Рисунок 1.4 – Отношение погибших и травмировавшихся на пожарах в ПС к количеству пожаров в период с 2015 по 2023 год. Где: 1 – отношение погибших к количеству пожаров в подвалах, 2 – отношение травмировавшихся к количеству пожаров в подвалах, 3 – отношение погибших к количеству пожаров в коллекторах и коммуникационных тоннелях, 4 – отношение травмировавшихся к количеству пожаров в коллекторах и коммуникационных тоннелях

По результатам анализа проведенных исследований и нормативных документов [17, 20-24, 46, 47, 61, 70, 71, 77, 84, 85, 116, 132, 144, 152, 163-165, 169, 170, 173, 175, 186] сложность обстановки при тушении пожаров в ПС обуславливают следующие факторы:

значительное количество горючей нагрузки в ПС, что способствует быстрому развитию неконтролируемого горения на большой площади в ПС;

разнообразие полимерной горючей нагрузки, характеризующейся высокотоксичными продуктами горения, возгорание которой приводит к быстрому росту плотного задымления на большом расстоянии от очага пожара;

наличие в большом объеме кабельных электросетей, в том числе транзитных, обесточивание которых в кратчайшие сроки невозможно, оборудования, находящегося под напряжением, другого электрооборудования, что создает

реальную угрозу жизни и здоровью участникам тушения пожара в сооружениях метрополитенов и кабельных коллекторов, каналов и отсеков;

высокая протяженность и сложность маршрутов поиска очага пожара и ввода сил и средств (далее – СиС), проведения боевого развертывания СиС;

для подземных сооружений метрополитенов таким фактором является повышенная пожарная опасность элементов подвижного состава;

повышенная сложность планировки коммуникаций ПС, понижающая способность ориентироваться звеньям ГДЗС в задымленном пространстве в объеме ПС, и увеличивающая время проведения разведки пожара;

высокая степень дифференциации функционального назначения помещений ПС, такими помещениями могут быть станции метрополитенов, перегонные тоннели высокой протяженности, служебные помещения различного назначения, электроподстанции, вентиляционные узлы, иные вспомогательные помещения и др.

наличие воздушных потоков, создаваемых системами вентиляции, которые увеличивают скорость и расстояние распространения горения;

аварийное отключение (для сооружений метрополитенов), вследствие пожара, тяги поездов метрополитена с напряжением 825 В, остановка подвижного состава в тоннелях, обесточивание сети рабочего и аварийного освещения, в комплексе осложняющее безопасную эвакуацию людей в безопасную зону;

высокое количество потенциальных источников зажигания, например, (для сооружений метрополитенов), «только под вагонами находится около 35, равномерно расположенных, потенциальных источников зажигания (сюда следует отнести дополнительный резистор, разъединительное устройство, муфты соединений, блок питания собственных нужд, соединительный короб, ящик с реле, аккумуляторная батарея» [45] и другие);

в ПС «метрополитенов необходима организация эвакуации большого количества пассажиров и персонала, продолжительность которой, в зависимости от количества людей и удаленности до станции, может достигать 90 минут» [168]. По результатам экспериментов [84, 178] было выявлено, что критические

значения опасных факторов пожара (далее – ОФП) достигаются уже через 25 минут после возникновения пожара, при условии возникновения пожара в кабине поезда или в подвагонном пространстве;

в ПС метрополитенов существует вероятность возникновения сценария развитого пожара [22], при котором реализуется интенсивное развитие горения двух вагонов, а при горении в тоннеле – нескольких вагонов подвижного состава;

сложность построения связей управления и взаимодействия (высокое количество взаимодействующих элементов внутри системы).

Представим типовую структуру системы управления ПСП (при тушении пожара с созданием штаба аварийно-спасательных работ (далее – АСР) (Рисунок 1.5)). Сооружения Московского метрополитена позволяют рассмотреть структуру организации управления силами и средствами и обеспечения взаимодействия привлекаемых подразделений пожарно-спасательного гарнизона. При формировании штаба АСР, РТП является его членом и отвечает за спасание людей, тушение пожара и проведение специальных работ. Руководитель метрополитена или его заместитель руководит АСР. В работе штаба АСР также учувствуют: начальник ведомственных пожарных подразделений, который является помощником начальника штаба АСР, инженерно-технический персонал метрополитена, руководители подразделений аварийных служб города. Управление силами и средствами на пожаре территориальных пожарно-спасательных формирований города Москвы осуществляет РТП [150]. Штаб АСР является руководящей единицей для всех формирований, участвующих в аварийно-спасательных работах и тушении пожара, так, в систему организации управления пожарно-спасательными подразделениями добавляются дополнительные переменные, создающие граничные условия пожаротушения, за счет увеличения сложности самой системы.

Временные показатели взаимодействия РТП, ПСП, аварийных служб города и эксплуатируемых объекты организаций являются группой граничных условий пожаротушения, создающих внешнюю среду и определяющие количественные и качественные параметры сложившейся обстановки.

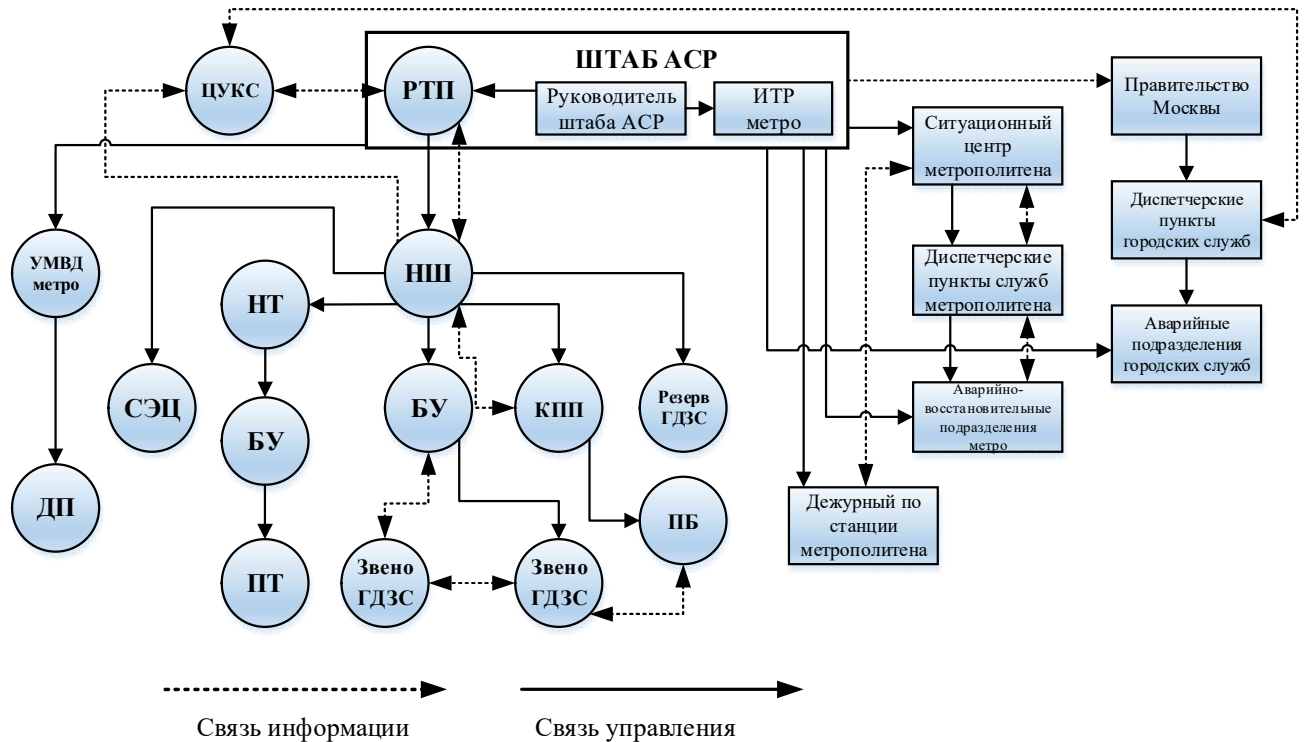


Рисунок 1.5 – Структура системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров с созданием штаба аварийно-спасательных работ, где НШ – начальник штаба пожаротушения, НТ – начальник тыла на пожаре, ИТР – инженерно-технические работники, БУ – боевые участки, КПП – контрольно-пропускной пункт ГДЗС, ПТ – пожарная техника и вооружение, ДП – дежурный полицейский, ЦУКС – центр управления в кризисных ситуациях МЧС России, АСР – аварийно-спасательные работы, СЭЦ – судебно-экспертный центр МЧС России

При анализе работ [19, 40, 48, 67, 171, 172], выявлены характерные факторы и особенности при работе звеньев ГДЗС в НДС, при тушении пожара в ПС. Данные факторы и особенности также создают определенные граничные условия при тушении пожаров в ПС (сложные условия тушения пожара). Таким образом, исходя из сложности условий решения задач управления по тушению пожаров в ПС, также выделенных факторов и особенностей работы звеньев ГДЗС в НДС, особенностей организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций обозначены две группы параметров граничных условий при управлении тушением пожара в ПС [72]:

1. Группа постоянных параметров, формируемых: характеристиками ПС, коммуникаций и сооружений (глубина залегания, количество входов и т.д.), их протяженностью, объемом, планировками, конструктивными особенностями,

параметрами вентиляционных систем, свойствами горючей нагрузки, наличием или отсутствием автоматических систем противопожарной защиты, характеристиками гарнизона пожарной охраны, имеющихся сил и средств в пожарно-спасательном гарнизоне, их оснащенностью, местом возникновения пожара, и другими постоянными параметрами, влияющими на управление тушением пожара в ПС.

2. Группа переменных параметров, формируемых: конкретной сложившейся обстановкой на пожаре, причиной пожара (взрыв, неисправность электропроводки, неосторожное обращение с огнем, нарушение техники безопасности при проведении пожароопасных или огневых работ и др.), площадью пожара, временем его свободного развития, изменением прочностных характеристик тубингов и иных несущих конструкций тоннелей, состоянием автоматических систем противопожарной защиты, сопровождающими пожар аварийными ситуациями, количеством людей в зоне пожара, количеством участников тушения пожара в ПС, количеством работающих звеньев ГДЗС в непригодной для дыхания среде, типом средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (далее – СИЗОД) участников тушения пожара, качеством установленной связи на пожаре, характером созданной обратной связи между РТП и исполнителями управленческих решений, количеством и состоянием пожарной и специальной техники, прибывшей к месту пожара, уровнем подготовки персонала к действиям при возникновении пожара, уровнем подготовки ПСП, качеством установленного взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций, параметрами работы газодымозащитников в СИЗОД и средств мониторинга их работы, актуальностью сведений в документах предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ (далее – ДПП) реальной обстановке, стажем тушения пожаров данного типа РТП, стажем работы РТП в штабе аварийно-спасательных работ, психологическими факторами и другими отвлекающими факторами.

В большой степени на процесс выработки и принятия управленческого решения оказывают воздействие граничные условия (ограничения) пожаротушения. Для успешного принятия решений необходимо принимать во внимание

максимально возможное количество граничных условий пожаротушения, выявляя их на основе структур поддержки принятия решений. Группы граничных условий при пожаре в ПС представлена на Рисунке 1.6.

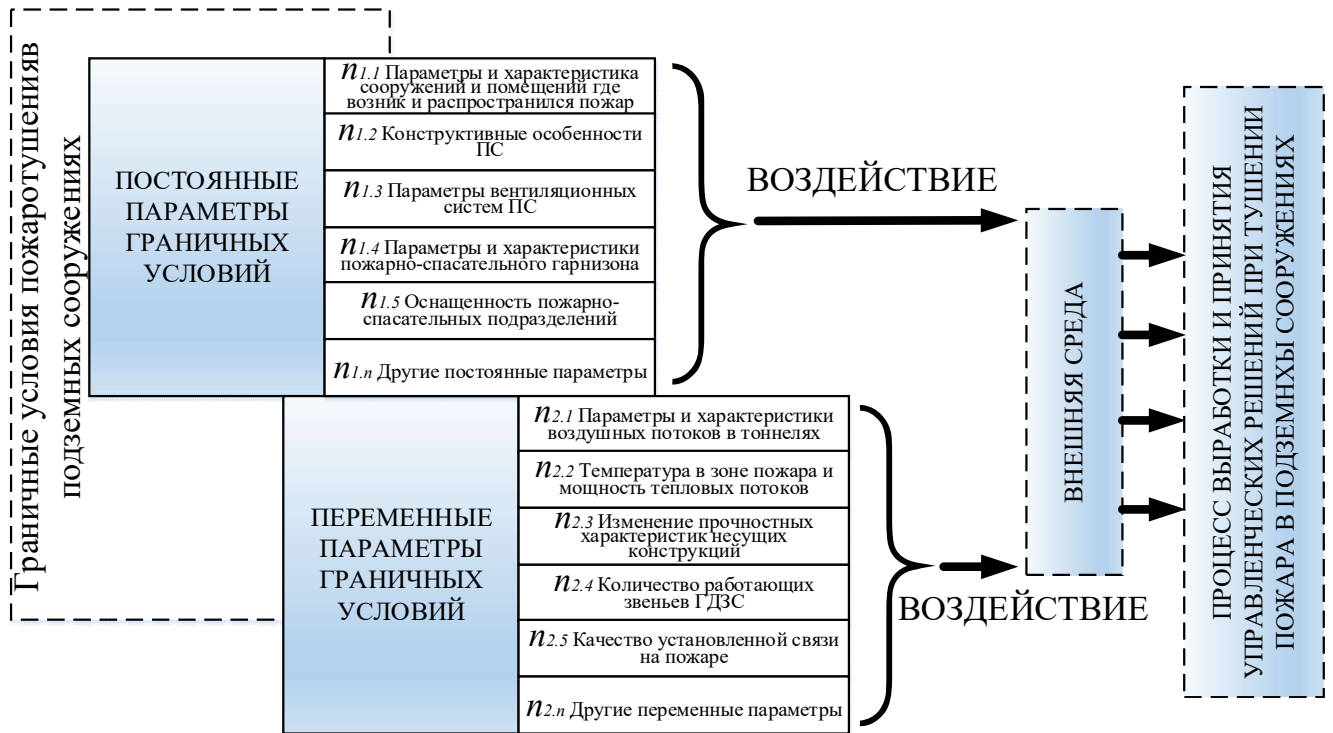


Рисунок 1.6 – Группы граничных условий при пожаре в ПС

В ситуациях, связанных с принятием управленческих решений на пожаре, разработка каждой альтернативы поведения системы пожаротушения является достаточно трудоемкой операцией, поэтому довольно часто разрабатываются наиболее вероятные варианты [130]. При принятии решений при тушении пожара цель, как правило, известна и четко сформулирована. Для получения оценки уровня достижения целей, поставленных перед руководителем тушения пожара, необходимо проводить анализ и конструировать альтернативы того, как поведет себя система в различных условиях складывающейся на пожаре обстановки. Исследование альтернатив управления СиС при тушении пожара в ПС производится по модели, учитывающей этапы принятия запланированных решений. Первый этап – определение и постановка цели в конкретных условиях

складывающейся обстановки на месте пожара. Второй этап – многосторонний анализ ресурсов, взаимодействующих при реализации решения, а также условий использования этих ресурсов. В результате выполнения действий, предусмотренных данными этапами, разрабатывается система выработки и принятия решений в заданных условиях. Диаграмма анализа разработки алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров представлена на Рисунке 1.7.

Объединенная схема с классификацией типовых ПС и особенности идентификации граничных условий при решении задач управления при тушении пожара в ПС представлена в Приложении А.

В настоящее время существует ряд особенностей в управлении пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара в ПС, которые должны учитываться РТП (оперативным штабом на месте пожара) и основываться на системном подходе к граничным условиям при тушении пожара.

Данные особенности, описанные в работах [10, 40, 49, 145, 161], заключаются в усложнении обстановки на пожаре с течением времени. Для предотвращения усложнения обстановки при тушении пожара в ПС необходимо определить цель к осуществлению локализации пожара в его начальной стадии. Однако, не всегда удается осуществить поставленную цель. Способствует этому как субъективные, так и объективные факторы, которые рассматриваются по ходу исследования.

Управленческая деятельность РТП на начальном этапе тушения пожара в ПС осуществляется в условиях неопределенности, и связана с характерными факторами (граничными условиями пожаротушения при тушении пожара в ПС). На сегодняшний день проблема моделирования поиска оптимальной, для конкретной обстановки, численности и состава СЧС, на этапах развития пожара в ПС не решена. Предопределяющие тушение пожара в ПС условия, связанные с численностью и составом СЧС, и их последующее влияние на РТП при осуществлении управленческой деятельности, необходимо рассматривать при моделировании как некоторые случайные величины.

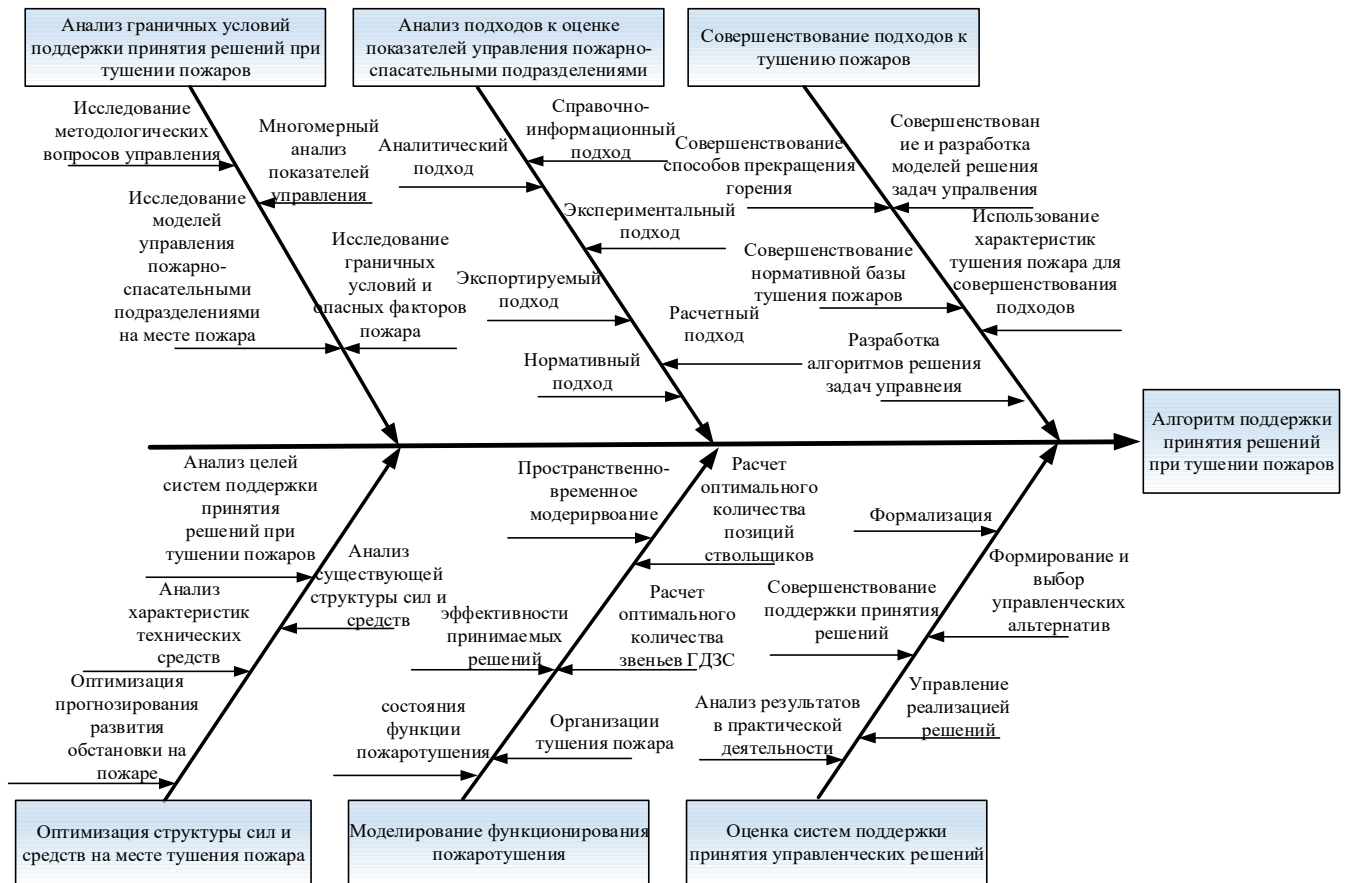


Рисунок 1.7 – Диаграмма анализа разработки алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров

Решение задач управления тушением пожара в ПС обеспечивается посредством надежного и устойчивого функционирования организационной системы пожаротушения в рассматриваемых граничных условиях тушения пожара. Элементы обеспечения данной системы включают в себя следующий кластер подсистем:

- подсистема пожаротушения;
- подсистема научно-технического обеспечения пожаротушения;
- подсистема организации обучения работников для осуществления деятельности по пожаротушению.

Представленный кластер, является кластером, из которого в рамках исследования необходимо выделить подсистемы управления, для определения их параметров и разработки моделей и алгоритмов решения управленческих задач.

Вопрос сбора, обработки и оценки статистики пожаров, информационно-справочной работы, производства системного анализа и учета информации о граничных условиях пожаротушения рассматривается через их параметрические характеристики. Согласно проведенным исследованиям [4, 37, 42, 43, 143, 160, 176] и в соответствии с нормативно-правовыми актами [102, 103, 105-109, 111, 162] выявлены три основных направления совершенствования функционирования организационной системы пожаротушения: комплексная оценка параметров и граничных условий пожаротушения, проведение обоснования ресурсов, необходимых для реализации управленческих решений, на основе комплексной оценки и системный анализ функционирования выбора и формирования наборов управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС.

Функционирование системы на всех этапах характеризуется множеством antecedentных случайных факторов (таких как, невозможность предсказания количества времени для тушения пожара в ПС; состава необходимых сил и средств, а также привлекаемых аварийных служб города и специалистов эксплуатирующих объекты организаций и т.д.). Следовательно, тушение пожара в ПС представляет собой комплексный процесс, производство которого возможно путем разбиения и группировки на функции подсистем (процессов) более низкого (локального) уровня.

Рассмотрение научных аспектов в их взаимной обусловленности, связи с действительными условиями и обстоятельствами, а не в отрыве от этих действительных условий и обстоятельств, имеет коренное значение для движения научного знания. Процессы природы и общества (процессы в организационных системах) всегда находятся в состоянии обновления и развития, где всегда что-то возникает и развивается, что-то разрушается и отживает свой век.

Исходя из диалектического подхода к изучению научных проблем управления в организационных системах, а также исследований [31, 79, 80, 153, 155, 159, 185], целесообразно в проводимом исследовании опираться на системный подход. В исследовании система рассматривается как совокупность объектов (элементов), связанных между собой определенными отношениями и

взаимодействующих таким образом, чтобы обеспечить выполнение системой некоторой достаточно сложной функции (достижение определенной цели). Элементами, характеризующими рассматриваемую систему пожаротушения являются следующие параметры [1, 54]: параметры пожара, такие как, скорость (и направления) развития пожара, температура в объеме ПС, произошедшими взрывами, деформацией и (или) обрушением строительных конструкций, характеристикой и параметрами воздушных потоков при пожаре в ПС, задымлением и другими ОФП, для этого необходимо определить условия их проявления.

Поскольку качественные изменения какой-либо системы совершаются в результате количественного прибавления либо количественного убавления материи или движения, все качественные различия между двумя системами, которые изначально были идентичны, определимы как результаты каких-либо количественных изменений. Развитие пожара и тушение пожара являются суммой различных явлений и процессов, которые взаимосвязаны друг с другом, что в свою очередь дает возможность для проведения количественной оценки тушения пожаров в ПС, в том числе и управленческой деятельности РТП на данных пожарах [50, 58].

Количественная оценка обстановки на пожаре может производиться через оценку и анализ граничных условий пожаротушения. Выделение и формализация количественных факторов, относящихся к каждому из перечисленных элементов, и, исходя из них, проведение качественной оценки действий по тушению пожара, и тем самым создание наиболее благоприятных условий принятия решений для РТП – условий достаточности информации для принятия обоснованного решения, возможно на основе применения вышеописанного подхода. Схема качественной оценки тушения пожара в ПС в граничных условиях пожаротушения представлена на Рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Схема качественной оценки тушения пожаров в ПС в граничных условиях пожаротушения

Согласно исследованию [154]: одним из условий принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС является ранжирование и выбор управленческих альтернатив в рамках риск-ориентированных и многокритериальных моделей, где выбираемые альтернативы управления обуславливают принятие решений лицом, принимающим решения (далее – ЛПР) в целях оптимизации решаемых задач. Так, выявлен ряд факторов (присутствие угрозы людям, присутствие угрозы пожарным подразделениям, наличие маркеров крайней необходимости [53]), по результатам анализа которого и, соответственно, более объемного понимания сложившейся обстановки с учетом сложности условий, в которых происходит решение задач управления ПСП при тушении пожара в ПС, РТП имеет возможность выбрать наиболее адекватную обстановки управленческую альтернативу. Схема реализации условий выбора решений из массива альтернатив при тушении пожара в ПС представлена на Рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 – Схема реализации условий выбора решений из массива альтернатив при тушении пожара в ПС

Данный механизм заключается в применении разработанного авторским коллективом [7] алгоритма ранжирования условий выбора решающего направления (Рисунок 1.10) при тушении пожара в ПС в случае, когда критерии сложившейся обстановки могут быть множеством возможно допустимых вариантов (в граничных условиях пожаротушения). Он позволяет определить тактику ПСП при тушении пожара в ПС, применение которой, оценивается ЛПР как с приемлемым уровнем риска. Таким образом, ранжирование условий выбора решающего направления на пожаре в граничных условиях пожаротушения, присущих процессу управления тушением пожара ПС (в том числе большой протяженности и площади) позволяет повысить точность принятых решений.

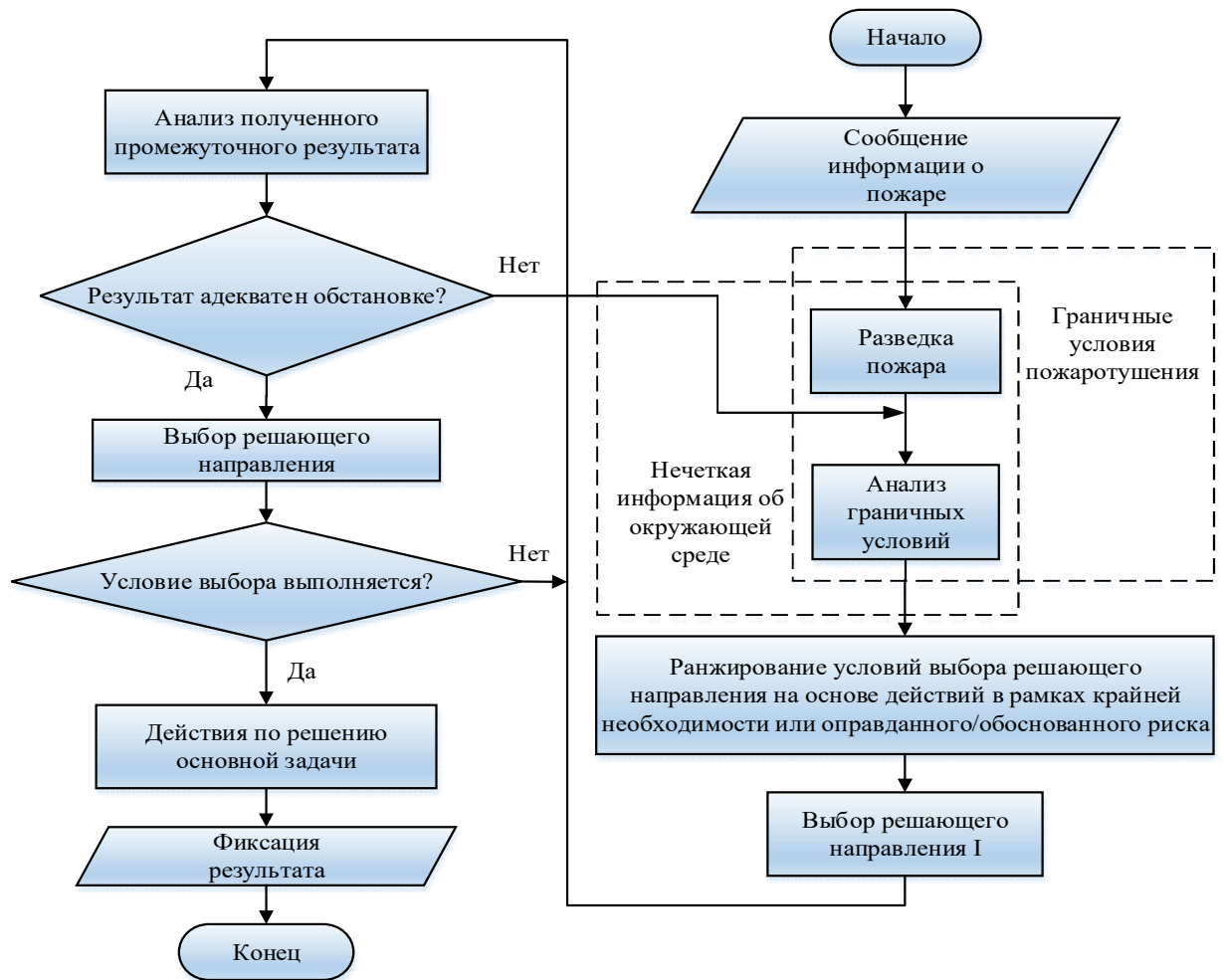


Рисунок 1.10 – Алгоритм ранжирования условий выбора решающего направления

Индикаторами действий в рамках крайней необходимости или обоснованного риска могут служить ряд критериев (маркеров) [7, 53]. На основе особенностей тушения пожаров в ПС такими критериями (маркерами) могут служить:

1. Принятие / непринятие управленческого решения РТП при отсутствии необходимой (достоверной) информации, отражающей сложившуюся обстановку на пожаре.

2. Принятие / непринятие управленческого решения РТП, основываясь на информации, ошибочно отражающей складывающуюся обстановку на пожаре (невозможность адекватно оценить уровень риска, что может повлечь за собой действия в рамках неоправданного риска).

3. Достижение общественно полезной цели, и со стороны, допускающей риск, предприняты меры для предотвращения последствий, прогнозируемых РТП и / или временно сформированным нештатным органом управления тушением пожара.

4. Сознательный допуск травмирования или гибели людей и не предприняты меры для предотвращения последствий (действия совершаются в рамках необоснованного / неоправданного риска).

5. Допуск руководителем «действия наудачу, в надежде на благоприятный исход» имеет основания по определению параметров, непосредственно угрожающих личности (личностям), либо создана опасная ситуация (действия совершаются в рамках необоснованного / неоправданного риска).

6. Допущено нарушение условий достижения общественно полезной цели по решению РТП и / или временно сформированного нештатного органа управления тушением пожара (нет функции связи для передачи и оценки информации).

7. Информация о возможности реализации сценариев угрозы взрыва, воздействия опасных факторов пожара (далее – ОФП), характерных для пожаров в ПС.

8. Не осуществлена приостановка деятельности организаций, находящихся в зонах воздействия ОФП (и / или иных опасных признаков аварий), если приостановка деятельности регламентирована процессом.

9. Не организована связь в зоне пожара с участниками тушения пожара и привлеченными к тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ силами и средствами.

Проведенный анализ показателей управления пожаротушением показал, что вопросы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС и организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на пожаре, на основе анализа граничных условий тушения пожара в ПС, являются неисследованными и их решение является одним из направлений повышения оперативности принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

1.2 Комплексный (ретроспективный) анализ моделей поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров

Необходимость совершенствования и рационализации управления пожарно-спасательными подразделениями толкала многих исследователей к проведению исследований по поиску наиболее эффективных систем поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара. За все время развития пожарной науки разработано и продолжает разрабатываться большое количество моделей и методов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара, призванных осуществить повышение оперативности принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующихся объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

Начиная со времен правления Великого князя Московского Василия II Тёмного, когда реализовывались первые пожарные меры (такие, как правила обращения с открытым огнём, правила топки печей), указа Царя Ивана IV (с 1550 г. противопожарная служба возлагалась на стрелецкое войско) и реформ Всероссийского императора Петра I Великого (в 1722 году при Адмиралтействе была создана первая объектовая пожарная команда), продолжая декретом «Об организации государственных мер борьбы с огнем», подписанным председателем Совета Народных Комиссаров В.И. Лениным 17 апреля 1918 г. и мерами, которые были предприняты Советом Народных Комиссаров для организации профессиональной пожарной охраны (именно в тот период начала активно развиваться пожарная наука, в том числе и в направлении управления ПСП при тушении пожара) происходит развитие пожарной науки [62]. Дальнейшее развитие пожарной науки связано с ростом производительных сил, индустриализацией и развитием экономики страны. На протяжении всей истории пожарной охраны и пожарной науки в частности, наблюдается историческая преемственность, изучение которой позволяет современным исследователям более точно решать поставленные научно-практические задачи.

Исследования в области разработки методов, моделей и алгоритмов решения задач управления тушением пожара, управления пожаротушением в целом, а также разработку методов и систем, направленных на теоретическое и практическое совершенствование процессов принятия решений при организации пожаротушения проводили: Н.Н. Брушлинский [8, 12, 26-30, 101, 114, 142], С.В. Соколов [12, 28, 29, 114], Б.М. Пранов [129], Е.А. Мешалкин [62], Н.Г. Топольский [130, 143], А.Н. Денисов [6, 37, 50, 53, 54, 56-60, 73, 167], А.В. Матюшин [82, 83, 59], В.Л. Семиков [112], А.А. Порошин [59, 82], Д.В. Тараканов [10, 154, 155, 160, 172, 185], В.Б. Коробко [60, 151], Ю.В. Прус [130, 143], А.Н. Членов [101], Я.С. Повзик [118], М.М. Данилов [6, 50, 53-54], В.М. Климовцов [130, 143], К.С. Власов [37], П. Вагнер [8, 12, 28, 29] и др.

Основополагающие методы математического моделирования решения задач управления пожаротушением и функционирования различных аспектов пожаротушения и пожарной охраны в целом начинают применяться с конца 60-х годов XX-го века [114]. Так [27, 30, 65, 60, 142], основными направлениями моделирования в данной области становятся решение задач управления пожаротушением и оптимизация управления ПСП, а также вопросы повышения эффективности взаимодействия и координации как СиС, так и органов управления.

В 1970-х годах Н.М. Евтюшкиным, Н.Н. Брушлинским, Б.М. Прановым проведено моделирование оперативной обстановки как на определенной территории, так и непосредственно в республиках СССР. Было обосновано новое понятие – «оперативная обстановка с пожарами на определенной территории» [142], применение разработанного математического аппарата позволило создавать на его основе модели управления пожаротушением, оперативно-тактических действий ПСП и планирования при тушении пожара.

Известно, что по результатам проведенных работ по исследованию характеристик реагирования ПСП в населённых пунктах различного типа на пожары [26, 83], возможно их описание посредством закона распределения Пуассона и других методов. На основе результатов данных исследований стало возможно построение аналитических моделей оперативной детальности ПСП, а

также проведение дальнейших исследований временных параметров и критериев тушения пожара в различных условиях.

Результатами исследований оперативной обстановки и времени реагирования на пожары ПСП [27, 49, 83, 133, 134, 142] стало применение показательного закона распределения при моделировании времени занятости ПСП, формирование модели оперативной деятельности пожарной службы, а также модели обоснования дислокации ПСП, основываясь на ресурсно-временном подходе.

В работах [2, 82, 94] проанализированы корреляции последствий пожара от времени следования к месту пожара, которые показали социально-экономическую целесообразность комплекса мер, направленных на оптимизацию времени следования. На сегодняшний день вопросу оптимизации управления размещением пожарной техники для повышения эффективности ее использования посвящено достаточно много работ.

Н.А. Тарасов–Агалаков и Н.П. Андреев, Н.Н. Брушлинский и Н.А. Стрельчук предложили двухэтапное решение задачи дислокации пожарно-спасательных частей (далее – ПСЧ), которое реализуется при использовании методов теории массового обслуживания для определения необходимого количества ПСЧ для расчетной модели и методов математического имитационного моделирования для формирования карты их размещения исходя из ресурсно-временных параметров и оперативной обстановки с пожарами [157]. А.А. Порошиным и Ю.А. Матюшиным предложен подход по определению мест дислокации ПСП в городах и сельских поселениях на основе анализа целей выезда дежурных караулов, а также перспектив формирования стратегии оптимизации пожарно-спасательного гарнизона, и обоснованию временных параметров следования ПСП к месту вызова [82].

Б.М. Пранов предложил использование линейного программирования с большим числом переменных для решение задач поиска оптимальной дислокации ПСЧ [129]. Г.И. Абдурагимов разработал решение задачи оптимизации районов выезда ПСЧ и критерии данной оптимизации на основе проведенного анализа

времени прибытия на место пожара первых ПСП, которые представлены значениями среднего времени прибытия ПСП по городу для каждого объекта пожара с присвоением «весовых» коэффициентов данных объектов по их пожарной опасности и социальной значимости [2].

А.В. Матюшин и А.А. Порошин решили задачу оптимизации функционирования пожарно-спасательного гарнизона, связанную с проведением тушения пожара и минимизации времени прибытия ПСП на место пожара, по средствам моделирования взаимосвязи между ресурсными параметрами и местами расположения ПСП, а также с учетом параметров противопожарной защиты объектов [59, 82].

Дальнейшее развитие научных подходов в управлении пожаротушением является разработка А.Н. Денисовым методов поддержки управления ПСП на месте пожара, локализации и ликвидации пожара ПСП, сочетающий качественные и количественные условия, формализации и постановки задач управления, распределения задач при принятии решений при тушении пожара, обоснования коэффициентов и критериев оценки эффективности решения данных задач, а также моделей поддержки управления пожаротушением мобильными средствами, представленных в виде множества сетей Петри и с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений [37, 56, 167].

Исследования, посвященные вопросам взаимодействия ПСП с аварийными службами города [156] и организациями, эксплуатирующими объект, на котором произошёл пожар. Так, в [91] определена связь между качеством установленного взаимодействия на месте пожара и количественными временными параметрами развития пожара на примере взаимодействия подразделений ФПС МЧС России и подразделений Федеральной службы войск национальной гвардии России.

Одной из существующих моделей поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара является система предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ. Документы предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ позволяют получить дополнительные

знания о возможной сложившейся обстановке на пожаре, что упрощает деятельность руководителя тушения пожара и позволяет более точно выбрать необходимую тактику тушения пожара.

Данная система используется подразделениями пожарной охраны, что говорит о ее продуктивности, однако стоит отметить, что она обладает некоторыми недостатками:

отработанная в плане типовая ситуация с высокой вероятностью отличается от боевой;

при учете большого количество данных при тушении пожара увеличивается время поиска необходимой информации;

необходимость периодической корректировки плана (устаревание данных) [56], существует вероятность, что план не будет отображать действительность.

Таким образом система предварительного планирования является универсальным, но не позволяющим предусмотреть расширенные группы сценариев развития и тушения пожара, средством. Необходим пересмотр системы в сторону дополнения гибкими и приспособляемыми под конкретные обстановки на пожаре, алгоритмами поддержки принятия решений РТП, которые в тоже время будут обладать компактностью и многоадресностью.

Также в деятельности пожарных подразделений применяются разработанные информационно-технических системы и комплексы поддержки принятия решений. Различного рода автоматизированные системы открывают широкие возможности для повышения эффективности принятых РТП управленческих решений.

Такие системы разрабатывались В.М. Климовцовым («Определение ранга пожара в административных и жилых зданиях»), К.С. Власовым («Оценка ОТД» и «Совмещенный график»), Б.Б. Гринченко («Программный комплекс для поддержки управления безопасностью»), В.Д. Федяевым («Программный комплекс по определению параметров подачи огнетушащих составов при тушении пожара на объектах энергетики»), а также другими исследователями, данные системы позволяют сократить время принятия решений в каждой конкретной обстановке и, тем самым, повысить эффективность деятельности РТП.

Данные системы помимо указанных преимуществ имеют ряд недостатков, к таким недостаткам можно отнести необходимость использования автоматизированного рабочего места (далее – АРМ), что требует повышения финансовых затрат на приобретение АРМ и на обучение РТП работе с данным массивом программных комплексов. Также программные комплексы поддержки принятия решений требуют постоянной их актуализации под непрерывно развивающиеся информационные и технические базы.

Таким образом, исходя из проведенного комплексного анализа, разработанные информационно-технические системы и комплексы являются эффективными решениями, при определенных сложившихся условиях, но их универсальность и гибкость не позволяют реализовать их массовое внедрение в деятельность пожарно-спасательных подразделений.

Вопрос функционального моделирования для качественной и количественной оценки процессов организации тушения пожара в метрополитене рассматривался в [66]. Вопрос оснащения ПСП, осуществляющих тушение пожара рассматривался в [117], была разработана методика расчета количества средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения при работе в непригодной для дыхания среде для оснащения подразделений, привлекаемых к тушению пожаров в метрополитене г. Минск, Республика Беларусь. Данный анализ выявил ряд проблемных вопросов по оснащению подразделений необходимым количеством изолирующих дыхательных аппаратов.

Исследования показали, что применение автоматических установок газового пожаротушения (АУГП) при защите кабельных коллекторов и тоннелей способствует росту воздействия ОФП на людей, применение порошковых огнетушащих средств малоэффективно ввиду высокой вероятности повторного возгорания. Применение тонкораспыленной воды высокого давления в установках пожаротушения позволяет существенно снизить опасность задымления для пассажиров, обеспечить дымоосаждение и создать условия для работы ПСП [63, 131]. Данные сценарии необходимо учитывать, как возможные граничные условия при реализации РТП управленческих решений на месте пожара.

Вопросы решения задач управления тушением пожаров в ПС и разработки моделей, направленных на совершенствование пожаротушения в ПС рассматривались не только в Российской Федерации и Республике Беларусь, но и в других странах, исследователями из Германии (П. Вагнер [8, 12, 28, 29], Д. Хане, С. Рем [179], Д. Брейн, Г. Шрёдер [183]), Швеции (А. Пальм, М. Кумм, А. Сторм, А. Лённермар [182]), Китая (С. Ву, С. Чжан, И. Цзян, С. Хуанг [190, 191], Д.Г.К. Хуанг [188], Б. Сун [184], Ф. Ян, С. Цянь, П. Хуанг [189]), Греции (А. Каллианиотис, Д. Папаконстантину, И.Т. Толиас, А. Бенардос [180]), Египта (М.М. Барсим, М.А. Бассили, Х.М. Эль-Батш, Я.А. Рихан, М. Шериф [177]).

В статье [182] проведен анализ данных о потреблении воздуха при дыхании в СИЗОД среди пожарных во время полномасштабных испытаний, проведенных в шахте «Tistbrottet» в Швеции в 2013 году. По результатам проведенного исследования, наличие у членов звена ГЗДС воздуха в дыхательных аппаратах является «критическим тактическим фактором» тушения пожаров на подземных объектах. Результаты проведенного в рамках исследования тестирования показали, что на расход воздуха влияют методы, оборудование и рабочая нагрузка. Согласно данной работы можно сделать вывод, что граничные условия, возникающие при решении задачи управления звеньями ГЗДС определяются как параметрами окружающей среды, так и рабочей нагрузкой на каждого из членов звена.

В [179] рассматривается вопрос спасения пассажиров с ограниченной подвижностью на станциях метрополитена, испытания проводились в г. Мюнхен, Германия. По результатам эксперимента было выявлено, что при наличии на станциях метрополитена людей с ограниченными возможностями у прибывших ПСП могут возникнуть затруднения при проведении спасения этой группы пассажиров со станций. Реализацию данного граничного условия необходимо учитывать при проведении предварительной оценки альтернатив управления тушением пожара в сооружениях метрополитенов.

Вопрос сбора и передачи информации в тоннеле рассматривался в [188], по результатам исследования было показано, что внедрение современных технологий по сбору, обработке и передаче сведений об окружающей среде на базе

искусственного интеллекта позволяет сократить время и увеличить точность обнаружения пожара в ПС при управлении эвакуацией людей и тушением пожара в ПС. Но стоит отметить, что внедрение такого рода систем является превентивным мероприятием непосредственно на объектах защиты, что существенно повышает стоимость и время на их реализацию.

В работе [184] представлен разработанный алгоритм прогнозирования зависимости температуры пожара в подземном сооружении от времени. Данный алгоритм позволяет корректировать данные расчетной модели адаптивно, с течением времени, что позволяет установить граничные условия управления тушением пожара в ПС с более близким приближением к фактической обстановке. Алгоритм применим как в реализации превентивных мероприятий, направленных на снижение пожарной опасности при проектировании и строительстве, так и при предварительном планировании действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ в рассматриваемых структурах.

Разработанная на основе реляционного анализа Грея модель [189] применима при прогнозировании сценариев развития пожара в ПС, как при оценке результатов тушения пожара, так и при разработке управленческих альтернатив для повышения готовности ПСП на тренировках и учениях. Для исследования пожарной безопасности подземных сооружений были проанализированы опасные факторы пожара, на основании чего была создана система оценки, включающая четыре основных показателя (противопожарное состояние, готовность систем пожаротушения и т.д.).

В работе [180] представлено исследование распространения дыма от пожара с учетом использования и эффективности методов снижения дыма. Произведено моделирование различных сценариев пожара на основе конкретных характеристик подземного пространства, результатами которого является метод оценки, характеризующийся возможностью прогнозирования влияния устройства системы противодымной защиты на формирование условий действий ПСП внутри ПС.

В работе [177] исследовано влияние параметров воздушного потока при работе импульсной системы вентиляции на действия ПСП при тушении пожаров в таком типе ПС, как на подземные автостоянки.

Исследования [190, 191] демонстрируют осуществимость модели на базе искусственного интеллекта (машинного обучения с помощью базы данных) для определения и прогнозирования быстро меняющихся сценариев пожара внутри туннеля в интеллектуальных методах пожаротушения.

Предложенные модели «имитационной эргономической оценки пожарно-оперативного обслуживания на станциях метрополитена» [25], согласно исследованию, проведенном в метрополитене г. Харьков позволяют повысить эффективность работы «звеньев ГДЗС на 15–20 % и уменьшить время тушения пожара на начальном этапе на 20–30 %». Однако, следует отметить, что данные модели экспериментальны и не нашли широкого применения ПСП.

Также стоит учитывать, что при тушении пожара в ПС возможность получения ПСП достаточного (дополнительного) количества информации снижена. К моменту необходимости выбора управленческой альтернативы по определению решающего направления на пожаре, лицу, принимающему решение необходимо применять алгоритм ранжирования условий решающего направления на пожаре. В процессе управления ПСП при тушении пожара в ПС предложено использовать последовательное ранжирование условий выбора решающего направления в неопределенных граничных условиях, в случае, когда критерии сложившейся обстановки есть множество возможных вариантов (граничных условий), что позволяет выбрать управленческую альтернативу с приемлемым уровнем риска из имеющегося, в результате анализа, набора альтернатив.

Согласно работе [6] на железнодорожном транспорте применим алгоритм сращивания (наращивания) рукавов высокого давления, при работе в железнодорожных тоннелях, или иных протяженных подземных структурах, с протяженностью маршрута до очага пожара в пределах 120 метрах. Применение ствола и рукавной линии высокого давления позволит повысить маневренность звена ГДЗС при работе в непригодной для дыхания среде.

Разработанная авторским коллективом [52, 65] система поддержки принятия решений (далее – СППР), характеризуется универсальностью применения. Математическое обоснование расчетных сценариев при тушении пожара основывается на математическом аппарате гидравлики. Теоретической основой процесса истечения жидкости из пожарных стволов являются зависимости 1.1–1.4, полученные при изучении опорожнения резервуаров, а также результаты исследования различных видов насадок (присоединенных к отверстию в стенке труб, длина которых составляет два-пять внутренних диаметров) на скорость истечения и расход жидкости [158]:

$$v_H = \varphi_H \sqrt{2gH_H}, \quad (1.1)$$

где v_H – скорость истечения из насадка, м/с;

φ_H – коэффициент скорости насадка;

H_H – напор на входе в насадок, м. в. с.

$$q_H = \mu_H \omega_H \sqrt{2gH_H}, \quad (1.2)$$

где q_H – расход жидкости из насадка пожарного ствола, м³/с;

μ_H – коэффициент расхода насадка;

ω_H – площадь конечного сечения насадка, м².

$$\omega_c = \varepsilon_H \omega_H, \quad (1.3)$$

где ω_c – площадь струи в сжатом сечении, м²;

ε_H – коэффициент сжатия струи [9].

$$\mu_H = \varepsilon_H \varphi_H. \quad (1.4)$$

Был проведен эксперимент [52, 65], по итогам которого был сформирован сравнительный анализ времени принятия решения с помощью аналитического решения по расчету насосно-рукавных систем, системы, определяющей управленческое решение CS (Control System), разработанной на кафедре пожарной тактики и службы Академии ГПС МЧС России, и СППР, сходимость результатов моделирования представлены на Рисунке 1.11.

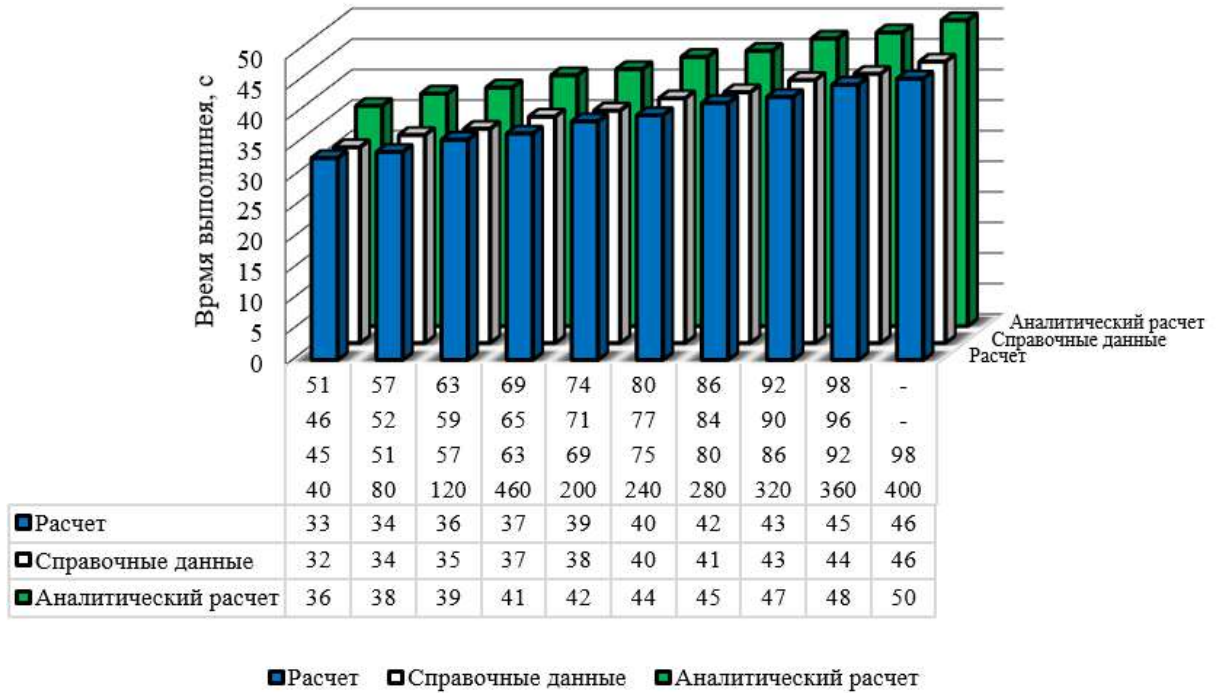


Рисунок 1.11 – Сходимость результатов моделирования

Аналитический расчет по идентичным параметрам производится по формулам (1.5–1.8):

$$H_{\text{н}}^{\text{ТР}} = n_{\text{м.л.}} \cdot S_{\text{м.л.}} \cdot Q_{\text{м.л.}}^2 + \Delta h_{\text{разв}} + n_{\text{р}} \cdot S_{\text{р}} \cdot q_{\text{ств}}^2 + H_{\text{ств}} + Z_{\text{ств}}, \quad (1.5)$$

где $H_{\text{н}}^{\text{ТР}}$ – требуемый напор на насосе пожарного автомобиля, м. в. с;

$n_{\text{м.л.}}$ и $n_{\text{р}}$ – число рукавов в магистральной и рабочей линии соответственно, ед;

$S_{\text{м.л.}}$ и $S_{\text{р}}$ – сопротивление одного рукава магистральной или рабочей линии;

$Q_{\text{м.л.}}$ – расход огнетушащего вещества по наиболее нагруженной магистральной линии пожарного автомобиля, л /с;

$\Delta h_{\text{разв}}$ – потери напора на разветвлении, м. в. с;

$H_{\text{ств}}$ – напор на пожарном стволе, м. в. с;

$Z_{\text{ств}}$ – перепад высот между позицией ствольщика и местом пожара, м.

$$n_{\text{р}} = \frac{k \cdot L}{l_{\text{р}}}, \quad (1.6)$$

где k – коэффициент, учитывающий неровности местности для прокладки рукавных линий, $k = 1,2$;

L – расстояние от водосточника до места пожара, м;

$l_{\text{р}}$ – длина одного пожарного рукава, м.

$$Q_{max} = \frac{\Delta H}{S_{м.л.} \cdot n_{м.л.}}, \quad (1.7)$$

где ΔH – фактический напор в рукавной системе, м. в. с.

$$\Delta H = H_n - (H_c + Z + 0.17Y), \quad (1.8)$$

где H_n – напор на пожарном насосе, м;

H_c – напор на пожарном стволе, м;

Z – высота подъема, м;

Y – угол уклона поверхности, град.

Комплекс задач управления пожаротушением, которые необходимо решить при организации подачи воды для целей пожаротушения, решается посредством применения СППР, где каждый этап занимает известное время на анализ окружающей обстановки и выработку управленческого решения.

Данный принцип достигается посредством реализации этапов, выполнение которых обеспечивает система: определение сил и средств, параметров управления при решении задач перекачки воды из насоса в насос, подвоза воды к месту пожара и условий их реализации, подачи воды для целей пожаротушения в зависимости от расстояния (1.9), высоты подъема приборов пожаротушения, характеристик насосно-рукавной системы, и граничных условий пожаротушения ее применения, забора воды из открытого водоисточника в зависимости от рельефных параметров и характеристик пожарного насоса, подачи воды для целей пожаротушения ручными пожарными стволами.

$$L = \left(\frac{H_n - (H_p + Z_m)}{S_{рук} \cdot Q^2} \right), \quad (1.9)$$

где H_n - напор на насосе, м. в. с;

H_p - потери напора на разветвлении м. в. ст.;

Z_m - высота подачи огнетушащего вещества, м;

$S_{рук}$ - сопротивление пожарного рукава;

Q – расход воды, л/с.

Полученные в результате реализации, описанных выше этапов, характеристики Q-L насосно-рукавных систем представлены на Рисунке 1.12.

Одним из главных условий применения данной системы является интуитивно понятный интерфейс, который рассчитан на поддержку принятия решений РТП в кратчайшие сроки. Так же данная система является малогабаритной, что позволяет использовать её без затруднения в штабах пожаротушения или на основных пожарных автомобилях, не требуется автоматизированное рабочее место для использования СППР. Личный состав подразделений пожарной охраны, который будет использовать данную систему может научиться ей пользоваться, прочитав руководство по эксплуатации, так же разработанное в рамках научно-практического исследования СППР при тушении пожаров. Так же данную систему возможно использовать при обучении личного состава пожарной охраны в высших учебных заведениях, центрах подготовки, учебных заведениях среднего профессионального образования.

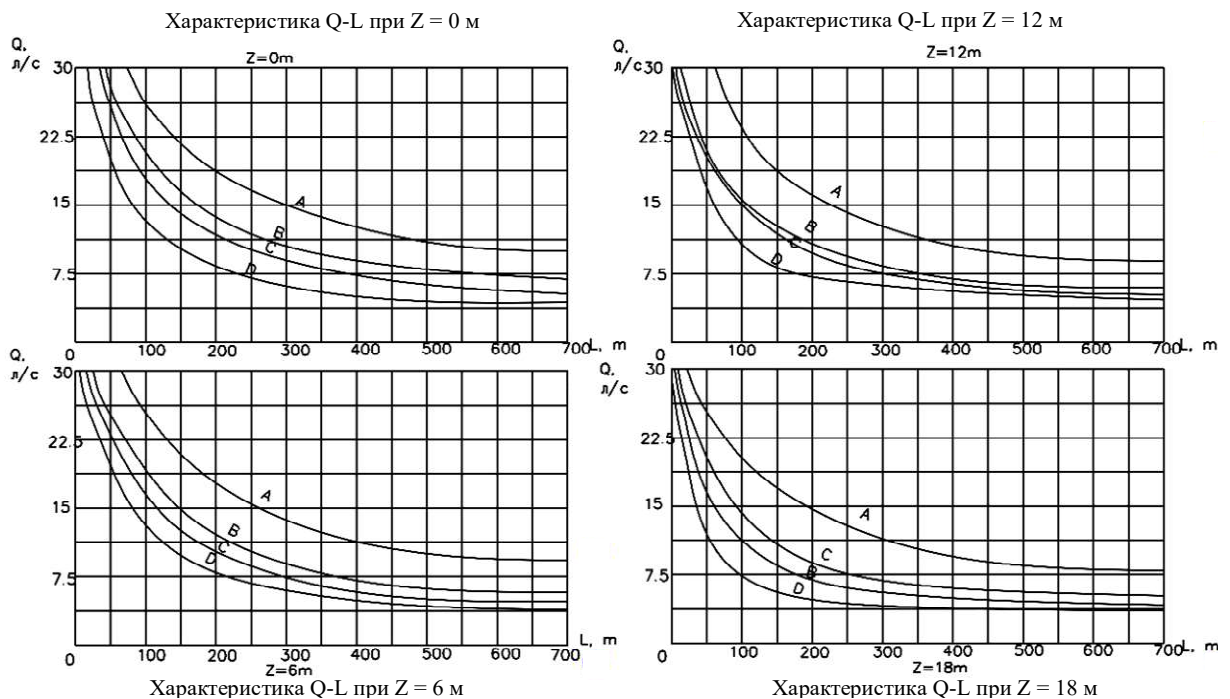


Рисунок 1.12 – Характеристики Q-L насосно-рукавных систем. Q – расход воды, L – расстояние подачи воды, Z – высота подъема. А – Подача воды от автоцистерны пожарной (далее – АЦ), установленной на гидрант через разветвление трехходовое пожарное (далее – РТ) РТ – 80; В- Подача воды от АЦ, установленной на открытый водоем через РТ – 80; С - Подача воды от АЦ, установленной на гидрант через РТ – 70; D – Подача воды от АЦ, установленной на открытый водоем через РТ – 70 [53]

Научное обеспечение применения информационных технологий на этапах жизненного цикла средств информатизации пожаротушения представляется тремя этапами: этапа создания средств информатизации, этапа внедрения разработанных средств и этапа практического использования. И анализируя содержание этапов, можно принять заключение, что существуют группы проблем, определяющих весь облик исследования системы пожаротушения.

Таким образом современные технологии [112], в том числе и видеотехнологии [101], оказывают влияние на формирование граничных условий при тушении пожара, и их комплексный анализ позволяет создать массив альтернатив управления, учет которых приведет к наиболее эффективному принятию решений РТП.

Так, на основе проведенного анализа можно сделать вывод, что научные публикации и работы по теме проводимого диссертационного исследования за прошедшие 10 лет отсутствуют. Вопросы повышения оперативности принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС ранее не рассматривались.

Тушение пожара в ПС характеризуется рядом особенностей, относящихся к управлению ПСП, организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

1.3 Выводы по первой главе

Исследование вопросов управления в организационной системе пожаротушения – широкоспекторный и многомерный пласт научного знания. По результатам проведенных комплексного анализа показателей управления пожаротушением в ПС и комплексного (ретроспективного) анализа моделей поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара можно сделать следующие выводы.

1. Использование современных моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара позволяет принимать научно-обоснованные решения с приемлемым уровнем риска, для каждой сложившейся обстановки на пожаре, что способствует снижению субъективности принятых решений и повышению оперативности принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующихся объектов организаций при тушении пожаров в ПС. Однако, модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС ранее не разрабатывались.

2. Идентифицированные параметры граничных условий при тушении пожаров в ПС и их разделение на две принципиальные группы, позволяют провести исследование процесса пожаротушения на данного рода объектах и разработать модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС на основе полученных данных.

3. Определены критерии действий в рамках крайней необходимости или обоснованного риска при тушении пожара в ПС.

Предполагается, что результативность оценки тушения пожара в ПС, может быть повышена посредством её осуществления с учетом граничных условий пожаротушения. Это позволит создать наиболее благоприятные условия принятия решений для РТП – условия достаточности информации для принятия обоснованного решения. Данный подход будет рассмотрен и использован при разработке моделей в главе 2.

4. Вопросы поддержки управления ПСП при тушении пожара и организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующихся объектов организаций при тушении пожара в ПС на основе анализа граничных условий тушения пожара являются неисследованными. Их решение позволит решить задачи управления ПСП и взаимодействием с аварийными службами города и эксплуатирующихся объектов организаций, при тушении пожаров в ПС.

Роль современных научных и инженерно-технических решений в области пожарной науки высока. Их применение и внедрение доказывает эффективность и

перспективность разработки новых решений. Анализ существующих методов, моделей и алгоритмов показал историческую преемственность и многомерность проводимых исследований по теме управления в организационной системе пожаротушения. Однако за последние 10 лет не проведены научные исследования и не разработаны данные решения в области исследуемой темы, существует необходимость разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС.

5. Таким образом, поставлена задача исследования:

разработать модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП;

разработать иерархическую модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС;

разработать алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в ПС;

разработать алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ.

Рост объема информации, которая поступает РТП в процессе его деятельности, широта спектра решаемых задач ПСП при тушении пожара, необходимость учитывать ограниченные временные факторы процесса пожаротушения в ПС и непрерывно меняющаяся обстановка свидетельствуют об актуальности решения задачи разработки и внедрения новых моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС в систему управления ПСП. Результатом является формализация условий, влияющих на управленческую деятельность лица, принимающего решения при тушении пожара в ПС, получение набора альтернатив управления при тушении пожаров в ПС, а также выработку управленческих решений и определения целей при решении возложенной на ПСП основной боевой задачи.

На основе моделирования создается возможность формализованного описания основной боевой задачи и ее математической разработки. Разработанная модель описывает, с необходимой для принятия решения полнотой, взаимодействие организационных структур пожаротушения, однако, для нахождения наилучшего решения из имеющегося массива, целесообразно разработать алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС [52].

Так, математическая разработка сводится к модели поддержки принятия управленческих решений с целью рассмотрения на единой основе многочисленных условий выбора, установления связей при общей постановке задач принятия решений. Целесообразно использовать структурно-математический подход, позволяющий проводить математическую выборку структуры поиска альтернатив управления в интуитивно приспособленном к восприятию виде. Данный подход (математическая структура) характеризуется гибкостью и масштабируемостью при

описании поставленной задачи при принятии решений, в зависимости от того, каким образом заданы условия и элементы.

Для реализации разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при управлении пожарно-спасательными подразделениями и организации взаимодействия ПСП с аварийными службами эксплуатирующих объекты организаций и города при тушении пожаров на месте пожара в ПС в граничных условиях пожаротушения необходимо рассмотреть параметры и условия, сопутствующие процессу выработки и реализации РТП управленческих решений:

1. Условия принятия решений при управлении ПСП на месте пожара в ПС.
2. Параметры пожара в ПС.
3. Параметры воздушного потока при пожарах в тоннелях рассматриваемых сооружений.
4. Параметры противодымной защиты и защиты от ОФП участников тушения пожара в тоннелях и зависимость обстановки на пожаре от вентиляционных режимов.
5. Параметры вентиляционного оборудования при возникновении пожара, влияющие на управление ПСП при пожарах в ПС.
6. Особенности управления тушением пожара, а также управленческой деятельности РТП при пожаре в ПС.
7. Особенности взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при пожаре в ПС.

В первом параграфе второй главы проведен анализ параметров и условий, учитываемых РТП при проведении оценки обстановки при решении задач управления ПСП, осуществляющими тушение пожаров в ПС в граничных условиях пожаротушения. Разработаны модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП и иерархическая модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в ПС.

Во втором параграфе второй главы разработан алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в ПС.

В третьем параграфе второй главы описан разработанный алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара.

В четвертом параграфе второй главы сделаны выводы по результатам разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС.

2.1 Разработка моделей поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров и организации взаимодействия на месте пожара в подземных сооружениях

2.1.1 Влияние параметров пожара в подземных сооружениях на действия пожарно-спасательных подразделений

Влияние граничных условий пожаротушения на принятие управленческих решений руководителем тушения пожара является определяющим аспектом, анализ которого позволяет выработать верное решение при решении управленческих задач.

В целях разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС и организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций, необходимо рассмотреть параметры пожара в ПС на примере подземных коммуникаций высокой протяжённости и площади, устойчивость воздушного потока в тоннелях при пожаре, параметры противодымной защиты

тоннелей и влияния вентиляционных режимов на складывание обстановки в аварийном тоннеле.

РТП (или оперативный штаб на месте пожара) при анализе и выработке управленческих альтернатив работает на четко определенной территории (зона тушения пожара) и в определенно сложившейся окружающей среде, которая является местом тушения пожара в ПС. Исходя из анализа показателей управления пожаротушением в сооружениях большой протяженности и площади, проведенного в Главе 1, прослеживается связь обстановки и управленческой деятельности РТП (процесс решения задач управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожара в ПС и организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций при тушении пожаров в ПС) через существование известной выборки альтернатив управленческих решений и принятие одной из альтернатив из данной выборки (количественное воздействие на окружающую среду для получения качественного изменения обстановки). Как показано на Рисунке 2.1, взаимодействие руководителя тушения пожара со сложившейся на пожаре обстановкой (окружающей средой) приводит к изменению обстановки в момент времени.

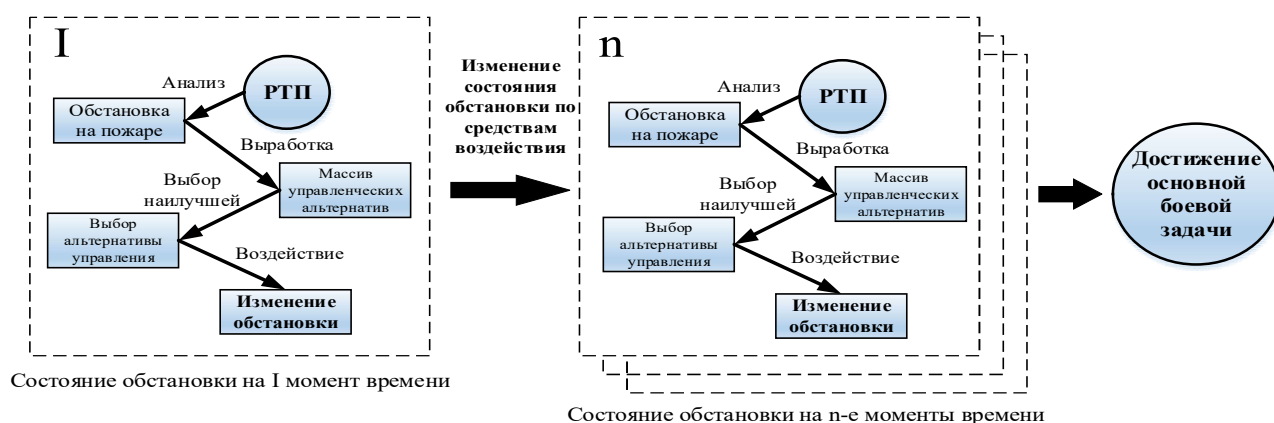


Рисунок 2.1 – Взаимодействие руководителя тушения пожара (количественное воздействие) со сложившейся на пожаре обстановкой (окружающей средой)

Так, при тушении пожара в ПС пожарно-спасательными подразделениями, основным признаком складывающейся обстановки является пожар и созданные им условия управления его тушением. Поэтому, представляется целесообразным

рассмотреть методологические вопросы структуры решения задач управления тушением пожара в ПС и управления силами и средствами привлекаемых подразделений, а также взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующих данные объекты организаций и параметры пожаров в ПС на примере метрополитенов.

Пожары в ПС и условия их тушения характеризуются особенностями, которые имеют прямое и косвенное влияния на управленческую деятельность РТП. Так, необходимо подробно рассмотреть параметры устойчивости воздушного потока при пожаре на примере общеизвестных ПС, таких как метрополитены; параметры противодымной защиты тоннелей и влияния вентиляционных режимов на складывание обстановки в аварийном тоннеле и параметры вентиляционного оборудования при возникновении пожара, которые могут влиять на управленческую деятельность РТП, как граничные условия.

Устойчивостью теплового потока [168] является способность выдерживать им вектор направленности в среде воздействия обратно действующих факторов. Факторами, влияющими на стабильность воздушного потока в условиях пожара являются: тепловая депрессия, возникающая при пожарах в ПС, напоры, вызванные поршневым эффектом движения состава (для метрополитенов), режим работы вентиляционных установок.

При рассмотрении параметров устойчивости воздушного потока в тоннелях при пожаре необходимо рассмотреть температурный режим газового потока. Согласно исследований процессов тепломассопереноса в газовой среде тоннелей ПС [69], причиной опрокидывания вентиляционной струи и распространения газов и дыма на путях эвакуации, проведения боевого развертывания и ввода сил и средств ПСП является воздействие тепловых факторов пожара (далее – ТФП), включающих в себя источники тяги, появляющиеся при пожаре, и тепловое сопротивление поверхностей ПС.

Стоит учитывать, что при пожаре в таких ПС, как перегонные тоннели метрополитена, системы противодымной защиты не предусматривают согласованную работу вентиляторов дымоудаления и компенсационного подпора воздуха относительно точки возникновения пожара. Исходя из результатов

исследования [166] зависимость ТФП от температуры окружающей среды при пожаре в ПС характеризуется температурой непосредственно в зоне очага пожара, а также аэродинамическими характеристиками вентиляционных потоков.

Исходя из модели процессы «теплопереноса в газовой среде тоннеля и массиве ограждающих конструкций они рассматриваются в системе координат» [166], как показано на геометрической характеристике ПС линейной конфигурации при возникновении горения (Рисунок 2.2), где G_1-G_4 направления воздушных потоков, L_1 и L_3 – участки тоннеля ввода звеньев ГДЗС для ликвидации очага пожара на участке L_2 , x_i – расстояние от оси сечения тоннеля до верхней плоскости сечения.

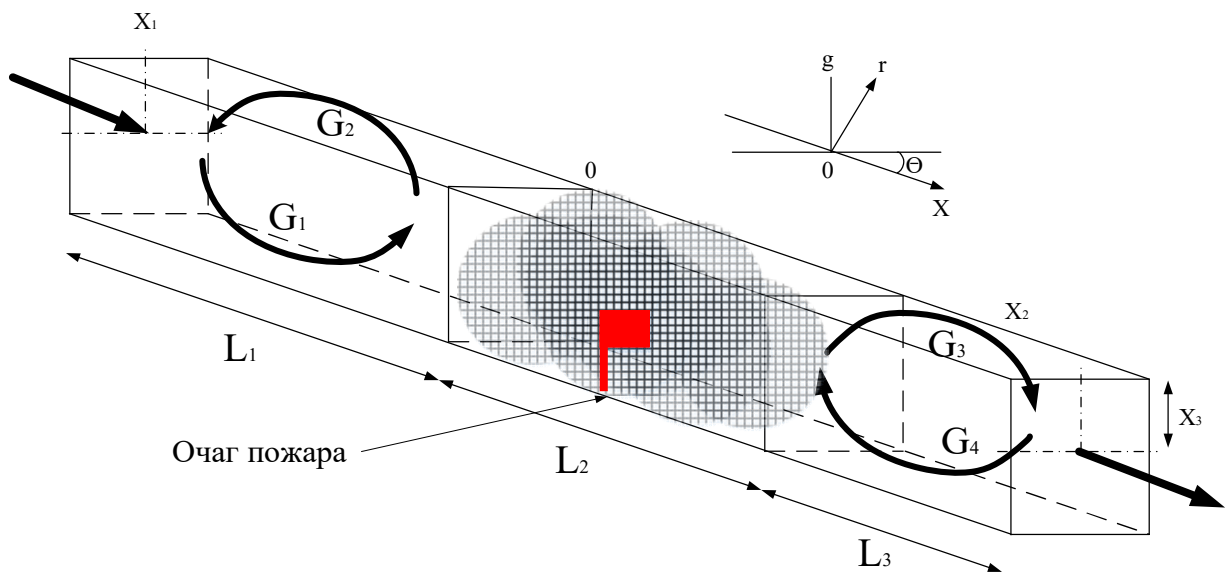


Рисунок 2.2 – Геометрическая характеристика подземного сооружения линейной конфигурации при возникновении горения

Также стоит отметить, что при пожарах на горизонтальных участках перегонных тоннелей увеличивается аэродинамическое сопротивление тоннеля, что способствует возможной реализации сценария рециркулирующих потоков.

Длина тоннелей, значительно превышающая их диаметр, гравитационные силы, возникающие ввиду неравномерности распределения плотности газовой среды, конвективные эффекты и разность давлений на всем протяжении линейной

части тоннеля, приводят к расслоению воздушных потоков на два направления: тёплый, под сводом тоннеля, и холодный, у его основания [140].

В тоннелях, в зависимости от конфигурации вентиляционных схем, при пожаре возможна реализация сценария действия критической тепловой депрессии. Тепловая депрессия – процесс опрокидывания вентиляционной струи, то есть инверсия направления движения газов на противоположный первоначальному [68].

При ликвидации пожара в тоннеле вентиляция играет решающую роль. Основным элементом системы противодымной защиты (далее – СПДЗ) является аварийный режим работы вентиляционных систем по организации устойчивого воздушного потока [146].

Исходя из исследования [168], для подземных сооружений метрополитенов существуют воздействия на воздушную среду в объеме тоннеля (перегона, ветви и т.д.), в котором возник пожар посредством движения в параллельном и последовательном направлениях поездов. Основные параметры, влияющие на характеристики воздушных потоков в данном случае, являются скорости поезда и воздушной среды относительно друг друга.

При рассмотрении параметров СПДЗ ПС и воздействия вентиляционных режимов на обстановку на аварийном участке, следует отметить, что ПС, в частности метрополитены, представляют собой сложную сетевую структуру с множеством соединений между перегонными тоннелями как по вертикали, так и по горизонтали. В отличие от обычных тоннелей (автодорожных, коллекторов коммуникаций и т.д.), где присутствует движение воздушных потоков только в двух направлениях, система воздушных потоков в метро имеет большую сложность и вариативность, что оказывает влияние на количество возможных альтернатив по выбору путей работы звеньев ГДЗС и эвакуации людей из зоны пожара.

Стоит также учитывать, что в метро воздушные потоки имеют сложную структуру с разнообразными изменениями в пространстве и времени. Помимо воздушных потоков, связанных с движением поездов и работой вентиляционных систем, в тоннелях метро наблюдаются основные и фоновые воздушные потоки, которые не зависят от движения поездов.

В работе [3] проведено изучение изменения температуры газовой смеси в тоннеле при развитии пожара. Предполагается, что до возникновения пожара в тоннеле циркулировал воздух с постоянной температурой. Температура окружающих поверхностей, которая влияет на температуру пожарных газов, принимается равной температуре воздуха до пожара. Исходя из этого, можно сделать вывод о предполагаемой температуре газов при работе звеньев газодымозащитной службы, согласно изменения температуры газов в объеме подземного сооружения при пожаре от времени начала пожара и расстояния до очага пожара (Рисунок 2.3).

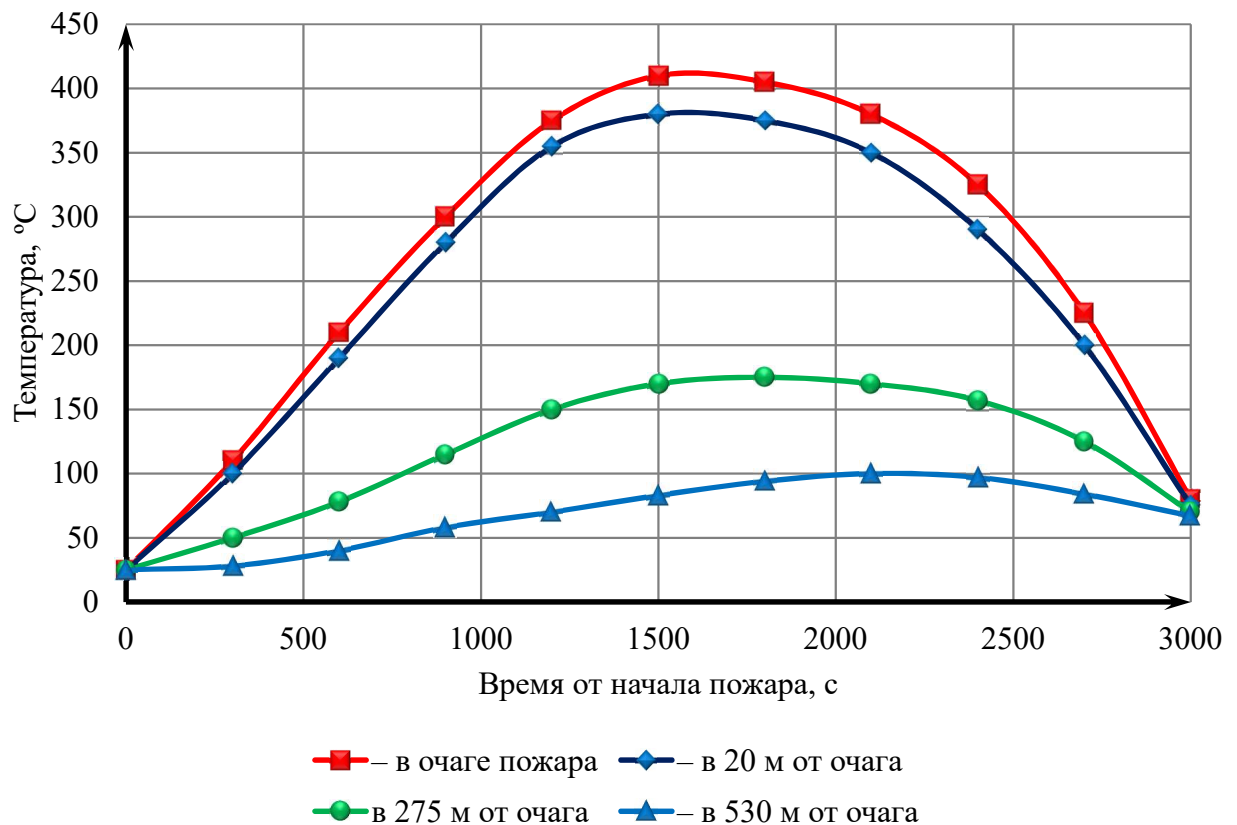


Рисунок 2.3 – Изменение температуры газов в объеме подземного сооружения при пожаре от времени начала пожара и расстояния до очага пожара

РТП необходимо учитывать температуру продуктов горения в объеме сооружения при подготовке управленческого решения по направлению введения сил и средств на поиск очага пожара, его локализации и ликвидации. На Рисунке 2.4 представлен алгоритм оценки применимости средств индивидуальной защиты пожарных при тушении пожара в ПС, на основе которого производится

определение наиболее подходящих, в рассматриваемой окружающей обстановке и граничных условий пожаротушения на пожаре в ПС, средств защиты.

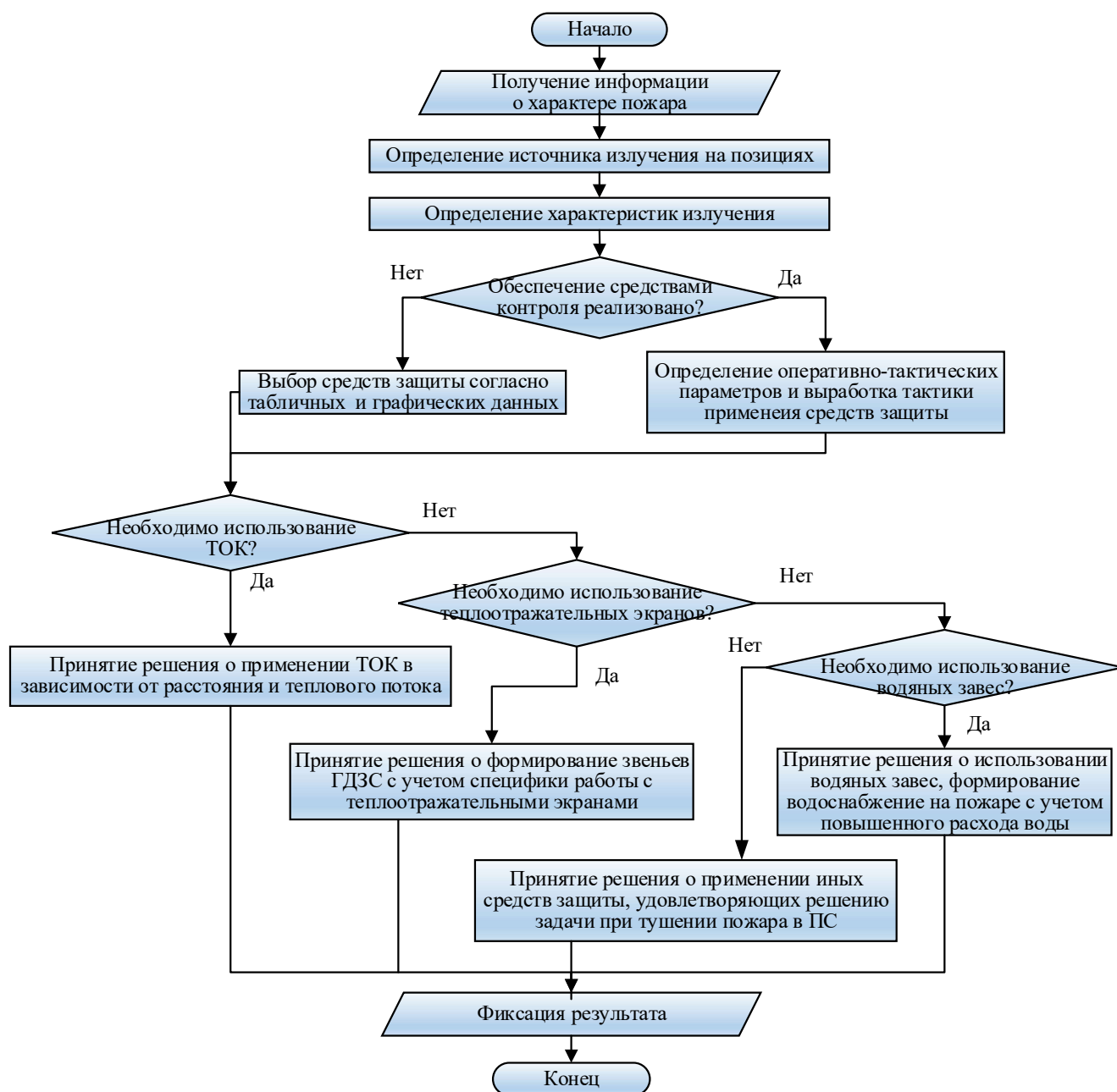


Рисунок 2.4 – Алгоритм оценки применимости средств индивидуальной защиты пожарных при тушении пожара в ПС

В рамках проведения исследования выполнен комплексный анализ наиболее подходящих к применению в условиях тушения пожара в ПС, имеющихся на вооружении ПСП средств индивидуальной защиты пожарных: боевая одежда

пожарного (далее – БОП) трех уровней защиты, теплоотражательный фартук, шлем защитный пожарного, теплозащитная алюминизированная ткань, теплоотражательный экран, теплоотражательные костюмы различного класса защиты (ТОК-200, ТОК-800), а также применения водяных завес.

Безопасное расстояние звена ГДЗС до фронта пламени определяется предельными параметрами защиты БОП и теплоотражательных костюмов по отношению к тепловому излучению и температуре окружающей среды с учетом предельно допустимого времени воздействия на них приведенных ниже факторов пожара (Таблицы 2.1 и 2.2).

Таблица 2.1 – Требования, предъявляемые к теплофизическим параметрам боевой одежды пожарного

Наименование показателя	Значения показателя		
	1 уровень защиты	2 уровень защиты	3 уровень защиты
1. Сопротивляемость тепловому потоку (далее ТП):			
Время защиты (секунд) при ТП = 5,0 кВт/м ²	240	-	-
Время защиты (секунд) при ТП = 40,0 кВт/м ²	5	-	-
2. Сопротивляемость воздействию открытого огня (секунд), не менее	15	5	-
3. Теплопроводность в температурном диапазоне 50-150 °С, Вт/м, не более	0,06	-	-
4. Сопротивляемость влиянию температуры окружающей среды:			
При T _{окр.с.} = 300 °С, (секунд) не менее	300	240	180
При T _{окр.с.} = 200 °С, (секунд) не менее	600	600	600
5. Устойчивость к соприкосновению с поверхностями нагрева до 400 °С, секунд	7	3	1

Таблица 2.2 – Требования, предъявляемые к теплофизическим параметрам теплоотражательных костюмов

Наименование показателя	Значение показателя	
	ТОК-200	ТОК-800
1. Сопротивляемость повышенной температуре окружающей среды:		
Сопротивляемость $T_{\text{окр.с.}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$, (секунд) не менее	600	960
Сопротивляемость $T_{\text{окр.с.}} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$, (секунд) не менее	-	20
2. Сопротивляемость тепловому потоку:		
Сопротивляемость $Q = 10 \text{ кВт/м}^2$, (секунд) не менее	900	-
Сопротивляемость $Q = 18 \text{ кВт/м}^2$, (секунд) не менее	600	960
Сопротивляемость $Q = 25 \text{ кВт/м}^2$, (секунд) не менее	-	240
Сопротивляемость $Q = 40 \text{ кВт/м}^2$, (секунд) не менее	-	120
3. Допустимое время воздействия открытого пламени, (секунд) не более	20	35
4. Масса (в зависимости от размера), кг	8–10	16–20

Также необходимо рассмотреть процессы дымоудаления из транспортных тоннелей и подземных автостоянок, как распространенных типах ПС. Одним из путей организации дымоудаления при пожаре из транспортных тоннелей [87] является создание струйными вентиляторами, устанавливаемыми под сводами тоннеля, воздушного потока, направленного в сторону шахты дымоудаления, как показано на схеме распространения продуктов горения под воздействием струйных вентиляторов (Рисунок 2.5). При обнаружении пожара в подземной автостоянке применяется принцип дымоудаления, основанный на реверсивной приточно-вытяжной противодымной вентиляции, осуществляющей создание направленного потока в сторону приборов дымоудаления. Применение описанных мер позволяет осуществить эвакуацию людей. Для создания условий по обеспечению видимости очага пожара звеньями газодымозащитной службы,

проводящими разведку, на этапе после окончания эвакуации людей из объема автостоянки, могут быть интегрированы группы струйных вентиляторов в рассматриваемое ПС, обеспечивающие нераспространение дымовых газов на все помещения автостоянки [41, 57, 128]. Таким образом характеристиками, отражающими конфигурацию данных систем, являются граничные условия пожаротушения, определяющие ход деятельности руководителя тушения пожара по управлению звеньями газодымозащитной службы.

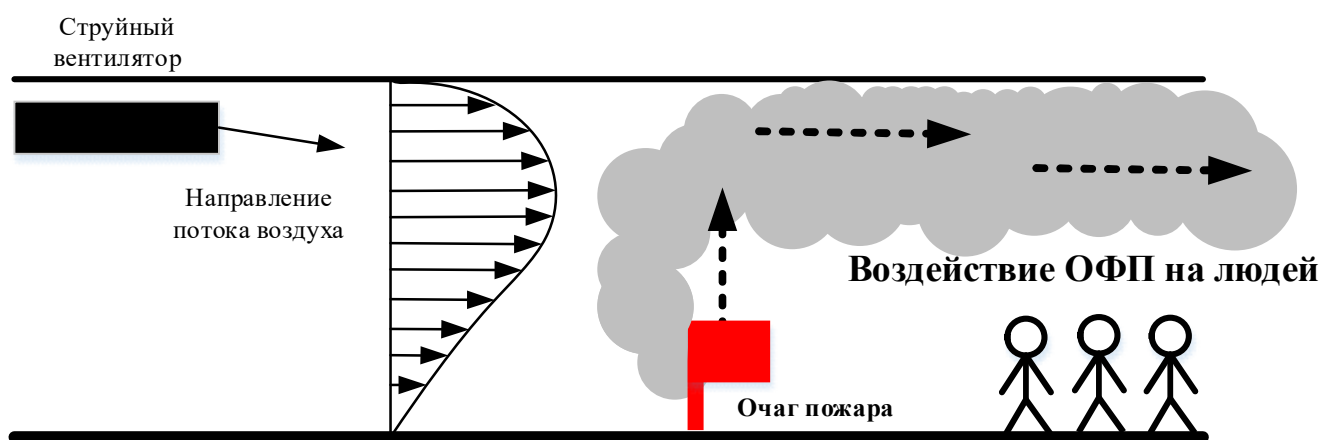


Рисунок 2.5 – Схема распространения продуктов горения под воздействием струйных вентиляторов

Таким образом, руководителю тушения пожара, исходя из представленных сценариев развития оперативно-тактической обстановки при тушении пожара в ПС данного типа, необходимо вводить звенья газодымозащитной службы к очагу пожара со стороны работающих вентиляторов. Однако, информация о точном месте расположения очага может отсутствовать или передана не точно, что составляет граничное условие пожаротушения в ПС данного типа.

В исследовании [15] были проведены теоретические расчеты температурных параметров пожара поезда в перегоне метрополитена, а также теплового режима работы вентилятора, на примере вентилятора осевого (вентиляционной турбины) ВОМД. На примере существующих станций метрополитена, рассмотрено влияние вентиляционного оборудования на процесс решения руководителем тушения

пожара задач управления при тушении пожара в ПС. В большинстве случаев используются устаревшие морально и технически осевые вентиляторы серии ВОМД-24 [78, 136].

При удалении продуктов горения через перегонную камеру, они являются определяющими тепловой режим работы вентилятора. При реализации сценария, при котором продукты горения, имеющие температуру более допустимой, проходят через работающий вентилятор, может произойти отказ вентилятора («для вентиляторов ВОМД-24, содержащих ременные передачи, в соответствии с условиями эксплуатации предельная температура составляет 60 °С» [13]), что приведет к развитию тепловой депрессии пожара и к смене вектора направления вентиляционного потока при пожаре на противоположное. Время реализации данного сценария зависит от удаленности очага пожара от вентиляционной камеры и установившегося вентиляционного режима в тоннеле.

Как показано на диаграмме выбора средств защиты при тушении пожара в тоннеле в зависимости от температуры окружающей среды и расстояния до очага пожара (Рисунок 2.6) определение средств защиты ПСП при работе в непригодной для дыхания среде при тушении пожара в ПС может отличаться в начальный момент времени, поскольку в первые 1000 с от начала пожара рост температуры окружающей среды в ПС более стремительный, чем при последующем развитии [14].

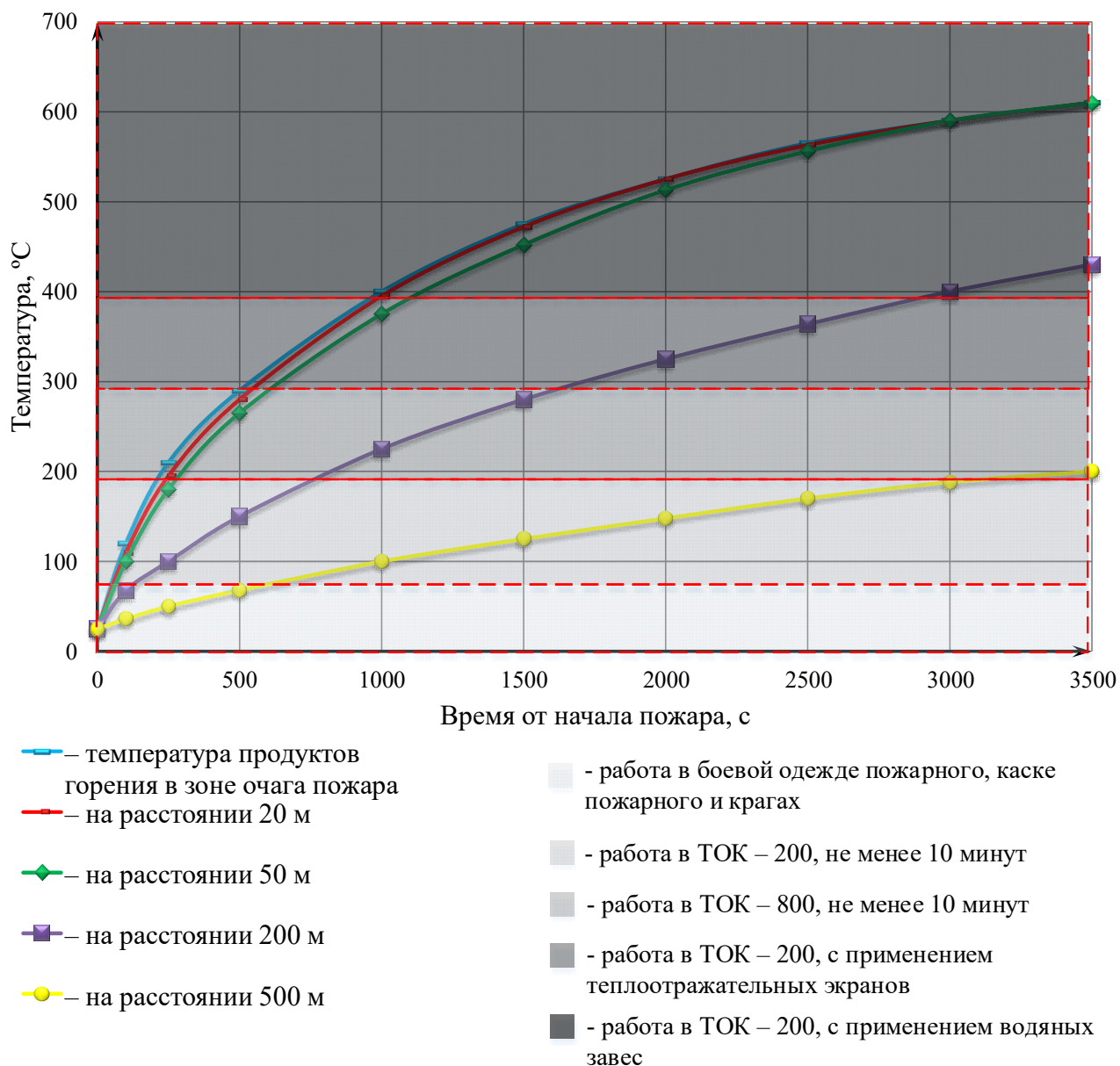


Рисунок 2.6 – Диаграмма выбора средств защиты при тушении пожара в тоннеле в зависимости от температуры окружающей среды и расстояния до очага пожара

«При перемешивании нагретых при пожаре газов со свежим воздухом, теплофизические свойства данной смеси схожи со свойствами нагретого до равной температуры воздуха» [15], как показано на графике температуры газовой смеси в точке входа в вентиляционную камеру при различном удалении очага пожара от перегонной вентиляционной камеры (Рисунок 2.7). Температура газов при отметке в 68 °С [15] является критической для непрерывной работы вентиляторов типа ВОМД-24. Как видно из представленной диаграммы, критическая температура работы может быть достигнута еще до прибытия ПСП к месту тушения пожара в

ПС, однако возможна реализация сценария отказа вентилятора во время непосредственного проведения действий по тушению пожара на месте пожара звеньями ГДЗС, что может существенно повлиять на обстановку в НДС и создать условия, в которых будет требоваться корректировка намеченного ранее хода тушения пожара.

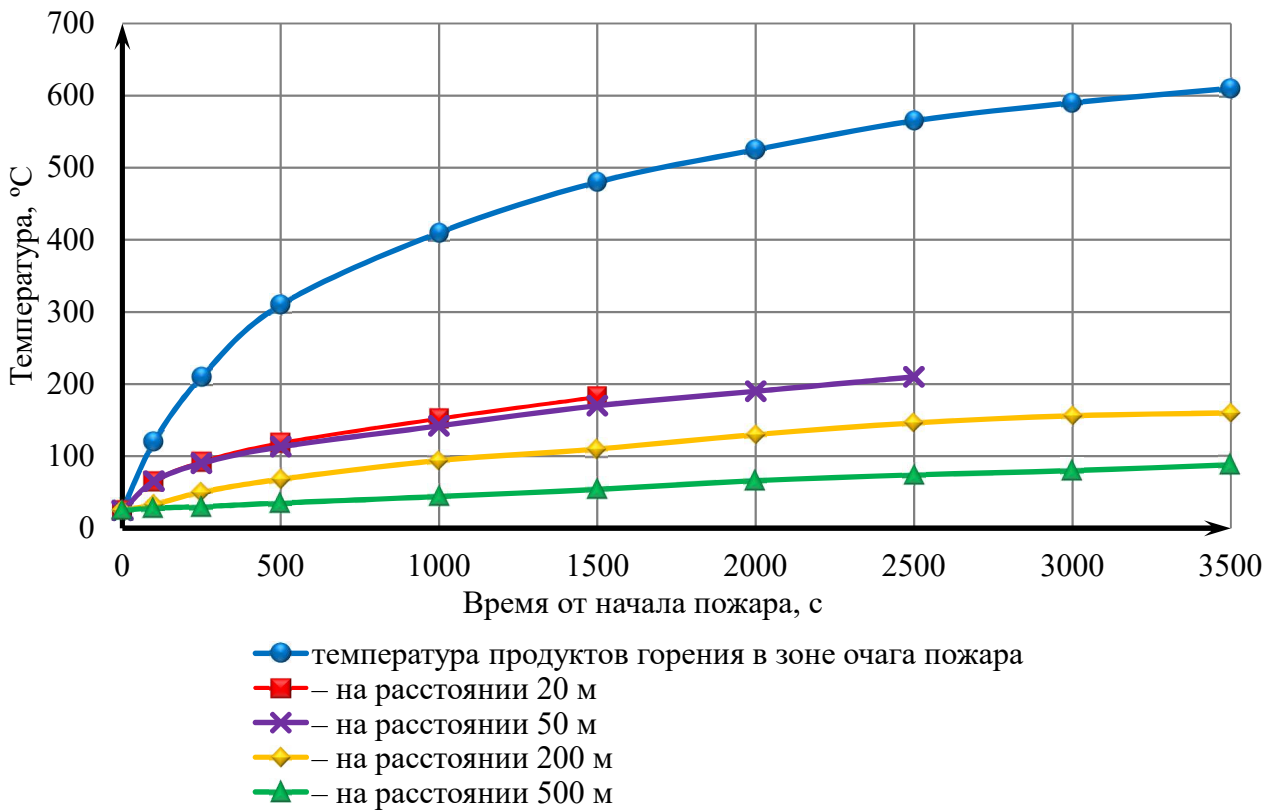


Рисунок 2.7 – График температуры газовой смеси в точке входа в вентиляционную камеру при различном удалении очага пожара от перегонной вентиляционной камеры

Также, стоит отметить, что исходя из работы [137], было проведено исследование прочностных характеристик лопастей вентилятора, на примере наиболее распространённого ВОМД-24. При моделировании процесса горения модельного очага с динамикой температур, удаляемой из тоннеля газо-воздушной среды и этапов тушения пожара, возникающие напряжения в узлах вентилятора превышают напряжения в стандартных условиях в три раза, что приводит к неработоспособности лопаточных узлов вентилятора. Таким образом, РТП или планирующим органам необходимо учитывать резкое изменение характеристик

воздушного потока при выработке решений, направленных на обеспечение ввода сил и средств для тушения пожара в НДС.

На Рисунке 2.8 приведена диаграмма зависимости температуры воздушной смеси в перегонной вентиляционной камере от расстояния до очага пожара на момент прибытия ПСП на место пожара (10 минут), что характеризует условия тушения пожара в ПС данного типа.

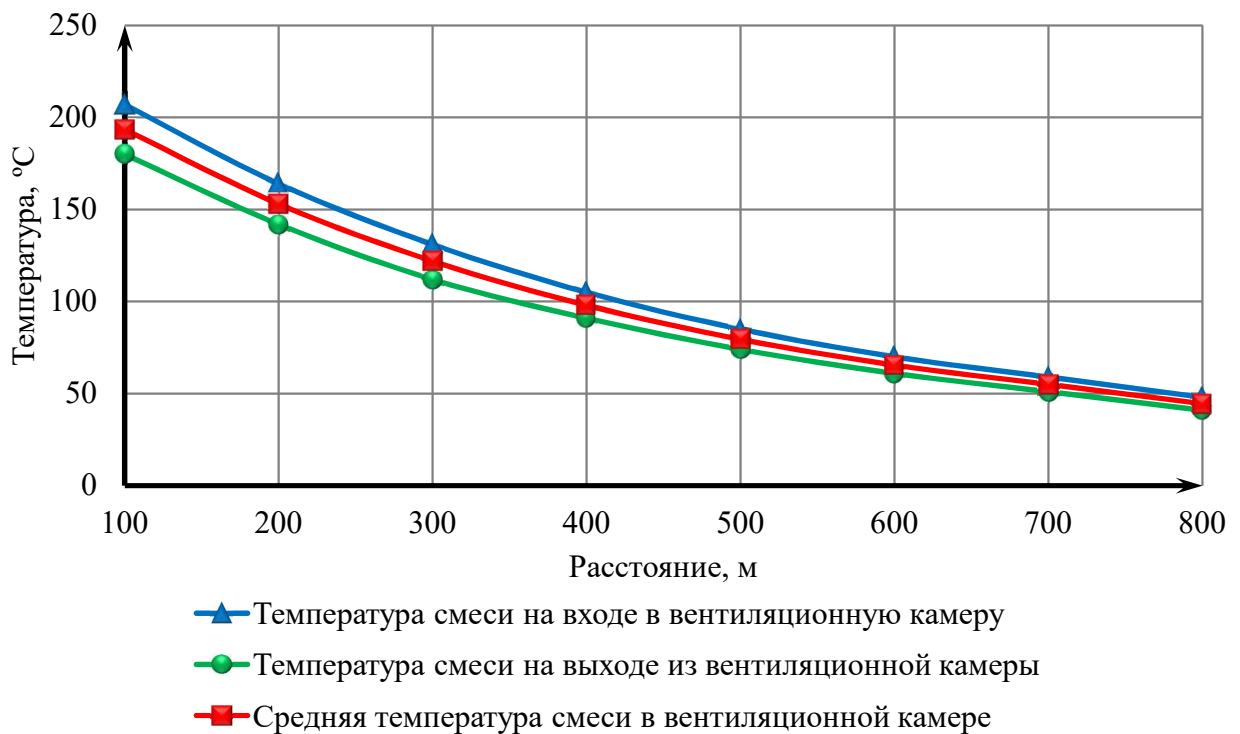


Рисунок 2.8 – Диаграмма зависимости температуры воздушной смеси в перегонной вентиляционной камере от расстояния до очага пожара

Рассматривая модель тушения пожара в ПС в сопоставлении с температурными характеристиками пожара на принятых этапах развития пожара (Рисунок 2.9), можно сделать вывод, что основными условиями, влияющими на решения РТП по применению доступных средств защиты будут являться условия, возникающие на начальном этапе тушения пожара в ПС. Целесообразно предусмотреть алгоритм оценки применимости средств индивидуальной защиты пожарных при тушении пожара в ПС, вероятность отказа вентиляторов и тепловую депрессию пожара на этапе предварительного планирования тушения пожара. Проведение комплексного анализа возможных чрезвычайных ситуаций и

планирование тушения пожаров, позволит дополнительно проработать комплекс мер, направленных на их недопущение или борьбу с ними. Исходя из вышеописанных данных, пожары в ПС характеризуются схожестью температурных режимов и значений температур, на основании которых можно предусмотреть диапазоны, которые будут охватывать вероятные сценарии развития пожара в ПС. Они могут являться определяющими при выработке массива предварительных альтернатив для РТП по выбору средств индивидуальной и групповой защиты пожарных.

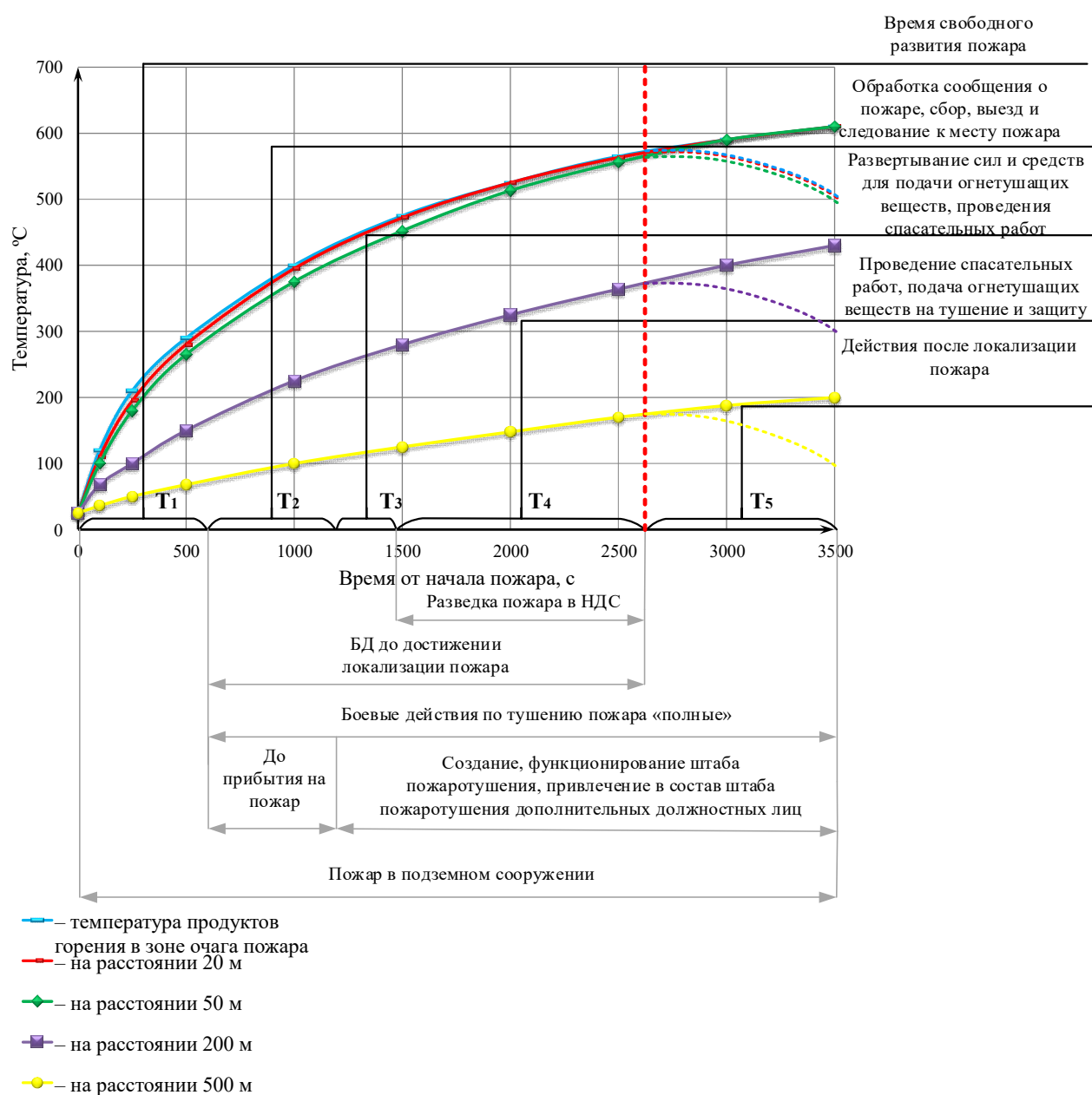


Рисунок 2.9 – Модель тушения пожара в ПС в сопоставлении с температурными характеристиками пожара на временных этапах развития пожара

Также, при реализации РТП решения о применении в качестве огнетушащего вещества пены, необходимо учитывать ряд граничных условий, которые определяются временем движения работающих с приборами подачи пены звеньев ГДЗС. Известно [113], что только подбор оптимальной кратности и структуры пены повышает эффективность ее применения в несколько раз, следовательно, определение величины, оптимальной для каждого сценария пожара, кратности пены является одним из ключевых факторов при реализации управленческого решения на месте пожара в ПС. Оптимальная кратность пены для тушения пожара в кабельных ПС находится в диапазоне 250–300.

Необходимо провести анализ времени на реализацию решений, связанных с работой звеньев ГДЗС в НДС в подземных структурах высокой протяженности. Время движения звеньев ГДЗС в НДС при тушении пожара в ПС может быть описано зависимостью [154]:

$$\tau_{\text{ГДЗС}} = \frac{L}{v_0 \cdot A \cdot \Omega^\alpha}, \quad (2.1)$$

где L – протяженность маршрута, м;

v_0 – скорость движения звена в нормальных условиях видимости (30 м) на маршруте движения, (принято среднее значение в $50 \text{ м} \cdot \text{мин}^{-1}$ [64]);

$A = 0,5$ – эмпирический коэффициент;

Ω – средняя видимость на участке движения звена, м;

$\alpha = 0,2$ – эмпирический коэффициент.

Таким образом проведя математическое моделирование работы звена ГДЗС по поиску очага пожара в условиях ограниченной видимости (Ω), при пожаре в подземном сооружении высокой протяженности (L), можно сделать вывод о высокой дифференциации временных значений (τ) в зависимости от вышеуказанных параметров. Полученные параметры являются граничными условиями пожаротушения. В условиях неопределенности при принятии решений, ЛПР необходимо учитывать, как время поиска очага пожара и время движения последующих звеньев ГДЗС, так и данные параметры в рамках возможных сценариев необходимости проведения аварийной разведки и

спасения звеньев ГДЗС в НДС. Данные временные значения показаны на диаграмме зависимости времени движения звена ГДЗС от видимости в НДС на различных расстояниях маршрутов до очага пожара (Рисунок 2.10).

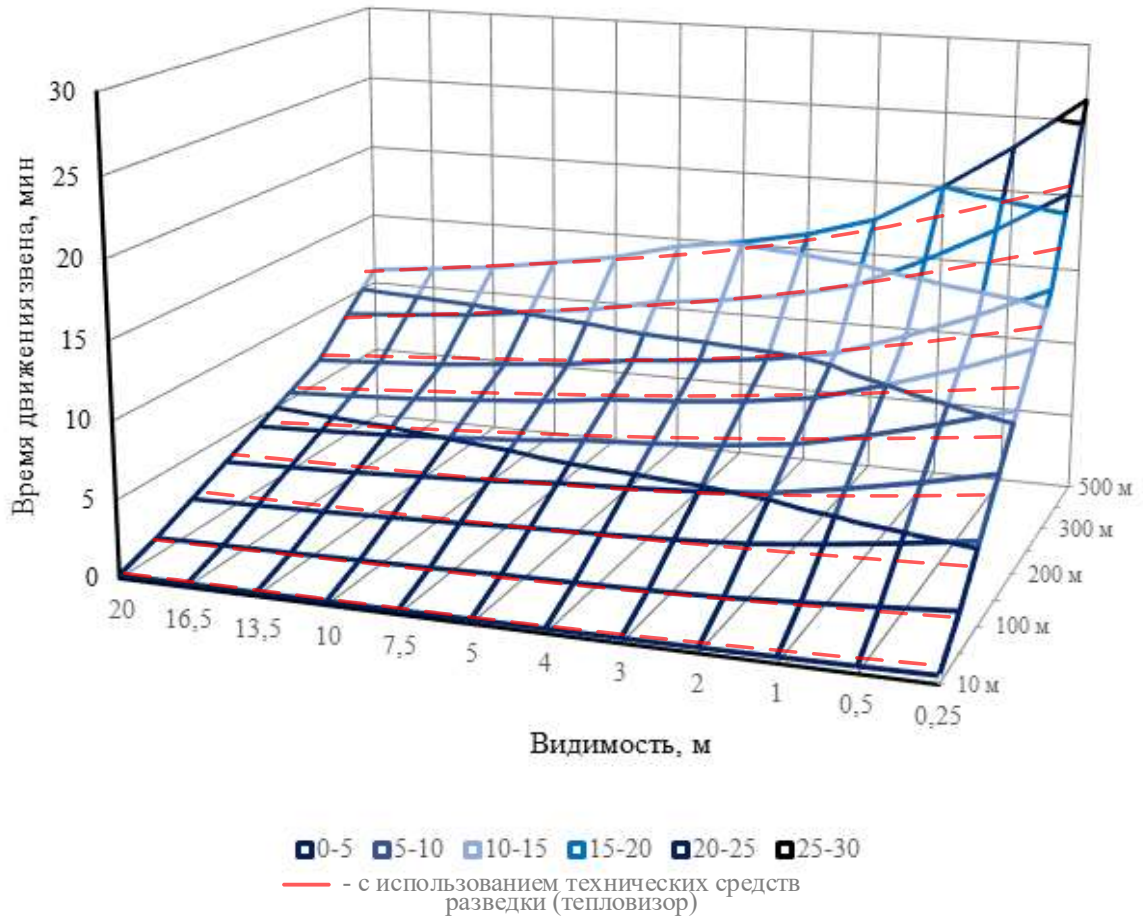


Рисунок 2.10 – Диаграмма зависимости времени движения звена газодымозащитной службы от видимости в непригодной для дыхания среде на различных расстояниях маршрутов до очага пожара

Проведен анализ влияния снижения видимости на пожаре на работу звеньев ГДЗС [39], а также технических средств проведения разведки в НДС.

Для обеспечения разработки моделей и наиболее полной идентификации граничных условий при решении задач управления в организационной системе пожаротушения, необходимо рассмотреть особенности связи на месте пожара в ПС. Структуру системы управления (в общем виде) на пожаре представим, как ориентированный граф.

На Рисунке 2.11 представлена модель связей при реализации управления процессом пожаротушения, где зависимыми элементами управляемой подсистемы

«боевой участок 1» (БУ-1) и «боевой участок 2» (БУ-2) являются СиС (участники тушения пожара), проводящие определенные работы по тушению пожара (совершающие действия, направленные на достижения основной боевой задачи на пожаре) на участках тушения пожара (элементы $P_3 - P_{10}$). Зависимыми элементами подсистемы «Тыл на месте пожара» являются СиС, выполняющие задачи по обеспечению резерва техники, пожарно-технического инвентаря и оборудования, бесперебойной подачи огнетушащих веществ (далее – ОТВ) и т.д. (элементы P_1, P_2). При это данные подсистемы являются зависимыми подсистемами от управляющего узла «РТП» и составляют систему управления связями процесса пожаротушения [148].

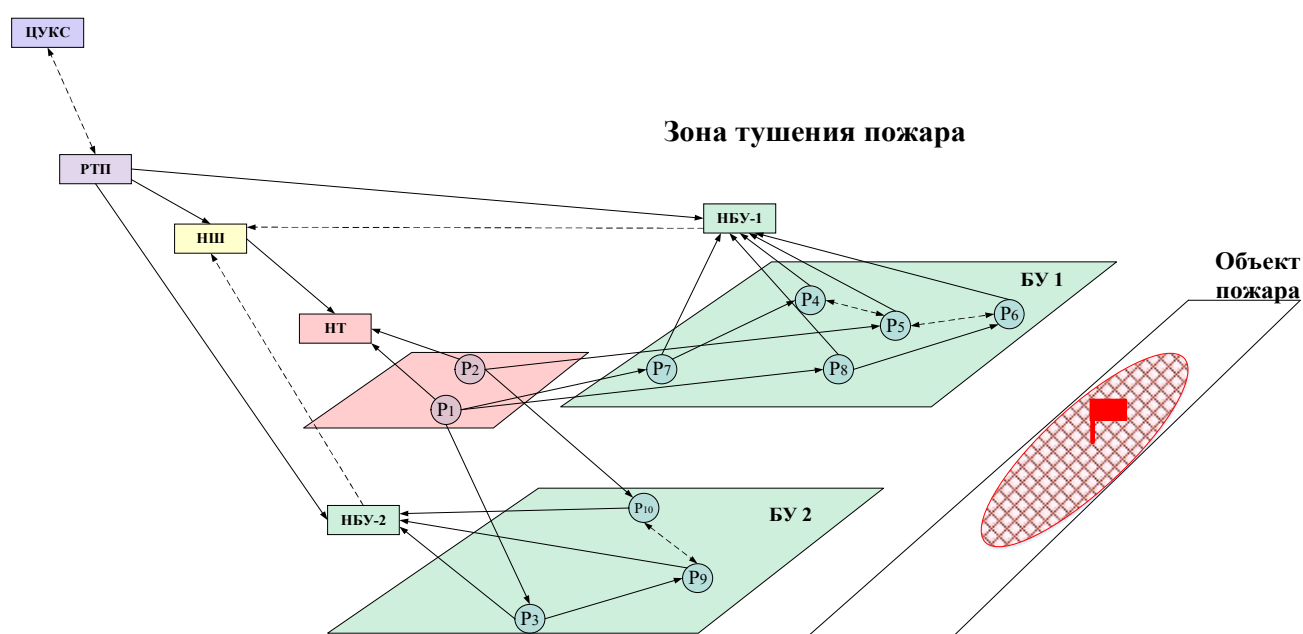


Рисунок 2.11 – Модель связей при реализации управления процессом пожаротушения.

P_1 – бесперебойная подача ОТВ, P_2 – резерв пожарно-технического инвентаря и оборудования,
 P_3, P_7, P_8 – доставка ОТВ к приборам подачи, P_4, P_6, P_9 – подача ОВ (звенья ГДЗС),
 P_5, P_{10} – работа вне НДС

Представим подсистему (БУ-1) ориентированным графом, состоящим из элементов $P_1, P_5 - P_8$, описывающих работы, производимые на месте пожара, что позволяет визуализировать ресурсы ПСП, принимающие участие в тушении пожара в ПС (ориентированный граф подсистемы боевого участка тушения пожара при организации подачи воды представлен на Рисунке 2.12).

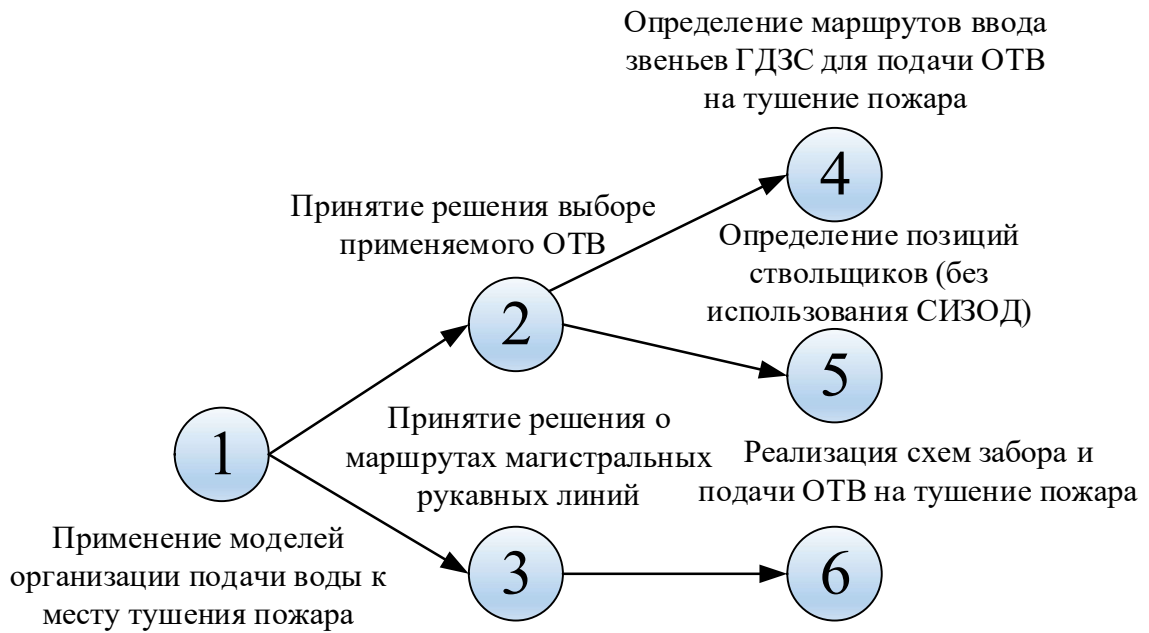


Рисунок 2.12 – Ориентированный граф подсистемы боевого участка тушения пожара при организации подачи воды

Так, исходя из [183], начальный этап пожаротушения в общем виде характеризуется ограниченностью состава ресурсов ПСП и требует снижения сектора решаемых задач до прибытия дополнительных СиС, соответственно одним из решением данной задачи управления может служить ранжирование условий выбора управленческих альтернатив на пожаре.

С момента прибытия первых ПСП к месту тушения пожара и до прибытия дополнительных СиС, а также аварийных служб города и организаций, образуется линейная иерархическая структура связи и управления [149] (типовой граф системы управления на начальном этапе пожаротушения представлен на Рисунке 2.13). И далее, данная подсистема может как трансформироваться в соответствии с необходимостью оперативного переподчинения элементов системы, так и войти без изменений, как одна из зависимых подсистем или элемент подсистемы.

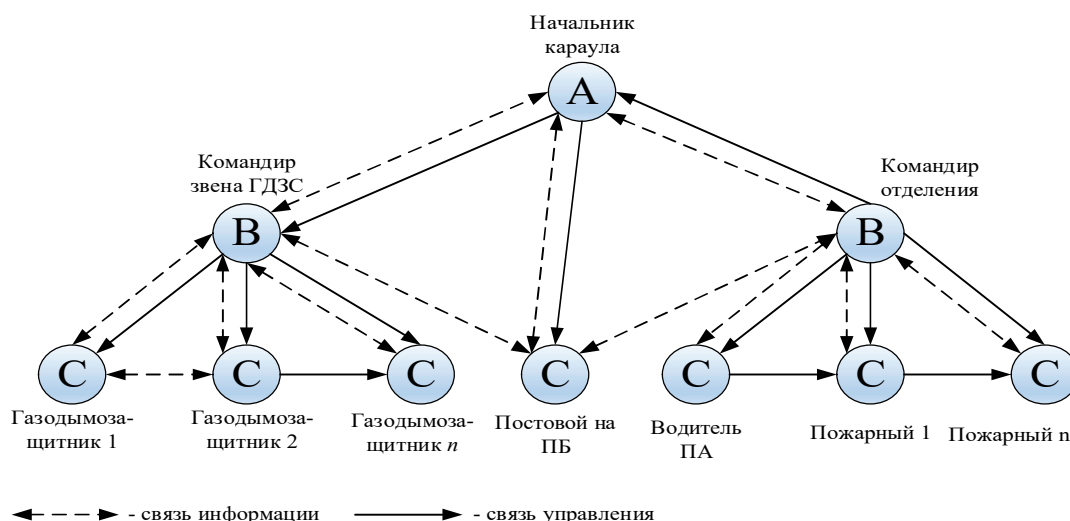


Рисунок 2.13 – Типовой граф системы управления на начальном этапе пожаротушения.

Для обеспечения передачи информации и указаний при тушении пожара в ПС, необходима организация каналов управления и информации между управляющим и управляемыми элементами системы (подсистемы). В Таблице 2.3 представлены основные способы передачи информации и управленческих решений между элементами системы пожаротушения на месте пожара [58, 118].

Связь на пожаре в ПС обеспечивается комплексом способов передачи информации и управленческих решений между элементами системы пожаротушения на месте пожара (Таблица 2.3). Типовой схемой организации связи на пожаре в ПС для модели связей при реализации управления процессом пожаротушения может служить пример функционирования связи на месте пожара в ПС (Рисунок 2.14).

Таблица 2.3 – Основные способы передачи информации и управленческих решений между элементами системы пожаротушения на месте пожара

№ п/п	Наименование способа	Варианты реализации
1.	Радиосвязь	Непосредственная передача информации между абонентами сети
		Применение ретрансляторов радиосвязи (передвижных или портативных)

№ п/п	Наименование способа	Варианты реализации
2.	Телефонная связь	Проводная
		Сотовая
3.	Иные способы передачи информации	Передача информации через связных
		Применение громкоговорящей связи, мегафонов
		Непосредственная передача информации или решений между элементами системы
4.	Передача при помощи сигналов	Применение сигналов управления

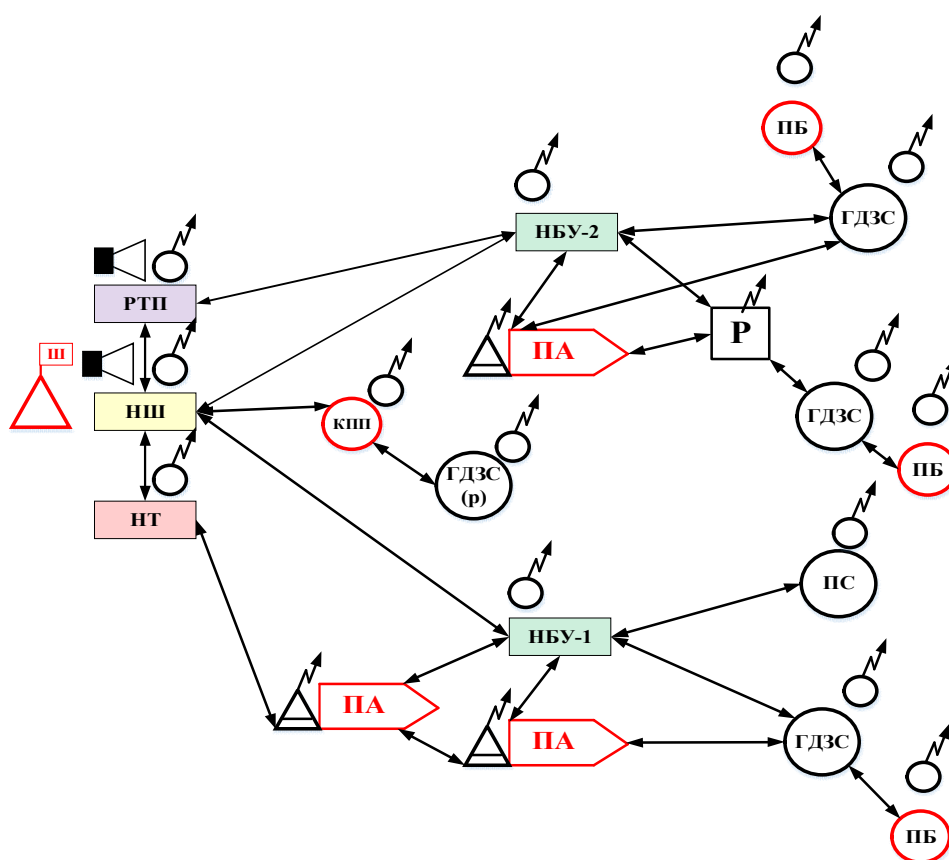


Рисунок 2.14 – Пример функционирования связи на месте пожара в ПС.

Р – ретранслятор (при высоких маршрутах ввода звеньев ГДЗС в НДС)

Таким образом, проведен анализ параметров, влияющих на управление пожарно-спасательными подразделениями при пожарах в ПС:

параметры устойчивости воздушного потока в тоннелях;

параметры противодымной защиты участников тушения пожара в тоннелях и влияния вентиляционных режимов на складывание обстановки;

параметры вентиляционного оборудования при возникновении пожара;

параметры, оказывающие воздействие на принятие управленческих решений ЛПР при управлении пожарно-спасательными подразделениями на пожарах в ПС.

Определены граничные условия пожаротушения в ПС, на основании которых определены диапазоны их параметров при разработке моделей поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС.

Рассмотрены параметры и условия, сопутствующие процессу выработки и реализации РТП управленческих решений. Проведен анализ параметров и условий, учитываемых руководителем тушения пожара при проведении оценки обстановки при решении задач управления пожарно-спасательными подразделениями, осуществляющими тушение пожаров в ПС в граничных условиях пожаротушения.

Исследовано влияние параметров пожара в ПС на действия ПСП, и полученные результаты позволят провести анализ и идентификацию граничных условий пожаротушения в ПС. Данные результаты использованы при построении моделей поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров, которые направлены на снижение времени выбора управленческой альтернативы из массива доступных альтернатив, наиболее объективно отражающей окружающую обстановку.

2.1.2 Разработка модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях

Исходя из анализа рассмотренных особенностей тушения пожара в ПС, а также управленческой деятельности РТП при пожаре в ПС в возникающих граничных условиях пожаротушения, стоит отметить, что РТП необходимо

учитывать возможность реализации сценариев установления тепловых потоков в ПС, при определении направлений ввода звеньев ГДЗС для проведения разведки пожара, а также локализации и ликвидации пожара.

При пожарах в ПС силы и средства вводятся навстречу ОФП. Так, деятельность РТП по управлению звеньями ГДЗС ограничивается условиями теплового потока и обстановкой, возникшей в подземном сооружении. Исходя из вышенаписанного, альтернативы развития пожара в ПС составляют множество, изначально известное РТП, который выступает в данной системе ЛПР. Данное множество возможно учесть при введении сил средств для тушения пожара в ПС. Кроме того, стоит также отметить, что направления введения сил и средств имеют постоянные ограничения – поперечное сечение тоннеля или коммуникационного хода, а также вероятностное ограничение – место возникновения пожара, и сложившаяся обстановка с учетом воздушного потока при пожаре.

Сценарии пожара, подлежащие анализу в идентифицированных граничных условиях пожаротушения, являются набором альтернатив, доступных ЛПР. Например, они могут представлять собой массив возможных альтернатив, критерием прогнозирования сценария развития которых является установившийся в тоннеле воздушный поток при пожаре, который определяет направление распространения ОФП и развития горения.

Таким образом, возможно, на основе логико-аналитического анализа показателей управления пожаротушением в ПС и существующей структуры управления СиС при тушении пожара в ПС формализовать граничные условия пожаротушения для возможных сценариев развития пожара в ПС и обосновать управленческие альтернативы для РТП. Формализация набора альтернатив управления при тушении пожара в ПС осуществлена на основе параметров, характеризующих показатели управления при тушении пожара в ПС. Для осуществления выбора наиболее рациональной альтернативы используется ранжирование условий выбора управленческих альтернатив на основе метода анализа иерархий. Проверка обоснованности выбранных альтернатив управления осуществляется путем оценки их надежности в разработанной модели.

Предлагается использовать для ранжирования условий выбора альтернатив управления критерии эффективности вариантов управления. Модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП представлена на Рисунке 2.15.

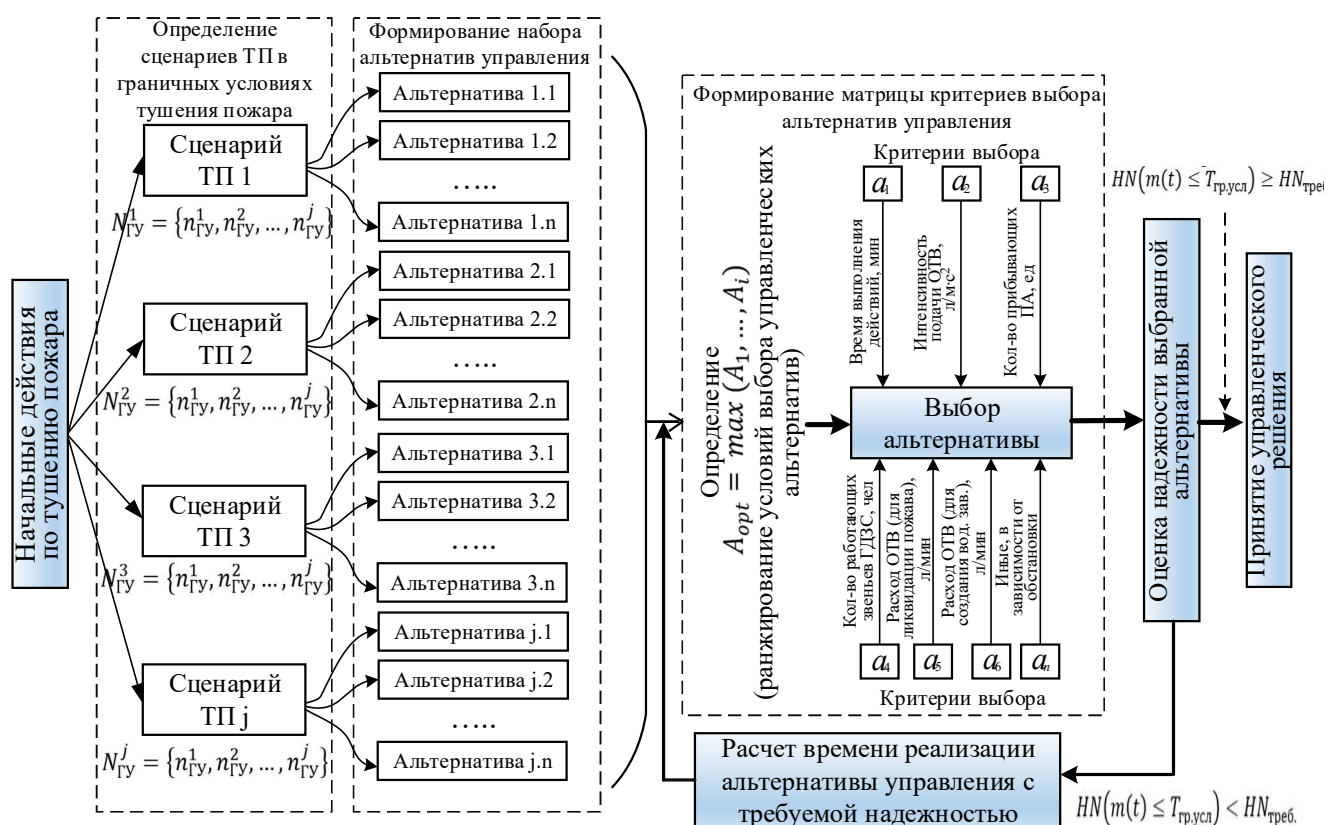


Рисунок 2.15 – Модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП. $N_{Гу}^j$ – множество граничных условий пожаротушения в ПС, A_{opt} – наиболее рациональная альтернатива управления в ПС определяемая на основе ранжирования, a_n – критерий выбора альтернатив управления, $HN(m(t) \leq T_{гр,усл}) \geq HN_{треб.}$ – условие надежности выбранных альтернатив

РТП при работе в вышеописанных условиях сталкивается с обстановкой, в которой он до определённого момента времени не знает, какой сценарий сложится на пожаре (по причине того, что пожар находится в первоначальной стадии развития, и воздушный поток еще не стал устойчивым и/или по причине

недостаточности информации, когда звенья ГДЗС не произвели разведку в объеме, достаточным для определения складывающегося сценария пожара, и/или по причине того, что дежурные службы не передали информацию, позволяющую сократить время на определение складывающегося сценария пожара). Соответственно он не имеет возможности выбрать наиболее адекватную сценарию развития пожара управленческую альтернативу.

Исходя из проведенного комплексного анализа показателей управления пожаротушением при пожарах в подземных сооружениях и моделей поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров, проведенным в Главе 1, следует, что процесс принятия управленческих решений в граничных условиях характеризуется факторами неопределенности [115]. В некоторых случаях эти факторы могут быть неизвестными на момент принятия решения, а в других случаях они известны, но учет их в принятии решения затруднен из-за неполноты знаний руководителя или ШПТ о проблеме. Неопределенность также может быть связана с невозможностью точно предсказать реакцию окружающей среды на действия лица, принимающего решение. Также может существовать нечеткое понимание целей руководителем, что может затруднить выбор оптимального решения.

Для комплексного анализа обстановки и выбора альтернатив при управлении пожарно-спасательными подразделениями на основе проведения ранжирования условий выбора управленческих альтернатив, необходимо опираться на граничные условия, описанные в диссертации. Исходя из проведенного анализа нормативных документов и существующих научных исследований приведены диапазоны значений параметров $N_{\text{ГУ}}^j = \{n_{\text{ГУ}}^1, n_{\text{ГУ}}^2, \dots, n_{\text{ГУ}}^j\}$, определяющих граничные условия пожаротушения:

1. Группа постоянных параметров:

1.1. Параметры и характеристика сооружений и помещений где возник и распространился пожар.

определяется параметрами:

Расстояние от водоисточника до входа в ПС $L_{1.1} = (0 \dots l_{1.1})$, где $l_{1.1}$ определяется тактическими возможностями ПА гарнизона, которые прибывают

на пожар. Например, для АЦ, установленной на пожарный гидрант (подача ОТВ через рукава диаметром 77 мм и разветвление РТ-80) $l_{1,1} = 300$ м при $Q_{отв} = 15$ л/с. Таким образом диапазоны значений $l_{1,1}$ представлены в Таблице 2.4:

Таблица 2.4 – Верхние границы диапазона значений максимального расстояния подачи ОТВ для тушения пожара и создания водяной завесы в ПС

№ п/п	Тип водоемника	Тип разветвления	Q, л/с	l, м
1.	Пожарный гидрант	РТ-80	30	100
2.			22,5	150
3.			15	300
4.			10	500
5.			7,5	700
6.		РТ-70	30	40
7.			22,5	70
8.			15	130
9.			10	220
10.			7,5	370
11.	Открытый водоем	РТ-80	30	50
12.			22,5	80
13.			15	150
14.			10	260
15.			7,5	520
16.		РТ-70	30	20
17.			22,5	40
18.			15	80
19.			10	130
20.			7,5	230

Перепад высот между водоемником и входом в ПС h , тогда $L_{1,2} = (0 \dots l_{1,2})$, где $l_{1,2}$ определяется тактическими возможностями ПА гарнизона, которые прибывают на пожар. Например, для АЦ, установленной на пожарный гидрант (подача ОТВ через рукава диаметром 77 мм и разветвление РТ-80) при высоте подъема $h = 6$ м и $Q_{отв} = 15$ л/с $l_{1,2} = 260$ м. Диапазоны значений $l_{1,2}$ представлены в Таблице 2.5:

Таблица 2.5 – Верхние границы диапазона значений максимального расстояния подачи ОТВ для тушения пожара и создания водяной завесы в зависимости от перепада высот между водоисточником и входом в ПС

№ п/п	Тип водоисточника	Z, м	Тип разветвления	Q, л/с	l, м
1.	Пожарный гидрант	6	РТ-80	30	80
2.				22,5	135
3.				15	215
4.				10	400
5.				7,5	700
6.			РТ-70	30	20
7.				22,5	50
8.				15	120
9.				10	175
10.				7,5	300
11.	Открытый водоем	6	РТ-80	30	30
12.				22,5	75
13.				15	150
14.				10	220
15.				7,5	360
16.			РТ-70	30	-
17.				22,5	40
18.				15	75
19.				10	125
20.				7,5	210
21.	Пожарный гидрант	12	РТ-80	30	60
22.				22,5	110
23.				15	225
24.				10	350
25.				7,5	700
26.			РТ-70	30	-
27.				22,5	35
28.				15	100
29.				10	160
30.				7,5	290

Продолжение таблицы 2.5

№ п/п	Тип водосточника	Z, м	Тип разветвления	Q, л/с	l, м
31.	Открытый водоем	12	РТ-80	30	-
32.				22,5	40
33.				15	105
34.				10	190
35.				7,5	360
36.			РТ-70	30	-
37.				22,5	25
38.				15	65
39.				10	90
40.				7,5	175
41.	Пожарный гидрант	18	РТ-80	30	25
42.				22,5	75
43.				15	190
44.				10	300
45.				7,5	650
46.			РТ-70	30	-
47.				22,5	25
48.				15	60
49.				10	100
50.				7,5	175
51.	Открытый водоем	18	РТ-80	30	-
52.				22,5	40
53.				15	90
54.				10	190
55.				7,5	250
56.			РТ-70	30	-
57.				22,5	-
58.				15	40
59.				10	55
60.				7,5	100

1.2. Конструктивные особенности подземных сооружений.

определяется параметрами:

Расстояние от входа в ПС до очага пожара $L_{2.1} = (0 \dots 2000 \text{ м})$.

Площадь сечения тоннеля $S_{тон 2.2} = (0 \dots 8 \text{ м})$.

1.3. Параметры вентиляционных систем ПС.

определяется параметром:

Коэффициент цикличности продвижения по тоннелю $k_{ц.3.1} = (0, 1, 2)$. Исходя из проведенного анализа влияния параметров пожара в ПС на действия ПСП сделан вывод, что параметры вентиляционных систем в ПС прямо влияют на параметры тепловых потоков, что, в свою очередь, оказывает влияние на формирование температурных режимов при пожаре в ПС, которые являются определяющим фактором при принятии решения об использовании водяных завес в тоннелях.

1.4. Параметры и характеристики пожарно-спасательного гарнизона.

определяется параметрами:

Необходимое количество пожарных автомобилей $N_{ПА.4.1} = (1 \dots n_{4.1})$, где $n_{4.1}$ определяется количеством ПА, доступных для прибытия для тушения пожара, на основании плана привлечения сил и средств ПСП.

Необходимое количество работающих и резервных звеньев $N_{зв..ГДЗС.4.2} = (1 \dots n_{4.2})$, где $n_{4.2}$ определяется количеством ПА, отделения которых оснащаются СИЗОД с временем защитного действия не менее 4-х часов, доступных для прибытия для тушения пожара, на основании плана привлечения сил и средств ПСП.

Необходимое количество работающих стволов, подающих ОТВ на тушение $N_{р.ств.туш.4.3} = (1 \dots n_{4.3})$, где $n_{4.3}$ определяется количеством ПА, оснащенных необходимым типом приборов подачи ОТВ, доступных для прибытия к месту пожара.

Необходимое количество работающих стволов, подающих ОТВ на создание водяных завес $N_{р.ств.зав.4.4} = (1 \dots n_{4.4})$, где $n_{4.4}$ определяется количеством ПА, оснащенных необходимым типом приборов подачи ОТВ для создания водяной завесы, доступных для прибытия для тушения пожара.

Необходимое количество рукавов, имеющих в распоряжении РТП $N_{рукавов.4.5} = (1 \dots n_{4.5})$, где $n_{4.5}$ определяется количеством ПА, оснащенных необходимым типом пожарных рукавов для осуществления реализации выбранной насосно-рукавной системы на месте пожара, доступных для прибытия к месту пожара.

1.5. Оснащенность ПСП.

Необходимое количество работающих и резервных звеньев $N_{зв..ГДЗС\ 4.2} = (1 \dots n_{4.2})$, где $n_{4.2}$ определяется количеством ПА, отделения которых оснащаются СИЗОД с временем защитного действия не менее 4-х часов, доступных для прибытия для тушения пожара, на основании плана привлечения сил и средств ПСП.

Необходимое количество работающих стволов, подающих ОТВ на тушение $N_{р.ств.туш\ 4.3} = (1 \dots n_{4.3})$, где $n_{4.3}$ определяется количеством ПА, оснащенных необходимым типом приборов подачи ОТВ, доступных для тушения пожар.

Необходимое количество работающих стволов, подающих ОТВ на создание водяных завес $N_{р.ств.зав\ 4.4} = (1 \dots n_{4.4})$, где $n_{4.4}$ определяется количеством ПА, оснащенных необходимым типом приборов подачи ОТВ для создания водяной завесы, доступных для прибытия для тушения пожара.

Необходимое количество рукавов, имеющихся в распоряжении РТП $N_{рукавов\ 4.5} = (1 \dots n_{4.5})$, где $n_{4.5}$ определяется количеством ПА, оснащенных необходимым типом пожарных рукавов для осуществления реализации выбранной насосно-рукавной системы на месте пожара, доступных для прибытия для тушения пожара.

1.6. Место возникновения пожара.

определяется параметрами:

Расстояние от входа в ПС до очага пожара $L_{6.1} = (0 \dots 2000\ м)$.

Площадь сечения тоннеля $S_{тон\ 6.2} = (0 \dots 8\ м)$.

2. Группа переменных параметров:

2.1. Параметры и характеристики воздушных потоков в тоннелях.

определяется параметром:

Коэффициент цикличности продвижения по тоннелю $k_{ц\ 1.1} = (0, 1, 2)$. Исходя из проведенного анализа влияния параметров пожара в ПС на действия ПСП сделан вывод, что параметры вентиляционных систем в ПС прямо влияют на параметры тепловых потоков, что, в свою очередь, оказывает влияние на формирование температурных режимов при пожаре в ПС, которые являются определяющим фактором при принятии решения об использовании водяных завес в тоннелях.

2.2. Температура в зоне пожара и мощность тепловых потоков.

определяется параметром:

Коэффициент цикличности продвижения по тоннелю $k_{ц\ 2.1} = (0, 1, 2)$. Исходя из проведенного анализа влияния параметров пожара в ПС на действия ПСП сделан вывод, что параметры вентиляционных систем в ПС прямо влияют на параметры тепловых потоков, что, в свою очередь, оказывает влияние на формирование температурных режимов при пожаре в ПС, которые являются определяющим фактором при принятии решения об использовании водяных завес в тоннелях.

2.3. Изменение прочностных характеристик несущих конструкций.

определяется параметром:

Время ликвидации пожара $T_{лик\ 3.1} = (0 \dots t_{3.1})$, где $t_{3.1}$ определяется пределом огнестойкости несущих конструкций сооружения, в котором проводятся действия по тушению пожара.

2.4. Количество работающих звеньев ГДЗС.

определяется параметром:

Необходимое количество работающих и резервных звеньев $N_{зв..ГДЗС\ 5.1} = (1 \dots n_{5.1})$, где $n_{5.1}$ определяется количеством ПА, отделения которых оснащаются СИЗОД с временем защитного действия не менее 4-х часов, доступных для прибытия для тушения пожара, на основании плана привлечения сил и средств ПСП [107].

2.5. Тип СИЗОД.

определяется параметром:

Необходимое количество работающих и резервных звеньев $N_{зв..ГДЗС\ 6.1} = (1 \dots n_{6.1})$, где $n_{6.1}$ определяется количеством ПА, отделения которых оснащаются СИЗОД с временем защитного действия не менее 4-х часов, доступных для прибытия для тушения пожара, на основании плана привлечения сил и средств ПСП.

2.6. Параметры работы газодымозащитников в СИЗОД (и средства мониторинга их работы).

определяется параметром:

Необходимое количество работающих и резервных звеньев $N_{зв..ГДЗС\ 7.1} = (1 \dots n_{7.1})$, где $n_{7.1}$ определяется количеством ПА, отделения которых оснащаются СИЗОД с временем защитного действия не менее 4-х часов, доступных для прибытия для тушения пожара, на основании плана привлечения сил и средств ПСП.

2.7. Качество установленной связи на пожаре.

определяется параметром:

Расстояние от входа в ПС до очага пожара $L_{1,1} = (0 \dots l_{8,1})$, где $l_{8,1}$ определяется возможностями имеющихся в распоряжении технических средств обеспечения устойчивой связи на пожаре (максимальное расстояние, на котором возможно обеспечить связь в ПС при помощи радиостанций, ретрансляторов и иных технических средств).

2.8. Уровень подготовки прибывших подразделений пожарной охраны.

определяются параметрами:

Время движения звена ГДЗС до очага пожара $T_{сл.оч. 9,1} = (0 \dots t_{9,1})$, где $t_{9,1}$ определяется верхним диапазоном значений из рассматриваемой выборки ретроспективных данных, представленные в Таблице 2.6:

Таблица 2.6 – Верхние границы диапазона значений времени поиска очага

№ п/п	Тип маршрута	L , м	$t_{9,1}$, мин
1.	Передвижение звена ГДЗС по лестница (эскалаторам) вниз	25	1,25
2.		50	2,5
3.		75	3,75
4.		100	5
5.	Передвижение по тоннелю со скаткой рукавов 77 мм	40	0,8
6.		60	1,2
7.		80	1,6
8.		100	2,0
9.		200	4,0
10.		300	6,0
11.		400	8,0
12.		500	10,0
13.		600	12,0
14.		700	14,0

Время проведения боевого развёртывания сил и средств $T_{б.р. 9,2} = (0 \dots t_{9,2})$, где $t_{9,2}$ определяется верхним диапазоном значений из рассматриваемой выборки ретроспективных данных, представленные в Таблице 2.7:

Таблица 2.7 – Верхние границы диапазона значений времени проведения боевого развертывания сил и средств

№ п/п	Тип маршрута	L , м	$t_{9,2}$, мин
1.	Полное боевое развертывание через входы в ПС (через вестибюли для метрополитена)	20	0,8
2.		40	1,6
3.		60	2,4
4.		80	3,2
5.		100	4,0
6.		140	5,6
7.		160	6,4
8.		180	7,2
9.		200	8,0
10.		250	10,0
11.		300	12,0
12.	Полное боевое развертывание через стволы вентиляционных шахт	20	3,34
13.		40	6,65
14.		60	10,0

2.9. Качество взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующих объект организаций, количество привлеченных подразделений.

определяется параметром:

Необходимое количество бригад аварийных служб $N_{АС 10.1} = (0 \dots n_{10.1})$, где $n_{10.1}$ определяется количеством привлекаемых аварийных бригад исходя из документов предварительного планирования действий по тушению пожара.

2.10. Количество прибывшей к месту пожара техники.

определяется параметром:

Необходимое количество пожарных автомобилей $N_{ПА 11.1} = (1 \dots n_{11.1})$, где $n_{11.1}$ определяется количеством ПА, доступных для прибытия для тушения пожара, на основании плана привлечения сил и средств ПСП.

Так, РТП, заранее предполагая возможные действия, необходимые для достижения результата, при тушении пожара в ПС на начальном этапе и в условиях ограниченности информации имеет определённый набор сценариев развития пожара:

применение документов предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ;

создание штаба пожаротушения;

привлечение в состав штаба пожаротушения представителей аварийных служб эксплуатирующих объекты организаций;

привлечение для включения в штаб пожаротушения иных федеральных органов исполнительной власти (далее – ФОИВ) или служб города, региона.

Таким образом, применяя сценарии соответствующим ансамблем РТП вырабатывает адекватное управленческое решение, соответствующее реальности (которое будет произведено с учетом граничных условий пожаротушения в ПС). Для осуществления ранжирования условий выбора управленческих альтернатив необходимо провести сравнение критериев, по которым осуществляется выбор альтернатив управления при тушении пожара в ПС, а также сравнение альтернатив управления по критериям, определяющим приоритеты данных альтернатив.

Для набора условий и управленческих альтернатив при идентификации граничных условий, в зависимости от выбранных сценариев, набор возможных управленческих альтернатив для рассматриваемых сценариев пожара будет представлен, как матрица A .

В целях определения иерархического представления граничных условий тушения пожара в ПС применим метод анализа иерархий [138, 139, 174] на основе декомпозиции рассматриваемой цели на более простые части и их обработки с помощью парных сравнений. Сопоставляя значение каждого из условий со значениями условий выбора других альтернатив управления, получаем следующую матрицу (в общем виде):

$$A = \begin{bmatrix} \frac{a_1}{a_1} & \frac{a_1}{a_2} & \dots & \frac{a_1}{a_n} \\ \frac{a_2}{a_1} & \frac{a_2}{a_2} & \dots & \frac{a_2}{a_n} \\ \frac{a_3}{a_1} & \frac{a_3}{a_2} & \dots & \frac{a_3}{a_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{a_n}{a_1} & \frac{a_n}{a_2} & \dots & \frac{a_n}{a_n} \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

Введем обозначение $f_{ij} = \frac{a_i}{a_j} > 0$ для всех i и j , так как веса a_i и a_j положительны. $f_{ij} = \frac{a_i}{a_i} = 1$ для $i = 1, 2, \dots, k$. Данная матрица A обладает свойством симметричности: при $f_{ij} = \frac{1}{f_{ji}}$, $f_{ij} = \frac{a_i}{a_j} = 1 / (\frac{a_j}{a_i}) = \frac{1}{f_{ji}}$ для всех значений i, j , и свойством совместимости: $f_{ij} \cdot f_{jn} = \frac{a_i}{a_j} \cdot \frac{a_j}{a_n} = \frac{a_i}{a_n} = f_{in}$ для всех значений i, j, n .

При условии, что из значений a_1, a_2, \dots, a_n скомплектован столбец a , и выражение $A \cdot a = n \cdot a$ верно, то верно следующее соотношение:

$$\begin{aligned} (f_{i1} \ f_{i2} \ \dots \ f_{in}) \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} &= f_{i1} \cdot a_1 + f_{i2} \cdot a_2 + \dots + f_{in} \cdot a_n \\ &= \frac{a_i}{a_1} \cdot a_1 + \frac{a_i}{a_2} \cdot a_2 + \dots + \frac{a_i}{a_n} \cdot a_n = n \cdot a_i \end{aligned}$$

Для осуществления моделирования рассмотрим обратно-симметричные и согласованные матрицы [174]. Например, квадратная положительная матрица M порядка n будет иметь вид:

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ik} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nk} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}. \quad (2.3)$$

Рассматриваемая матрица будет обратно-симметричной, если для любых значений i и k будет выполняться соотношение $a_{ki} = 1/a_{ik}$. Данная матрица является согласованной, если для значений i, k, n будет соблюдаться равенство: $a_{ik}a_{kn} = a_{in}$.

Критериями сравнения альтернатив управления при тушении пожара в ПС будут являться следующие параметры, обоснованные граничными условиями, разделенные на четыре группы (временные критерии, критерии подачи ОТВ, критерии тактических возможностей ПСП и критерии, отражающие конструктивные особенности ПС, влияющие на процесс тушения пожара), представлены в Таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Критерии сравнения альтернатив управления при тушении пожара в ПС

№ п/п	Группа критериев	Наименование критерия	Обозначение
1.	Временные критерии	Время прибытия ПСП к месту пожара	$T_{приб}$
2.		Время поиска очага пожара	$T_{оч}$
3.		Время проведения боевого развёртывания сил и средств	$T_{б.р.}$
4.		Время локализации пожара	$T_{лок}$
5.		Время ликвидации пожара	$T_{лик}$
6.	Критерии подачи ОТВ	Расход ОТВ необходимого для локализации пожара	$Q_{лок}$
7.		Расход ОТВ на создание водяной завесы	$Q_{зав}$
8.		Коэффициент цикличности продвижения по тоннелю	$k_{ц}$
9.		Интенсивность подачи ОТВ на тушение пожара, необходимое для локализации пожара	$I_{лок}$
10.		Интенсивность подачи ОТВ на создание водяной завесы	$I_{зав}$
11.	Критерии тактических возможностей ПСП	Необходимое количество пожарных автомобилей	$N_{ПА}$
12.		Необходимое количество работающих и резервных звеньев	$N_{зв..ГДЗС}$
13.		Необходимое количество работающих стволов, подающих ОТВ на тушение	$N_{р.ств.туш}$
14.		Необходимое количество работающих стволов, подающих ОТВ на создание водяных завес	$N_{р.ств.зав}$
15.		Необходимое количество рукавов, имеющих в распоряжении РТП	$N_{рукавов}$

№ п/п	Группа критериев	Наименование критерия	Обозначение
16.	Критерии, отражающие конструктивные особенности ПС	Площадь сечения тоннеля	$S_{тон}$
17.		Расстояние от входа в ПС до очага пожара	L
18.		Расстояние от водоисточника до входа в ПС	$L_{в.ист}$
19.	Критерии, отражающие взаимодействие с аварийными службами города и эксплуатирующих объект организаций	Необходимое количество аварийных бригад аварийных служб	$N_{АС}$

Исходя из представленных критериев, матрица сравнения критериев выбора альтернатив управления при тушении пожаров в ПС будет иметь вид (Таблица 2.9):

Таблица 2.9 – Матрица сравнения критериев выбора альтернатив управления при тушении пожара в ПС

	<i>Критерий 1</i>	...	<i>Критерий q</i>	...	<i>Критерий p</i>
<i>Критерий 1</i>	<i>1</i>	...	a_{1q}	...	a_{1p}
...
<i>Критерий q</i>	a_{q1}	...	<i>1</i>	...	a_{qp}
...
<i>Критерий p</i>	a_{p1}	...	a_{pq}	...	<i>1</i>

Ранжирование критериев выбора управленческих альтернатив осуществляется по следующему принципу [139]:

1. Производится оценка компонент собственного вектора по каждому критерию сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС y_r :

$$y_r = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, \quad (2.4)$$

где a_{in} – значения сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС.

2. Производится нормализация оценок сравнения альтернатив управления k при тушении пожаров в ПС y_{kr} :

$$y_{kr} = \frac{y_r}{\sum_{l=1}^l y_r}, \quad (2.5)$$

где y_r – компоненты собственного вектора по каждому критерию сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС.

Данный принцип вычисления собственного столбца матрицы эффективен для обратно симметричных матриц, достаточно близких к согласованности [138]. Для определения согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив (a_n) при тушении пожара в ПС необходимо произвести вычисление максимального собственного числа матрицы λ_{max} :

$$\lambda_{max} = \sum_{l=1}^n \lambda_r, \quad (2.6)$$

$$\lambda_r = \sum_{l=1}^n a_{in} \cdot y_{kr}, \quad (2.7)$$

где λ_r – собственное значение для каждой строки рассматриваемой матрицы;
 a_{in} – значения сравнения критериев выбора управленческих альтернатив (a_n) при тушении пожаров в ПС;

y_{kr} – значения нормализации оценок сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС.

Далее, вычисляется индекс согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (ИС):

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (2.8)$$

где λ_{max} – максимальное собственное числа рассматриваемой матрицы;
 n – порядок рассматриваемой матрицы.

Далее, вычисляется оценка согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (ОС):

$$OC = \frac{ИС}{СС}, \quad (2.9)$$

где ИС – индекс согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС;

СС – значения случайной согласованности, исходя из работы [139]:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СС	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Оценка согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС производится согласно следующего неравенства:

$$\begin{cases} OC \leq 0,1 - \text{матрица согласована} \\ 0,1 < OC \leq 0,2 - \text{согласованность матрицы приемлема} \\ OC > 0,2 - \text{согласованность матрицы не приемлема} \end{cases} \quad (2.10)$$

Сводная таблица для расчета приоритета критериев и управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС может быть записана в общем виде (Таблица 2.10):

Таблица 2.10 – Сводная таблица для расчета приоритета критериев и управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС

	<i>Критерий 1</i>	...	<i>Критерий q</i>	...	<i>Критерий p</i>	y_r	y_{kr}	λ_r
<i>Критерий 1</i>	1	...	a_{1q}	...	a_{1p}	y_1	y_{1r}	λ_1
...
<i>Критерий q</i>	a_{q1}	...	1	...	a_{qp}	y_q	y_{qr}	λ_q
...
<i>Критерий p</i>	a_{p1}	...	a_{pq}	...	1	y_p	y_{pr}	λ_p
Σ	S_1	...	S_q	...	S_p	Y	I	λ_{max}

Следующим этапом модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив является установление приоритетов альтернатив управления при тушении пожаров в ПС по критериям. Альтернативы управления

сравниваются попарно с целью получения локальных векторов приоритетов по каждому из набора критериев. Матрица попарных сравнений альтернатив по i -му критерию в общем виде (Таблица 2.11):

Таблица 2.11 – Матрица попарных сравнений альтернатив по i -му критерию

	<i>Альтернатива 1</i>	...	<i>Альтернатива n</i>	...	<i>Альтернатива m</i>
<i>Альтернатива 1</i>	1	...	z_{1n}	...	z_{1m}
...
<i>Альтернатива n</i>	z_{n1}	...	1	...	z_{nm}
...
<i>Альтернатива m</i>	z_{m1}	...	z_{mn}	...	1

В результате для каждого i -го критерия будет получен нормализованный вектор приоритетов альтернатив управления при тушении пожаров в ПС: z_{n1}, \dots, z_{mn} .

Далее определяются глобальные приоритеты альтернатив управления при тушении пожаров в ПС:

$$A_l = \sum_{l=1 \dots n}^n (z_{nm} \cdot y_{kr}), \quad (2.11)$$

$$A_{opt} = \max(A_1, \dots, A_l), \quad (2.12)$$

где z_{nm} – значения каждого i -го критерия приоритетов альтернатив управления при тушении пожаров в ПС;

y_{kr} – значения нормализации оценок сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС.

Матрица определения глобальных альтернатив управления при тушении пожаров в ПС в общем виде (Таблица 2.12):

Таблица 2.12 – Матрица определения глобальных альтернатив управления при тушении пожаров в ПС

	<i>Критерий 1</i>	...	<i>Критерий m</i>	...	<i>Критерий n</i>	<i>Оценка</i>
<i>Нормализованный вектор приоритетов критериев</i>	y_{1n}	...	y_{im}	...	y_{in}	
<i>Альтернатива 1</i>	z_{11}	...	z_{1m}	...	z_{1n}	A_1
...
<i>Альтернатива i</i>	z_{i1}	...	z_{im}	...	z_{in}	A_i
...
<i>Альтернатива j</i>	z_{j1}	...	z_{jm}	...	z_{jn}	A_j

Проведенное авторским коллективом исследование [76] показывает ранжированное представление граничных условий при тушении пожара в ПС.

В целях осуществления ранжирования условий выбора управленческих альтернатив (формализации решения задачи поиска наиболее рационального сценария с учетом идентификации граничных условий) необходимо определить временные параметры, характеризующие управленческие альтернативы из множества сформированного набора управленческих альтернатив.

Для решения данной задачи необходимо осуществить формирование структурированной выборки исходных данных, применимых для осуществления моделирования. Для анализа ретроспективных данных и формирования на их основе структурированной выборки проведена формализация процесса тушения пожара на основе описаний произошедших пожаров в ПС.

Определение уровня надежности для проверки результатов ранжирования альтернатив управления возможно для отдельных сценариев (последовательностей действий) при тушении пожара. Так, для рассмотрения свойств конечного множества с заданными отношениями между его элементами – сценариев пожара и вероятных альтернатив управления пожарно-спасательными подразделениями в рамках данных сценариев, исходя из идентифицированных граничных условий при

тушении пожара в ПС, необходимо произвести исследование процесса тушения пожара в ПС. Построим сетевую модель на основе метода сетевого планирования, и выборок из массивов возможных состояний системы в момент времени и работ при тушении пожара в ПС (Таблицы 2.13 и 2.14). Применение методов сетевого планирования [35] для решения задач управления в организационных системах представлено прикладными моделями [32-34, 95].

Представим процесс тушения пожара как последовательность переходов из одного состояния системы в другое посредством выполнения определенных «работ» при тушении пожара в ПС. На основе выборки из массива возможных состояний системы и работ при тушении пожара в ПС, сценарий тушения пожара в ПС описан как ориентированный граф $G(C) = \{C_1, C_2, \dots, C_{20}\}$ (Рисунок 2.16).

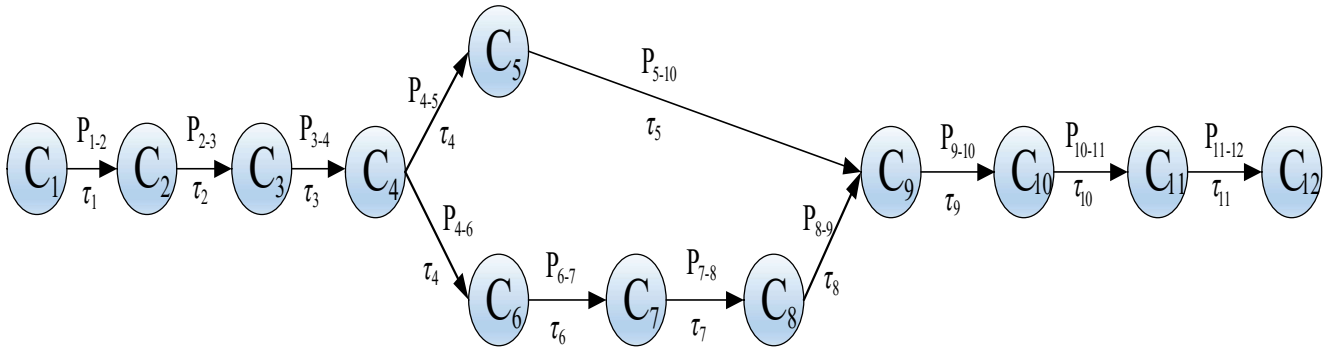


Рисунок 2.16 – Ориентированный граф G реализации типовых состояний при тушении пожара в ПС.

Таблица 2.13 – Выборка из массива возможных состояний системы при тушении пожара в ПС

№ п/п	Наименование состояния системы	Обозначение	τ_0	τ_0 , мин	τ_c	τ_c , мин	τ_{max}	τ_{max} , мин
1.	Возгорание в подземном сооружении	C_1	$\tau_{0(1,2)}$	0,5	$\tau_{c(1,2)}$	3,0	$\tau_{max(1,2)}$	12,0
2.	Обнаружение пожара	C_2	$\tau_{0(2,3)}$	0,08	$\tau_{c(2,3)}$	0,85	$\tau_{max(2,3)}$	1,7
3.	Сообщение о пожаре	C_3	$\tau_{0(3,4)}$	1,5	$\tau_{c(3,4)}$	7,5	$\tau_{max(3,4)}$	10,0
4.	Прибытие ПСП к месту пожара	C_4	$\tau_{0(4,5)}$	0,35	$\tau_{c(4,5)}$	1,0	$\tau_{max(4,5)}$	1,5
5.	Проведена подготовка к боевому развертыванию	C_5	$\tau_{0(5,6)}$	0,35	$\tau_{c(5,6)}$	1,0	$\tau_{max(5,6)}$	1,5

№ п/п	Наименование состояния системы	Обозначение	τ_0	τ_0 , мин	τ_c	τ_c , мин	τ_{max}	τ_{max} , мин
6.	Проведено предварительное боевое развертывания, получен допуск на тушение пожара	C ₆	$\tau_{0(6,7)}$	2,4	$\tau_{c(6,7)}$	4,12	$\tau_{max(6,7)}$	18,0
7.	Обнаружен очаг пожара	C ₇	$\tau_{0(7,8)}$	1,0	$\tau_{c(7,8)}$	8,0	$\tau_{max(7,8)}$	14,0
8.	Проведено полное боевое развертывания	C ₈	$\tau_{0(8,9)}$	0,35	$\tau_{c(8,9)}$	5,7	$\tau_{max(8,9)}$	12,0
9.	Локализация пожара	C ₉	$\tau_{0(9,10)}$	1,0	$\tau_{c(9,10)}$	4,46	$\tau_{max(9,10)}$	14,0
10.	Ликвидация горения	C ₁₀	$\tau_{0(10,11)}$	1,0	$\tau_{c(10,11)}$	8,08	$\tau_{max(10,11)}$	15,0
11.	Ликвидация последствий пожара	C ₁₁	$\tau_{0(11,12)}$	6,0	$\tau_{c(11,12)}$	12,0	$\tau_{max(11,12)}$	20,0
12.	Действия по сбору и возвращению ПСП на места постоянной дислокации выполнены	C ₁₂	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.14 – Выборка из массива возможных работ при тушении пожара в ПС

P_{i-j}	Краткое описание (характеристика) работы	C_i	C_j	τ_0	τ_c	τ_{max}
P_{1-2}	Обнаружение пожара посредством пожарной автоматики, очевидцем или работником организации	C_1	C_2	$\tau_{0(1,2)}$	$\tau_{c(1,2)}$	$\tau_{max(1,2)}$
P_{2-3}	Действия работников эксплуатирующей объект организации или очевидцев по сообщению в пожарную охрану о возгорании, проведение эвакуации из ПС	C_2	C_3	$\tau_{0(2,3)}$	$\tau_{c(2,3)}$	$\tau_{max(2,3)}$
P_{3-4}	Сбор и выезд по тревоги ПСП, следование к месту пожара	C_3	C_4	$\tau_{0(3,4)}$	$\tau_{c(3,4)}$	$\tau_{max(3,4)}$
P_{4-5}	Проведение оперативной оценки обстановки, идентификация граничных условий, определение плана дальнейших действий. Обмен информацией с прибывшими представителями эксплуатирующих объекты организаций и аварийных служб города, оцепление места пожара, проведение мероприятий в рамках подготовки к боевому развертыванию, проведение подготовительных мероприятий и выдача допуска на тушение	C_4	C_5	$\tau_{0(4,5)}$	$\tau_{c(4,5)}$	$\tau_{max(4,5)}$

P_{i-j}	Краткое описание (характеристика) работы	C_i	C_j	τ_0	τ_c	τ_{max}
P_{5-6}	Формирование звена ГДЗС, боевая проверка дыхательных аппаратов, выставление поста безопасности. Определение маршрутов ввода дополнительных сил и средств для тушения пожара в ПС. Выполнение действий по предварительному боевому развертыванию	C_5	C_6	$\tau_{0(5,6)}$	$\tau_{c(5,6)}$	$\tau_{max(5,6)}$
P_{6-7}	Звено (звенья) ГДЗС обнаружили очаг пожара, передача информации РТП и на пост безопасности	C_6	C_7	$\tau_{0(6,7)}$	$\tau_{c(6,7)}$	$\tau_{max(6,7)}$
P_{7-8}	Выполнение действий по полному боевому развертыванию, подача огнетушащего вещества на тушение пожара. Определение необходимого количества дополнительных сил и средств, передача информации в ЦУКС. Создание оперативного штаба тушения пожара на месте пожара. Создание боевых участков тушения пожара на месте пожара. Определение необходимого количественного и качественного состава дополнительных должностных лиц в составе штаба.	C_7	C_8	$\tau_{0(7,8)}$	$\tau_{c(7,8)}$	$\tau_{max(7,8)}$
P_{8-9}	Выполнение действий, направленных на достижение локализации пожара [103]	C_8	C_9	$\tau_{0(8,9)}$	$\tau_{c(8,9)}$	$\tau_{max(8,9)}$
P_{9-10}	Выполнение действий, направленных на достижение ликвидации горения [103]	C_9	C_{10}	$\tau_{0(9,10)}$	$\tau_{c(9,10)}$	$\tau_{max(9,10)}$
P_{10-11}	Выполнение действий, направленных на достижение ликвидации последствий пожара [103]	C_{10}	C_{11}	$\tau_{0(10,11)}$	$\tau_{c(10,11)}$	$\tau_{max(10,11)}$
P_{11-12}	Выполнение действий по сбору оборудования и возвращение на место постоянной дислокации	C_{11}	C_{12}	$\tau_{0(11,12)}$	$\tau_{c(11,12)}$	$\tau_{max(11,12)}$
P_{i-j}^{12}	-	C_{12}	-	-	-	-

Каждое состояние системы C_i тушения пожара в ПС, из приведенных выше, характеризуется параметрами, отражающими состояние системы в определенный момент времени. Данные параметры можно описать как совокупность следующих фактических значений:

$$C_i = \left\{ \begin{array}{l} T_{\text{общ}} = \sum_{j=1}^n \tau_i, i = j + 1 \\ Q_{\text{ф.лок}} = \sum_{k=1}^m q_{\text{ств.лок}k} \cdot n_{\text{ств.лок}k} \\ Q_{\text{ф.зав}} = \sum_{l=1}^m q_{\text{ств.зав}l} \cdot n_{\text{ств.зав}l} \\ I_{\text{ф.лок}} = \frac{Q_{\text{ф.лок}}}{S_{\text{T}}} \\ q_{\text{уд}}^{\text{ф}} = \frac{\sum_{k=1}^m q_{\text{ств.лок}k} \cdot t_{pk}}{S_{\text{п}}^{\text{лок}}} \\ N_{\text{ПА}} = \sum_{x=1}^m n_{\text{ПСП}x} \\ N_{\text{АС}} = \sum_{z=1}^m n_{\text{Ав.бриг}z} \end{array} \right. , \quad (2.13)$$

где $T_{\text{общ}}$ – общее время выполнения работ, мин;

τ_i – время выполнения одной работы, мин;

$Q_{\text{ф.лок}}$ – фактический расход подачи ОТВ на тушение пожара, л/с;

$q_{\text{ств.лок}k}$ – расход одного прибора подачи ОТВ на тушение пожара, л/с;

$n_{\text{ств.лок}k}$ – количество приборов подачи ОТВ;

$Q_{\text{ф.зав}}$ – фактический расход подачи ОТВ для создания водяной завесы, л/с;

$q_{\text{ств.зав}l}$ – расход одного прибора подачи ОТВ для создания водяной завесы, л/с;

$n_{\text{ств.зав}l}$ – количество приборов подачи ОТВ для создания водяной завесы;

$I_{\text{ф.лок}}$ – фактическая интенсивность подачи ОТВ для тушения пожара, л/с·м²;

S_{T} – площадь тушения пожара, м²;

$q_{\text{уд}}^{\text{ф}}$ – удельный фактический расход ОТВ для тушения пожара, л/м²;

t_{pk} – время подачи ОТВ каждым прибором подачи ОТВ, мин;

$S_{\text{п}}^{\text{лок}}$ – площадь локализации пожара, м²;

$N_{\text{ПА}}$ – количество пожарной техники, прибывшей к месту тушения пожара;

$n_{\text{ПСП}x}$ – количество пожарной техники, прибывшей к месту тушения пожара

по ее типам (автоцистерна, автонасос и тд.);

N_{AC} – количество аварийных бригад служб города и эксплуатирующих объект организаций, прибывших к месту тушения пожара;

$n_{\text{Ав.бриг.з}}$ – количество аварийных бригад служб города и эксплуатирующих объект организаций, прибывших к месту тушения пожара по их назначению (водоканал, аварийная газовая служба, службы эксплуатации коммуникационных сооружений и тд.).

Для определения временных параметров построенного графа рассматриваемой системы тушения пожара в ПС необходимо определить точные временные значения, однако продолжительность работы заранее не известна и может принимать лишь одно из ряда возможных значений. Другими словами, продолжительность работы $\tau_{(i)}$ является случайной величиной, характеризующейся своим законом распределения, а значит, своими числовыми характеристиками – средним значением, или математическим ожиданием $m_{(ij)}$ и дисперсией $\sigma_{(ij)}^2$.

На основании работы [35], принято, что распределение продолжительности работ обладает тремя свойствами: непрерывностью; наличием единственного максимума у кривой распределения; двумя точками пересечения кривой распределения с осью x , имеющими неотрицательные абсциссы.

Одним из распределений с подобными свойствами является известное в математической статистике β – распределение. Анализ большого количества статистических данных (хронометражи времени реализации отдельных работ, нормативные данные и т.д.) показывает, что β – распределение имеет высокую степень применимости к рассматриваемому процессу.

Для оценки времени средней продолжительности работы при тушении пожара в ПС (i, j) применим формулы поиска математического ожидания $m_{(ij)}$ и дисперсии $\sigma_{(ij)}^2$:

$$m_{(ij)} = \frac{\tau_0(i, j) + 4\tau_c(i, j) + \tau_{max}(i, j)}{6}, \quad (2.14)$$

$$\sigma_{(ij)}^2 = \left(\frac{\tau_{max}(i, j) - \tau_0(i, j)}{6} \right)^2, \quad (2.15)$$

где $\tau_0(i, j)$ – минимальное оценочное время выполнения работ при тушении пожаров в ПС, мин;

$\tau_c(i, j)$ – среднее время выполнения работ при тушении пожара в ПС, мин;

$\tau_{max}(i, j)$ – максимальное оценочное время выполнения работ при тушении пожаров в ПС, мин.

Так, при достаточно большом количестве последовательных работ, на основании теоремы Ляпунова можно утверждать, что общая продолжительность вместе взятых данных работ имеет нормальный закон распределения со средним значением $m(t)$, равным сумме средних значений продолжительности составляющих его работ $m_{(ij)}$ и дисперсией $\sigma^2(t)$, равной сумме соответствующих дисперсий $\sigma_{(ij)}^2$ [35]:

$$m(t) = \sum_{i,j} m_{(ij)}, \quad (2.16)$$

$$\sigma^2(M) = \sum_{i,j} \sigma_{(ij)}^2, \quad (2.17)$$

где $m_{(ij)}$ – математическое ожидание для работы на месте пожара в ПС (i, j);

$\sigma_{(ij)}^2$ – дисперсия для работы на месте пожара в ПС (i, j).

Для проверки и оценки вероятности того, что полученный результат $m(t)$ не превысит заданных значений $T_{гр.усл}$ параметров граничных условий, предполагая $m(t)$ случайной величиной, имеющей нормальный закон распределения:

$$HN(m(t) \leq T_{гр.усл}) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{T_{гр.усл} - m(t)}{\sigma(M)}\right), \quad (2.18)$$

где $T_{гр.усл}$ – временные значения параметров граничных условий, мин;

$\Phi - \Phi(z)$, значения функции Лапласа определяется по справочным данным [36];

$m(t)$ – сумма значений математических ожиданий для всего процесса тушения пожара в подземном сооружении;

$\sigma(M) = \sqrt{\sigma^2(M)}$, $\sigma^2(M)$ – сумма значений дисперсий для всего процесса тушения пожара в подземном сооружении.

Итоговое значение $HN(m(t) \leq T_{гр.усл})$ сравнивается со значениями, приведенными в Таблице 2.15 для оценки уровня надежности рассматриваемой альтернативы управления при тушении пожара в ПС. Если альтернатива не

соответствует требуемой надежности, то она не включается в итоговый набор альтернатив для рассматриваемых сценариев тушения пожара в ПС.

Таблица 2.15 – Классификация уровней надежности реализации альтернативы управления тушения пожара в подземном сооружении

Маркировка уровня	1	2	3	4	5
Значения R для $HN(m(t) \leq T_{гр,усл})$	$HN = 0,5$	$0,65 > HN > 0,5$	$0,8 > HN \geq 0,65$	$0,95 > HN \geq 0,8$	$HN \geq 0,95$
Уровень					
	Очень слабый	Слабый	Средний	Высокий	Очень высокий

Если полученное значение HN не соответствует требуемому уровню надежности, то производится расчет максимального времени выполнения работ T_R :

$$T_R = m(t) + z_\beta \cdot \sigma(M), \quad (2.19)$$

где $m(t)$ – сумма значений математических ожиданий для всего процесса тушения пожара в подземном сооружении;

z_β – нормированное отклонение случайной величины, определяемое с помощью функции Лапласа (определяется по справочным данным) [36];

$\sigma(M) = \sqrt{\sigma^2(M)}$, $\sigma^2(M)$ – сумма значений дисперсий для всего процесса тушения пожара в подземном сооружении.

Результаты экспертной оценки критериев ранжирования альтернатив управления представлены в работе [76], проведенной авторским коллективом. Проведено ранжирование условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в ПС. Рассмотрим выборку альтернатив управления для сценария тушения пожара в ПС, которые характеризуются представленными параметрами со значениями, представленными в Таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Исходные данные для ранжирования альтернатив

Критерии	Альтернативы управления		
	Альтернатива 1	Альтернатива 2	Альтернатива 3
$T_{лик}$	68,0 мин	71,6 мин	67,8 мин
$Q_{лок}$	16 л/с	20 л/с	14 л/с
$I_{лок}$	0,44 л/с·м ²	0,47 л/с·м ²	0,38 л/с·м ²
$N_{ПА}$	3 ед.	4 ед.	3 ед.
$N_{зв..ГДЗС}$	3 ед.	4 ед.	3 ед.
$N_{р.ств.туш}$	2 ед.	3 ед.	2 ед.
$N_{рукавов}$	18 ед.	28 ед.	16 ед.
$L_{в.ист}$	35 м	15 м	35 м
$N_{АС}$	4 ед.	4 ед.	4 ед.

Исходя из характера сравниваемых критериев, разобьём представленные критерии для рассматриваемого сценария тушения пожара на 2 группы критериев: 1-я группа ($N_{ПА.общ}$; $N_{зв..ГДЗС}$; $N_{р.ств.туш}$; $N_{рукавов}$; $N_{АС}$), 2-я группа ($T_{лик}$; $Q_{лок}$; $I_{лок}$; $L_{в.ист}$).

Исходя из представленных критериев, матрицы сравнения критериев выбора альтернатив управления при тушении пожаров в ПС будут иметь вид (Таблицы 2.17, 2.18):

Таблица 2.17 – Матрица сравнения № 1

Критерии	$N_{ПА}$	$N_{зв..ГДЗС}$	$N_{р.ств.туш}$	$N_{рукавов}$	$N_{АС}$
$N_{ПА}$	1	3	5	7	9
$N_{зв..ГДЗС}$	1/3	1	3	3	5
$N_{р.ств.туш}$	1/5	1/3	1	3	3
$N_{рукавов}$	1/7	1/3	1/3	1	3
$N_{АС}$	1/9	1/5	1/3	1/3	1

Таблица 2.18 – Матрица сравнения № 2

Критерии	$T_{лик}$	$Q_{лок}$	$I_{олок}$	$L_{в.ист}$
$T_{лик}$	1	7	5	3
$Q_{лок}$	1/7	1	1/3	1
$I_{олок}$	1/5	3	1	3
$L_{в.ист}$	1/3	1	1/3	1

Произведем оценку компонент собственного вектора по каждому критерию сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС y_r :

Для матрицы № 1:

$$y_1 = \sqrt[5]{\prod_{j=1}^5 a_{1j}} = \sqrt[5]{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9} = 3,936,$$

$$y_2 = \sqrt[5]{\prod_{j=1}^5 a_{2j}} = \sqrt[5]{1/3 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5} = 1,719,$$

$$y_3 = \sqrt[5]{\prod_{j=1}^5 a_{3j}} = \sqrt[5]{1/5 \cdot 1/3 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3} = 0,903.$$

Аналогичным образом рассчитываются значения для остальных критериев:

$$y_4 = 0,544; y_5 = 0,301.$$

Для матрицы № 2:

$$y_1 = 3,201; y_2 = 0,467; y_3 = 1,158; y_4 = 0,577.$$

Производится нормализация оценок сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС y_{kr} :

Для матрицы № 1:

$$y_{k1} = \frac{y_1}{\sum_{i=1}^5 y_i} = \frac{3,936}{7,403} = 0,532,$$

$$y_{k2} = \frac{y_2}{\sum_{i=1}^5 y_i} = \frac{1,719}{7,403} = 0,232,$$

$$y_{k3} = \frac{y_3}{\sum_{i=1}^5 y_i} = \frac{0,903}{7,403} = 0,121,$$

$$y_{k4} = 0,073; y_{k5} = 0,042.$$

Для матрицы № 2:

$$y_{k1} = 0,593; y_{k2} = 0,086; y_{k3} = 0,214; y_{k4} = 0,107.$$

Для определения согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС необходимо произвести вычисление максимального собственного числа матрицы λ_{max} :

Для матрицы № 1:

$$\lambda_1 = \sum_{i=1}^5 a_{i1} \cdot y_{k1} = \left(1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{9}\right) \cdot 0,532 = 0,950,$$

$$\lambda_2 = \sum_{i=1}^5 a_{i2} \cdot y_{k2} = \left(3 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}\right) \cdot 0,232 = 1,129,$$

$$\lambda_3 = \sum_{i=1}^5 a_{i3} \cdot y_{k3} = \left(5 + 3 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right) \cdot 0,121 = 1,170,$$

$$\lambda_4 = 1,046; \lambda_5 = 0,882.$$

$$\lambda_{max1} = \sum_{i=1}^n \lambda_r = 0,950 + 1,129 + 1,170 + 1,046 + 0,882 = 5,177.$$

Для матрицы № 2:

$$\lambda_1 = 0,994; \lambda_2 = 1,032; \lambda_3 = 1,426; \lambda_4 = 0,856.$$

$$\lambda_{max2} = \sum_{i=1}^n \lambda_r = 0,994 + 1,032 + 1,426 + 0,856 = 4,308.$$

Далее, вычисляем индекс согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (ИС):

Для матрицы № 1:

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5,177 - 5}{5 - 1} = 0,044.$$

Для матрицы № 2:

$$ИС = \frac{4,308 - 4}{4 - 1} = 0,102.$$

Вычисляем оценку согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (ОС):

Для матрицы № 1:

$$ОС = \frac{ИС}{СС} = \frac{0,044}{1,12} = 0,039.$$

Для матрицы № 2:

$$ОС = \frac{0,102}{0,9} = 0,113.$$

Проведем оценку согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС согласно неравенства (2.10):

Матрица № 1 – согласована.

Матрица № 2 – имеет приемлемую согласованность матрицы.

Следующим этапом модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив является установление приоритетов альтернатив управления при тушении пожаров в ПС по критериям. Альтернативы управления сравниваются попарно с целью получения локальных векторов приоритетов по каждому из набора критериев (Таблица 2.19):

По первой группе критериев:

1.1. По критерию $N_{ПА}$:

Таблица 2.19 – Матрица сравнения альтернатив управления по критерию $N_{ПА}$

$N_{ПА}$	Альтернатива 1	Альтернатива 2	Альтернатива 3
Альтернатива 1	1	5	1
Альтернатива 2	1/5	1	1/5
Альтернатива 3	1	5	1

Произведем оценку компонент собственного вектора по каждой альтернативе управления при тушении пожаров в ПС y_i :

$$y_1 = \sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{1j}} = \sqrt[3]{1 \cdot 5 \cdot 1} = 1,71,$$

$$y_2 = \sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{2j}} = \sqrt[3]{1/5 \cdot 1 \cdot 1/5} = 0,342,$$

$$y_3 = \sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{3j}} = \sqrt[3]{1 \cdot 5 \cdot 1} = 1,71.$$

Производится нормализация оценок сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС y_{in} :

$$y_{k1} = \frac{y_1}{\sum_{i=1}^3 y_i} = \frac{1,71}{3,762} = 0,454,$$

$$y_{k2} = \frac{y_2}{\sum_{i=1}^3 y_i} = \frac{0,342}{3,365} = 0,092,$$

$$y_{k3} = \frac{y_3}{\sum_{i=1}^3 y_i} = \frac{1,71}{3,365} = 0,454.$$

Для определения согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС необходимо произвести вычисление максимального собственного числа матрицы λ_{max} :

$$\lambda_1 = \sum_{i=1}^3 a_{i1} \cdot y_{k1} = \left(1 + \frac{1}{5} + 1\right) \cdot 0,454 = 0,999,$$

$$\lambda_2 = \sum_{i=1}^3 a_{i2} \cdot y_{k2} = (5 + 1 + 5) \cdot 0,092 = 1,012,$$

$$\lambda_3 = \sum_{i=1}^3 a_{i3} \cdot y_{k3} = \left(1 + \frac{1}{5} + 1\right) \cdot 0,429 = 0,999,$$

$$\lambda_{max1.1} = \sum_{i=1}^n \lambda_r = 0,999 + 1,012 + 0,999 = 3,01.$$

Далее, вычисляем индекс согласованности матрицы сравнения управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (ИС):

Для матрицы № 1:

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,01 - 3}{3 - 1} = 0,005.$$

Вычисляем оценку согласованности матрицы сравнения управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (ОС):

Для матрицы № 1:

$$ОС = \frac{ИС}{СС} = \frac{0,005}{0,58} = 0,009.$$

Проведем оценку согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (Таблица 2.20) согласно неравенству (2.10):

Матрица – согласована.

Таблица 2.20 – Матрица попарных сравнений альтернатив для критерия $N_{ПА}$

$N_{ПА}$	Альтернатива 1	Альтернатива 2	Альтернатива 3	y_r	y_{kr}	λ_r
Альтернатива 1	1	5	1	1,71	0,454	0,999
Альтернатива 2	1/5	1	1/5	0,342	0,092	1,012
Альтернатива 3	1	5	1	1,171	0,454	0,999
Σ	2,2	11	2,2	3,762	1	3,01

Аналогичным образом находятся значения нормализации оценок сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС y_{kr} для остальных критериев и вносятся в матрицу определения глобальных альтернатив управления при тушении пожаров в ПС для первой группы критериев (Таблица 2.21).

Таблица 2.21 – Матрица определения глобальных альтернатив управления при тушении пожаров в ПС для первой группы критериев

Критерий	$N_{ПА}$	$N_{зв..ГДЗС}$	$N_{р.ств.туш}$	$N_{рукавов}$	$N_{АС}$	Оценка
Нормализованный вектор приоритетов критериев	0,532	0,232	0,212	0,073	0,042	-
Альтернатива 1	0,454	0,454	0,454	0,191	0,333	0,366
Альтернатива 2	0,092	0,454	0,092	0,712	0,334	0,239
Альтернатива 3	0,454	0,092	0,454	0,097	0,333	0,380

По второй группе критериев:

2.1. По критерию $T_{лик}$ (Таблица 2.22):

Таблица 2.22 – Матрица сравнения альтернатив управления по критерию $T_{лик}$

$T_{лик}$	Альтернатива 1	Альтернатива 2	Альтернатива 3
Альтернатива 1	1	3	1/3
Альтернатива 2	1/3	1	1/5
Альтернатива 3	3	5	1

Произведем оценку компонент собственного вектора по каждой альтернативе управления при тушении пожаров в ПС y_i :

$$y_1 = \sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{1j}} = \sqrt[3]{1 \cdot 5 \cdot 1/3} = 1,0,$$

$$y_2 = \sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{2j}} = \sqrt[3]{1/5 \cdot 1 \cdot 1/3} = 0,405,$$

$$y_3 = \sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{3j}} = \sqrt[3]{3 \cdot 3 \cdot 1} = 2,466.$$

Производится нормализация оценок сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС y_{in} :

$$y_{k1} = \frac{y_1}{\sum_{i=1}^3 y_i} = \frac{1,0}{3,872} = 0,258,$$

$$y_{k2} = \frac{y_2}{\sum_{i=1}^3 y_i} = \frac{0,405}{3,872} = 0,105,$$

$$y_{k3} = \frac{y_3}{\sum_{i=1}^3 y_i} = \frac{2,466}{3,872} = 0,637.$$

Для определения согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС необходимо произвести вычисление максимального собственного числа матрицы λ_{max} :

$$\lambda_1 = \sum_{i=1}^3 a_{i1} \cdot y_{k1} = \left(1 + \frac{1}{3} + 3\right) \cdot 0,258 = 1,119,$$

$$\lambda_2 = \sum_{i=1}^3 a_{i2} \cdot y_{k2} = (3 + 1 + 5) \cdot 0,105 = 0,943,$$

$$\lambda_3 = \sum_{i=1}^3 a_{i3} \cdot y_{k3} = \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{5} + 1\right) \cdot 0,637 = 0,977,$$

$$\lambda_{max1.1} = \sum_{i=1}^n \lambda_r = 1,119 + 0,943 + 0,977 = 3,039.$$

Далее, вычисляем индекс согласованности матрицы сравнения управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (ИС):

Для матрицы № 1:

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,039 - 3}{3 - 1} = 0,019.$$

Вычисляем оценку согласованности матрицы сравнения управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (ОС):

Для матрицы № 1:

$$ОС = \frac{ИС}{СС} = \frac{0,019}{0,58} = 0,033.$$

Проведем оценку согласованности матрицы сравнения критериев выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС (Таблица 2.23) согласно неравенству (2.10):

Матрица – согласована.

Таблица 2.23 – Матрица попарных сравнений альтернатив для критерия $T_{лик}$

Альтернатива	№ 1	№ 2	№ 3	y_r	y_{kr}	λ_r
№ 1	1	3	1/3	1,00	0,258	1,119
№ 2	1/3	1	1/5	0,405	0,105	0,943
№ 3	3	5	1	2,466	0,637	0,977
Σ	4,33	9	1,53	3,872	1	3,039

Аналогичным образом находятся значения нормализации оценок сравнения альтернатив управления при тушении пожаров в ПС y_{in} для остальных критериев и вносятся в матрицу определения глобальных альтернатив z_n управления при тушении пожаров в ПС для второй группы критериев (Таблица 2.24).

Таблица 2.24 – Матрица определения глобальных альтернатив управления при тушении пожаров в ПС для второй группы критериев

<i>Критерий</i>	$T_{лик}$	$Q_{лок}$	$I_{олок}$	$L_{в.ист}$	<i>Оценка</i>
<i>Нормализованный вектор приоритетов критериев</i>	0,593	0,086	0,214	0,107	-
<i>Альтернатива 1</i>	0,258	0,258	0,213	0,143	0,236
<i>Альтернатива 2</i>	0,105	0,105	0,110	0,714	0,171
<i>Альтернатива 3</i>	0,637	0,637	0,677	0,143	0,593

$$A_{opt1} = \max(A_1, \dots, A_3) = \max(0,366, 0,239, 0,380) = 0,380,$$

$$A_{opt2} = \max(A_1, \dots, A_3) = \max(0,236, 0,171, 0,593) = 0,593.$$

Что соответствует альтернативе № 3 по обеим группам критериев.

Расчет временных значений для осуществления оценки альтернатив для отдельных действий (последовательностей действий) выполним на основании выборки возможных состояний системы при тушении пожара в ПС.

Произведем оценку времени средней продолжительности работы при тушении пожара в ПС для рассматриваемого примера (i, j):

$$m_{(1,2)} = \frac{0,5 + 4 \cdot 3,0 + 12,0}{6,0} = 4,08,$$

$$m_{(2,3)} = \frac{0,08 + 4 \cdot 0,85 + 1,7}{6,0} = 0,86,$$

$$m_{(3,4)} = \frac{1,5 + 4 \cdot 7,5 + 10,0}{6,0} = 6,92.$$

Аналогичным образом рассчитываются значения для остальных работ:

$$m_{(4,5)} = 0,98; \quad m_{(5,6)} = 0,98; \quad m_{(6,7)} = 6,14; \quad m_{(7,8)} = 7,83; \quad m_{(8,9)} = 5,86;$$

$$m_{(9,10)} = 5,47; \quad m_{(10,11)} = 8,05; \quad m_{(11,12)} = 12,33.$$

$$\sigma_{(1,2)}^2 = \left(\frac{12 - 0,5}{6,0} \right)^2 = 3,67,$$

$$\sigma_{(2,3)}^2 = \left(\frac{1,7 - 0,08}{6,0} \right)^2 = 0,07,$$

$$\sigma_{(3,4)}^2 = \left(\frac{10 - 1,5}{6,0} \right)^2 = 2,0.$$

Аналогичным образом рассчитываются значения для остальных работ:

$$\sigma_{(4,5)}^2 = 0,036; \quad \sigma_{(5,6)}^2 = 0,036; \quad \sigma_{(6,7)}^2 = 6,76; \quad \sigma_{(7,8)}^2 = 4,69; \quad \sigma_{(8,9)}^2 = 3,77;$$

$$\sigma_{(9,10)}^2 = 4,69; \quad \sigma_{(10,11)}^2 = 5,44; \quad \sigma_{(11,12)}^2 = 5,44.$$

Найдем суммарные значения оценок времени средней продолжительности работы при тушении пожара в ПС:

$$m(t) = 4,08 + 0,86 + 6,92 + 0,98 + 0,98 + 6,14 + 7,83 + 5,86 + 5,47$$

$$+ 8,05 + 12,33 = 59,51,$$

$$\sigma^2(M) = 3,67 + 0,07 + 2,0 + 0,036 + 0,036 + 6,76 + 4,96 + 3,77 + 4,69$$

$$+ 5,44 + 4,44 = 36,63,$$

$$\sigma(M) = \sqrt{\sigma^2(M)} = \sqrt{36,63} = 6,05.$$

Вычислим значение $HN(m(t) \leq T_{гр.усл})$ при $m(t) = 59,51$ мин, $T_{гр.усл} = 68$ мин.

$$HN(m(t) \leq 68) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi \left(\frac{68 - 59,51}{6,05} \right) = 0,919.$$

$$\Phi(1,403) \approx 0,83849.$$

Сравнивая полученное значение с диапазонами уровней надежности реализации альтернативы управления тушения пожара в подземном сооружении данная альтернатива управления при тушении пожара в ПС характеризуется высоким уровнем надежности.

Рассмотрим срок реализации управленческой альтернативы для данных условий с надежностью равной 0,95:

$$T_{0,95} = 59,51 + 1,96 \cdot 6,05 = 71,37 \text{ мин.}$$

Рассмотрим срок реализации управленческой альтернативы для данных условий с надежностью по нижней границе диапазона высокого уровня равной 0,8:

$$T_{0,8} = 60,48 + 1,29 \cdot 6,05 = 67,25 \text{ мин.}$$

Таким образом можно сделать вывод о наличии нескольких альтернатив управления для принятых условий на основе выборки возможных состояний системы при тушении пожара в ПС, рассматриваемых как пример. Критерии, по которым осуществляется выбор альтернатив управления при тушении пожара в ПС, сравнение альтернатив управления, и определяющие приоритеты данных альтернатив управления, показали актуальный результат, применимый для моделирования действий ПСП.

Следовательно, модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП [86, 88] направлена на решение поставленной задачи по формированию массива альтернатив управления на основе идентификации граничных условий, возникающих при тушении на месте пожара в ПС, а также выбора управленческой альтернативы тушения пожара, наиболее рациональной в складывающейся обстановке. Также модель направлена на определение временных параметров, характеризующих управленческие альтернативы и уровня надежности реализации альтернативы управления тушения пожара в подземном сооружении.

Решена задача по разработке модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП. Полученная модель позволяет осуществлять разработку альтернатив управления при предварительном планировании действий по тушению пожара в ПС и решает задачу заблаговременного построения массива альтернатив управления при тушении пожара в ПС. Решение задачи поиска наиболее благоприятного сценария развития и тушения пожара в ПС, сравнения и выбора наиболее оптимальной альтернативы управления осуществляется на основе ранжирования условий

выбора управленческих альтернатив из построенного набора, что позволяет повысить оперативность принятия управленческих решений в условиях неопределенности при ведении тушения пожара в ПС.

2.1.3 Разработка иерархической модели организации взаимодействия на месте пожара в подземных сооружениях

Взаимодействие РТП с аварийными службами эксплуатации объекта, на котором осуществляется тушение пожара, службами города и ФОИВ происходит в рамках складывающейся оперативной обстановки и на определенной территории. РТП необходимо определить конкретную зону тушения пожара и сообщить об этом всем участникам работ. Организацию взаимодействия (включая привлечение дополнительных должностных лиц в состав ШПТ) и управления СиС при тушении пожара РТП реализует в граничных условиях, возникающих при тушении пожара в ПС.

Идентификация граничных условий пожаротушения и их учет при выборе управленческих альтернатив необходимы как условие организации взаимодействия с аварийными службами эксплуатирующих объекты организаций и города. Смоделируем организацию взаимодействия на месте пожара в граничных условиях организационной системы тушения пожара в ПС (Рисунок 2.17).

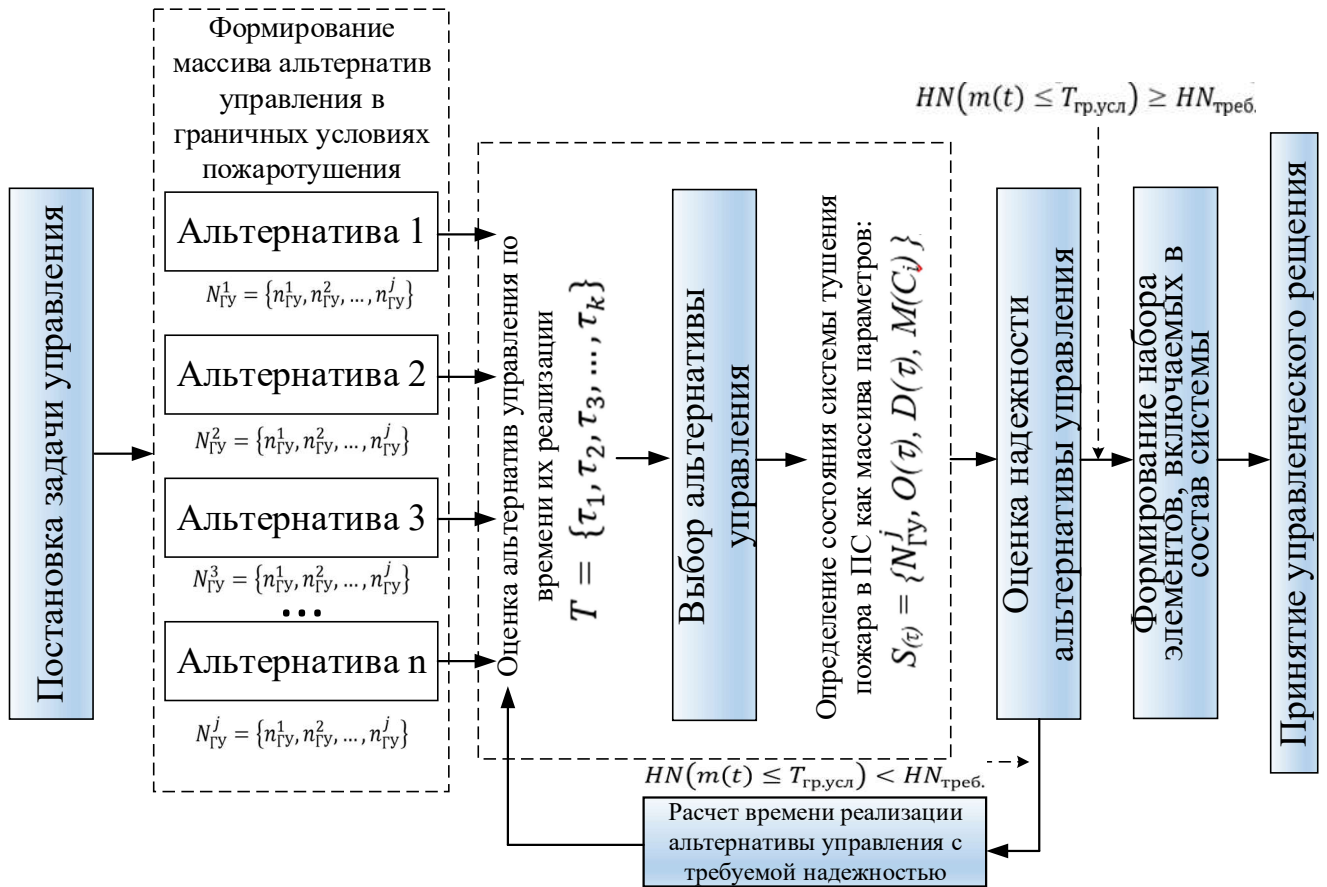


Рисунок 2.17 – Модель (иерархическая) организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в ПС. $N_{гв}^j$ – множество граничных условий пожаротушения в ПС, T – множество времен, описывающее последовательность действий ПСП на месте пожара, $S_{(t)}$ – состояние системы решения задачи управления по организации взаимодействия с аварийными службами на месте пожара в ПС, $HN(m(t) \leq T_{гр,усл}) \geq HN_{треб.}$ - условие надежности выбранных альтернатив управления

Качественное изменение обстановки, сложившейся на пожаре – достижение основной боевой задачи путем выполнения комплексного условия взаимодействия, основывается на анализе граничных условий пожаротушения, которые в свою очередь, оказывают воздействие, как на развитие обстановки, так и на ЛПР. Анализ и учет данных параметров позволяет сократить количество неизвестных при выборе управленческих альтернатив. Это достигается при использовании разработанной иерархической модели организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте

пожара в ПС. Необходимость осуществления организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующей организации, а также включения дополнительных элементов в рассматриваемую систему является комплексным условием взаимодействия.

Например, производя ранжирование действий по тушению пожара и выбор решающего направления на пожаре на основе изложенного подхода в [7], РТП, взаимодействуя с начальником штаба АСР или при принятии решения о включении в штаб пожаротушения дополнительных должностных лиц и (или) представителей аварийных служб эксплуатирующей объект организации или города, имеет возможность предварительно оценить условия принятия управленческих решений с учетом минимизации негативных последствий принятых решений и наиболее эффективного достижения основной боевой задачи на пожаре в ПС. Поэтому интеграция представленного подхода возможна в разработанную модель как один из факторов минимизации риска и определения действий в рамках обоснованного риска и крайней необходимости на пожаре.

Данная модель рассматривается в трехуровневом значении через призму комплексного взаимодействия, включая решение задачи привлечения дополнительных элементов структуры в состав ШПТ, предполагая структуризацию для четкого разграничения связей управления и информации. Каждый из элементов решает определенные задачи, например, центр управления в кризисных ситуациях (далее – ЦУКС) обеспечивает управление силами и средствами, предназначенными для предупреждения и ликвидации ЧС, происшествий на водных объектах, ликвидации дорожно-транспортных происшествий, а также силами и средствами, предназначенными и выделяемыми для борьбы с пожарами на соответствующей территории, сбор и передачу информации о происшествии и др. [92].

Так, на первом (руководящем) уровне происходит анализ сложившейся стратегической обстановки в зоне проведения работ по ликвидации чрезвычайной ситуации и тушения пожара в ПС, обмен полученной информацией, взаимодействие по организации обмена, передача распоряжений руководителем

штаба АСР (далее – РШАСР) (при его создании) руководителю тушения пожара, инженерно-техническим работникам (далее – ИТР) и иным, по условиям важности, лицам, группам лиц и организациям, участвующим в штабе АСР, что необходимо для достижения успешного результата выполнения работ. Также на данном уровне происходит обмен информацией между участниками штаба АСР. Происходит принятие и передача решений на второй (транзитный) уровень разработанной иерархической модели, получение обратной связи по полученным распоряжениям и обмен со вторым уровнем информацией о тактической обстановке в зоне проведения работ, что позволяет руководителям работ формировать комплексное представление о развитии обстановки при ликвидации ЧС и тушении пожара в ПС.

Второй уровень является тактическим центром руководства работами непосредственно на боевых участках, участках выполнения аварийно-спасательных и аварийных работ аварийными службами организации и города. Производится сбор информации об обстановке непосредственно в зоне тушения пожара, месте тушения пожара и т.д., также происходит взаимодействие между участниками данного уровня по информационному обмену и осуществляется формирование массива управленческих альтернатив. Так, начальник оперативного штаба на месте пожара (далее – НШ) организует контрольно-пропускной пункт ГДЗС (далее – КПП), службы тыла на пожаре и передает распоряжения на третий (исполнительный) уровень модели – начальникам боевых участков (далее – БУ) и получает обратную связь по выполнению данных распоряжений.

Третий уровень предполагает тактическую работу по тушению пожара, проведению АСР и других аварийных работ, наблюдение за непосредственным изменением обстановки и доклад об ее изменении на второй уровень модели. Так, постовой на посту безопасности газодымозащитной службы (далее – ПБ) наблюдает за изменением обстановки у входа в непригодную для дыхания среду, ведет обмен информацией со звеньями газодымозащитной службы и сообщает обо всех изменениях начальнику КПП. Работой звеньев ГДЗС на боевом участке руководит начальник БУ, который дает распоряжения командирам звеньев

газодымозащитной службы и принимает от них информацию о выполнении поставленных задач и изменении обстановки, а также передает ее НШ. Организованное информационное взаимодействие с аварийно-спасательными службами, непосредственно производящими работы, аварийными службами эксплуатирующих объекты организаций и города, дежурным полицейским и иными должностными лицами позволяет элементам данного уровня опираться на комплексное взаимодействие при решении поставленных на пожаре задач.

Для выбора актуальных решений и их реализации в сложившейся окружающей обстановке, лицо, принимающее решение, должно оперативно получать информацию обо всех изменениях структурных элементов системы взаимодействия. Соответственно, иерархическая структура организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в ПС (Рисунок 2.18) моделирует взаимодействующие между собой элементы и связи между ними, каждый из которых осуществляет поиск решений детерминированного спектра поставленных задач управления.

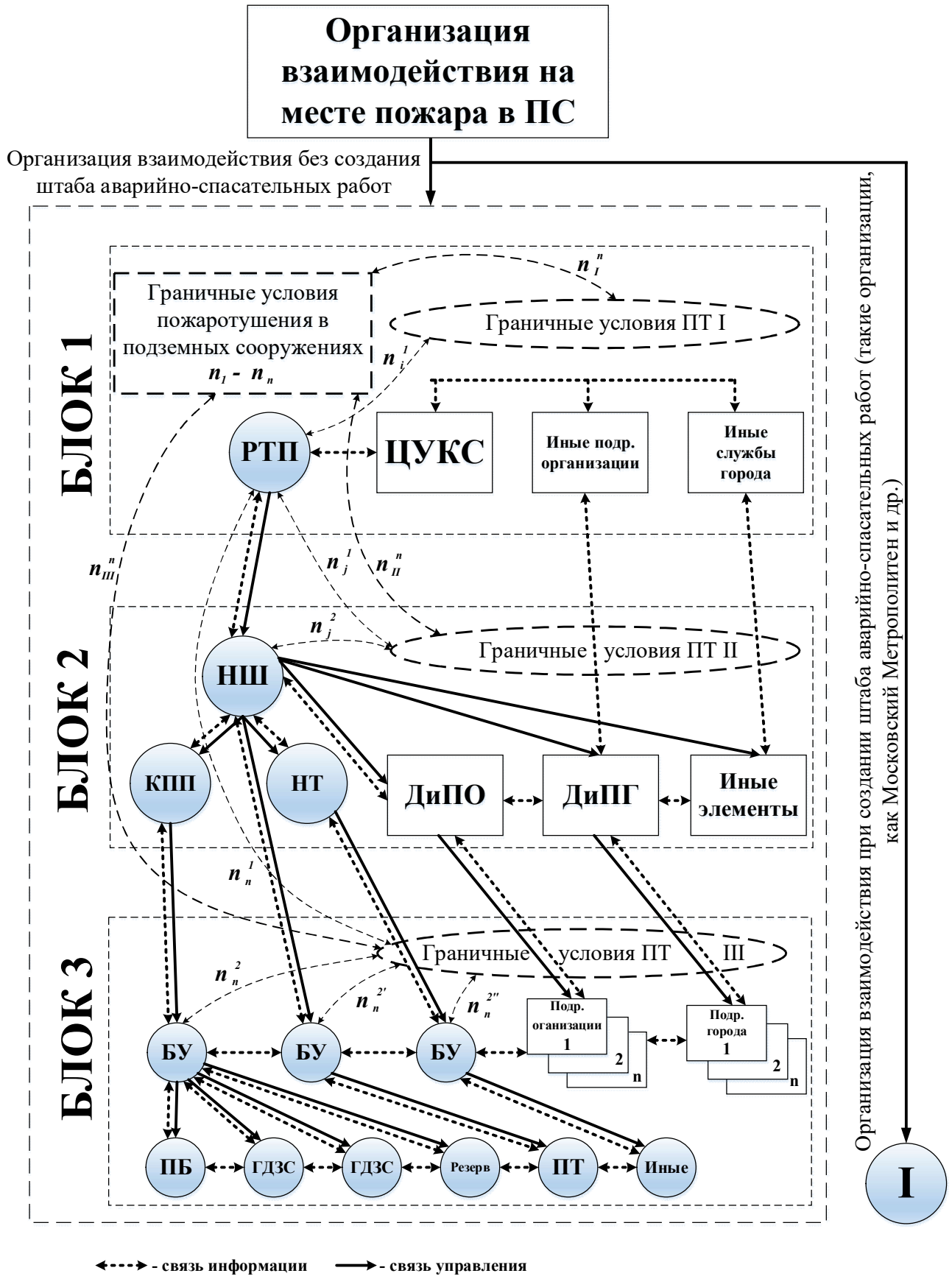


Рисунок 2.18 – Иерархическая структура организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС без создания штаба аварийно-спасательных работ

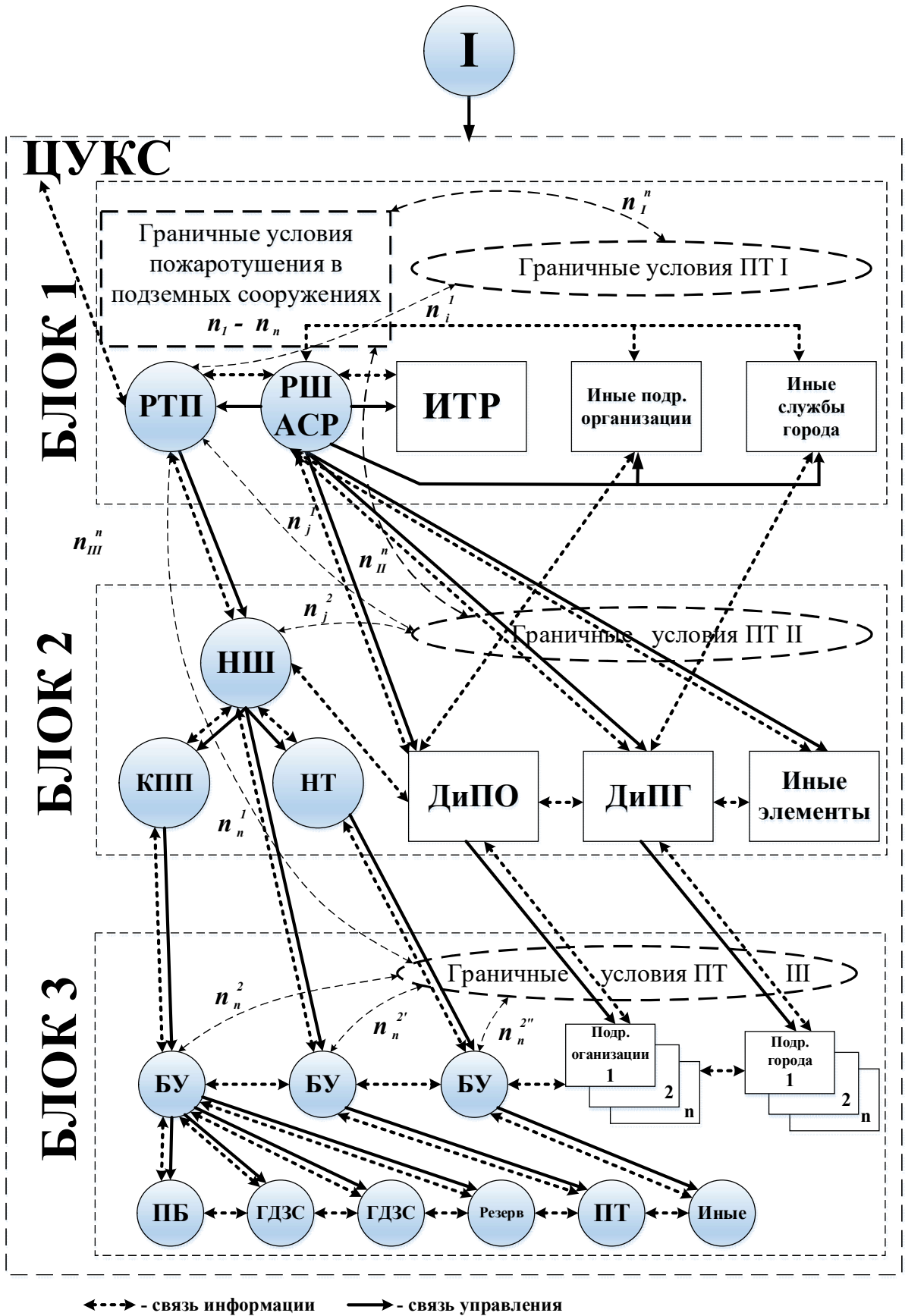


Рисунок 2.19 – Иерархическая структура организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС при создании штаба аварийно-спасательных работ

На Рисунках 2.18, 2.19: ЦУКС – центр управления в кризисных ситуациях, РТП – руководитель тушения пожара, РШАСР – руководитель штаба аварийно-спасательных работ, ИТР – инженерно-технические работники, НШ – начальник штаба пожаротушения, КПП – контрольно-пропускной пункт ГДЗС, НТ – начальник тыла, ДиПО – диспетчер и подразделения организации, ДиПГ – диспетчер и подразделения города, БУ – боевой участок, ПБ – пост безопасности, ГДЗС – звено газодымозащитной службы, ПТ – пожарная техника.

В целях разработки модели организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объектами организаций на месте пожара в ПС и обоснованного построения иерархической структуры управления взаимодействием на месте пожара в ПС формализуем структуру управления взаимодействием на месте пожара.

Представим последовательность действий ПСП и аварийных служб на месте пожара в ПС как дискретное множество времён:

$$T = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_k\}, \quad (2.20)$$

где $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ – отрезки времен, обозначающие время на выполнение операций, представленных на этапах тушения пожара.

Определим характеристику воздействия на систему решения задач управления СиС при тушении пожара в ПС следующим массивом множеств:

$$S(\tau) = \{N_{\text{ГУ}}^j, O(\tau), D(\tau), M(C_i)\}, \quad (2.21)$$

где $N_{\text{ГУ}}^j$ – набор (множество) идентифицированных граничных условий пожаротушения в ПС (в том числе количество аварийных служб и бригад, взаимодействующих на месте пожара организаций и города);

$O(\tau), D(\tau)$ – множества функций решения задачи управления составом системы на месте пожара в подземном сооружении (2.13);

$M(C_i)$ – множество показателей, характеризующих состояние системы пожаротушения на месте пожара в ПС (например количество пожарной техники, звеньев ГДЗС, напорных рукавов для прокладки рабочих и магистральных линий, расход и интенсивность огнетушащего вещества и т.д.).

$$O(\tau) = \{x(0), F(SH), F(SH, \emptyset), \tau_k\}, \quad (2.22)$$

$$D(\tau) = \{x(\tau), F(SH), F(SH, SH_0), i(\tau_k)\}. \quad (2.23)$$

Массив действий, направленных на организацию взаимодействия в граничных условиях, является формализованным описанием изменяющейся системы управления взаимодействием на месте пожара в ПС за отрезок времени τ_k . Допустим, что в момент времени $\tau_k = 0$ система находится в состоянии $x(0)$, тогда при решении задачи управления составом системы $F(SH)$ (первоначально решается задача формирования состава штаба пожаротушения $F(SH, \emptyset)$) система оказывается в состоянии $x(\tau)$, которое характеризуется параметрами C_i . Далее решается задача оптимизации состава штаба пожаротушения (при необходимости) $F(SH, SH_0)$, что позволяет перейти через временной интервал $i(\tau_k) = \tau_k + t_i$, где t_i – необходимое время на решение каждой последующей задачи, к следующему состоянию системы пожаротушения в ПС с учетом новых данных об обстановке на месте пожара.

Например, элементами системы взаимодействия, в зависимости от складывающейся обстановки, могут выступать: ПСП, службы федеральных органов исполнительной власти (ГИБДД, СМП и др.), аварийные и эксплуатационные службы города (такие как водоканал, аварийная газовая служба, службы эксплуатации коммуникационных сооружений, электросетевые компании и др.), аварийные и дежурные службы эксплуатирующей организации (дежурный инженер, дежурный электрик, дежурный сантехник и др.).

Исходя из того, что на систему пожаротушения при тушении пожара в ПС $S_{(t)}$ налагаются ограничения (определяемые подмножеством значений граничных условий $N_{\text{ГВ}}^j$, зададим множество целей, которые необходимо достичь в заданный промежуток времени (например, достижение локализации пожара, ликвидации горения, выполнение развертывания сил и средств и т.д.).

Так как исходная задача управления определена, и рассматриваемая модель адекватна реальному объекту, следовательно, представим организационную систему управления взаимодействием на месте пожара в ПС как систему управления в виде последовательности элементов [51], выполняющих заданные

функции (регуляторов) при тушении пожара в ПС (Последовательность элементов структуры управления взаимодействием на месте пожара в ПС представлена на Рисунке 2.20), решающих соответствующие компетенциям задачи.

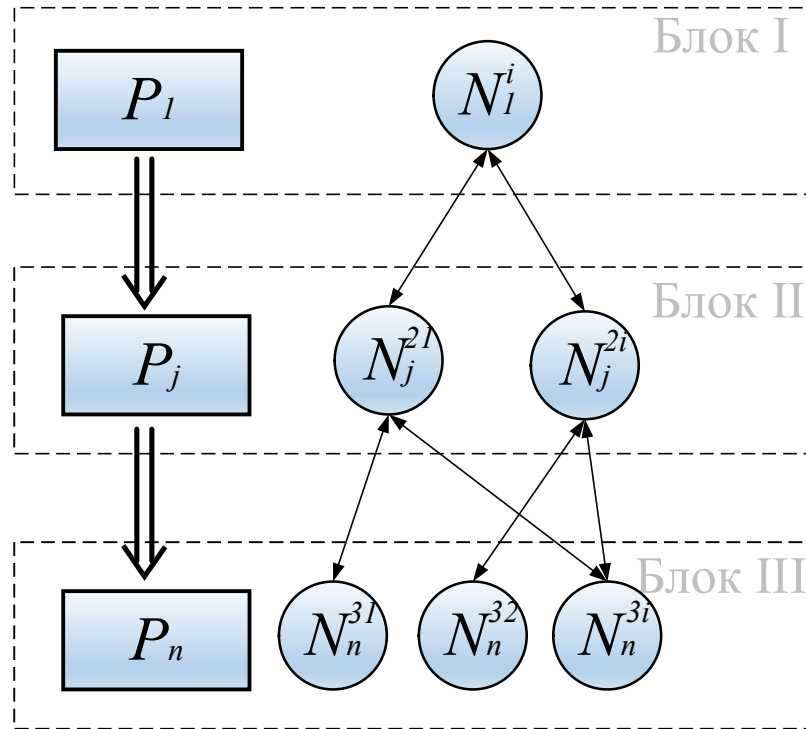


Рисунок 2.20 – Последовательность элементов структуры управления взаимодействием на месте пожара в ПС

Для каждого элемента в рассматриваемой структуре управления, таких как начальники сектора или участка тушения пожара, объектом управления, в аспекте, является совокупность элементов, подчиненных ему и управляемых им уровней или подсистем. Это означает, что элемент структуры более высокого уровня управления принимает решения, которые влияют на работу и функционирование подчиненных ему подструктур. Элемент рассматриваемой структуры управления, более высокого уровня управления также отвечает за координацию действий подчиненных ему элементов и обеспечение достижения общих целей управления всей структуры [81, 96, 99, 100].

Обозначим взаимодействующие подсистемы из которых состоит объект как $P = \{P_1, \dots, P_j, \dots, P_n\}$ [99]. Комплексное управление взаимодействием на месте

пожара основывается на решении нескольких задач управления, которые решаются независимо друг от друга и на различных интервалах времени. Первая задача управления (в подсистеме P_1) относится к координации действий, прибывающих на место пожара ПСП и аварийных служб города. Это включает определение порядка размещения пожарных машин, распределение ресурсов (воды, пеногенераторов и др.), а также организацию связи между различными подразделениями. Вторая задача управления (в подсистеме P_j) относится к взаимодействию с эксплуатируемыми объектами организациями. Третья задача управления (в подсистеме P_n) относится к взаимодействию со специализированными силами и средствами тушения пожаров.

Между этими задачами управления существуют различные виды связей и взаимодействий. Например, координация действий, прибывающих на место пожара ПСП и аварийных служб города может осуществляться через общую систему связи, а информация о ходе тушения пожара может передаваться эксплуатирующим организациям через специализированные информационные системы.

В начальной подсистеме P_1 решаются первоочередные задачи управления по определению первоначальных действий и принятию управленческих решений по тушению пожара (N_1^i), решение которых позволяет осуществить переход к подсистеме (подсистемам) P_j . В данной подсистеме P_j решается задача выработки массива альтернатив управления на основе применения известных моделей – N_j^{2i} (ранжирования условий выбора решающего направления [7], управления оценкой обстановки [90], поддержки принятия управленческих решений [52, 56, 65, 154] и др.) и задача идентификации граничных условий пожаротушения – N_j^{ki} , на основе решения которой происходит определение (подбор из имеющегося массива возможных альтернатив управления) подходящих вариантов ЛПР. P_n – подсистема реализации выбранных альтернатив управления (конечная подсистема) на основе применения выбранных для рассматриваемого сценария моделей (N_j^{3l}) и идентифицированных граничных условий (N_n^{32}), в случае развития сценария, при котором возможно решение поставленной задачи управления на основе применения выбранных заранее моделей и

идентифицированных граничных условий (например реализация сценария тушения пожара согласно документам предварительного планирования действий по тушению пожара), то решается задача N_n^{3i} .

РТП производит выбор управленческого решения из массива альтернатив решений, выработанного нештатным органом управления на месте пожара, который вырабатывает альтернативы управления, исходя из исходной (первоначальной) задачи управления. Приведённая последовательность элементов управления взаимодействием на месте пожара в ПС позволила рационально сформировать иерархическую модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующихся объекты организаций на месте пожара в ПС.

Для обеспечения эффективной выработки ШПТ массива альтернатив управления в подсистеме P_j необходимо решить задачу управления его составом [55]. Решение задачи управления составом, на примере оперативного штаба на месте пожара при тушении пожара в ПС, характеризуется выбором необходимых представителей служб города и организации, принятых к включению в состав системы. Для этого необходимо рассмотреть задачи управления составом рассматриваемой организационной системы – оптимального набора элементов, которые необходимо включить в систему.

На основании, изложенного в [96-99] механизма, введем для решения поставленной задачи следующие обозначения:

$SH_0 = \{1, 2, 3 \dots, k\}$ – начальный состав ШПТ, состоящей из n членов, $|SH_0| = k$;

SH – необходимый состав ШПТ;

SH_i – множество возможных (потенциальных) членов ШПТ, $SH \subseteq SH_i$; $SH_0 \subseteq SH_i$;

δ^+ – множество членов, включенных в состав ШПТ;

δ^- – множество членов, исключенных из состава ШПТ;

$F (SH, SH_0)$ – функционал соответствия начального и необходимого числа членов ШПТ.

Согласно [100] выделим следующие подзадачи, которые могут быть решены ЛПР для достижения цели формирования, наиболее подходящего под

окружающую оперативную обстановку на пожаре ШПТ, исходя из существующих граничных условий при тушении пожара в ПС, для решения задач привлечения в состав штаба дополнительных должностных лиц (далее – ДЛ). Таким образом получаем подзадачу формирования состава штаба (привлечения дополнительных ДЛ) и подзадачу оптимизации состава штаба (которая включает в себя расширение состава ($|SH| > |SH_0|$), сокращение состава ($|SH| < |SH_0|$), замену существующих элементов состава ($|SH| \neq |SH_0|$)).

Для формирования таких задач привлечения дополнительных должностных лиц в ШПТ, авторским коллективом определены следующие аспекты функционирования ШПТ [55]:

1. Определение подзадач, которые необходимо решить для достижения основных задач оперативного штаба на месте пожара [103]. Например, такими подзадачами могут являться: координация действий всех участников тушения пожара, контроль за расходом ресурсов при тушении пожара в ПС, обеспечение своевременной передачи информации.

2. Определение необходимого состава штаба. В зависимости от типа объекта пожара, его размеров и сложности, может потребоваться включение в оперативный штаб пожаротушения различных специалистов и представителей эксплуатирующих объекты организаций. Например, при тушении пожара в крупном коллекторе могут потребоваться для включения в состав штаба специалисты по электроснабжению, газоснабжению (представители эксплуатирующих данные коммуникации организаций).

3. Распределение обязанностей. Дополнительно привлеченные в состав ШПТ ДЛ (представители аварийных служб города и эксплуатирующих объекты организаций) должны выполнять те обязанности, которые соответствуют их профессиональными качествами и компетенциями.

4. Обеспечение взаимодействия (связи) на пожаре. Одним из факторов достижения поставленных целей и задач является эффективное взаимодействие между всеми участниками тушения пожара в ПС.

5. Проведение тренировок по отработке взаимодействия и координации. В целях повышения уровня подготовки участников штаба и совершенствования координации и взаимодействия между ними необходимым аспектом повышения эффективности работы оперативного штаба на месте пожара является проведение тренировок.

6. Определение порядка привлечения дополнительных должностных лиц в состав штаба. В зависимости от характера пожара и его масштабов, может потребоваться привлечение дополнительных должностных лиц в состав штаба для решения определенных задач. Для сокращения времени привлечения дополнительных должностных лиц необходимо заранее определить порядок их вызова и связи с ними.

7. Предварительное планирование и создание баз данных. Для повышения скорости принятия решений РТП необходимо предварительное планирование действий по тушению пожара, в том числе и штаба пожаротушения. Также возможно использование баз данных, в которых будет содержаться информация о доступных силах и средствах, характеристиках объектов пожара, а также сведения о прошлых параметрах тушения аналогичных пожаров.

8. Обеспечение безопасности. Одной из главных задач штаба пожаротушения является обеспечение безопасности всех участников тушения пожара.

9. Обеспечение своевременной передачи информации. Одна из ключевых задач штаба – это своевременное получение и передача информации между участниками тушения пожара в ПС, а также с аварийными службами эксплуатирующих объекты организаций или города.

10. Определение количества сил и средств. Для успешного достижения основной боевой задачи на пожаре необходимо достаточное количество ресурсов, таких как пожарная техника (в том числе беспилотные авиационные средства [11]), личный состав и огнетушащие вещества.

11. Соблюдение нормативно-правовой базы. При формировании штаба тушения пожара необходимо опираться на актуальную нормативно-правовую

базу, что позволит избежать нарушений законодательства и обеспечить безопасность всех участников тушения пожара.

12. Контроль за выполнением задач. Также, одной из частей работы штаба является контроль за выполнением всех задач, которые были поставлены. Для этого необходимо установить систему отчетности и контроля, которая позволит оперативно реагировать на возникающие проблемы и корректировать планы действий.

13. Анализ результатов и опыта. После успешного тушения пожара необходимо провести анализ результатов и опыта работы. В рамках анализа следует выявить сильные и слабые стороны работы штаба, а также определить оптимальные способы решения различных задач и ситуаций в будущем.

14. Постоянное совершенствование работы штаба. Для обеспечения эффективной работы штаба необходимо постоянно совершенствовать его работу. Это может быть достигнуто за счет внедрения новых технологий и методов работы, проведения тренировок и учений, обмена опытом работы с коллегами.

15. Оценка эффективности работы штаба. После окончания тушения пожара необходимо провести оценку эффективности работы штаба. В ходе оценки следует выявить проблемы, которые возникли в процессе его работы, а также определить способы их устранения и повышения эффективности работы в будущем.

Таким образом, раскрыть подзадачу формирования состава ШПТ при привлечении дополнительных должностных лиц можно, определив цели и задачи, состав участников, порядок привлечения дополнительных должностных лиц, создание планов действий и баз данных, обеспечение безопасности, своевременной передачи информации, определения количества ресурсов, соблюдения нормативно-правовой базы, контроля за выполнением задач, анализа результатов и опыта, постоянного совершенствования работы штаба, сотрудничества с другими организациями и в том числе с использованием инновационных технологий и решений в граничных условиях при управлении тушением пожара в ПС. Задачи управления составом штаба при управлении тушением пожара в ПС представлены на Рисунке 2.21.

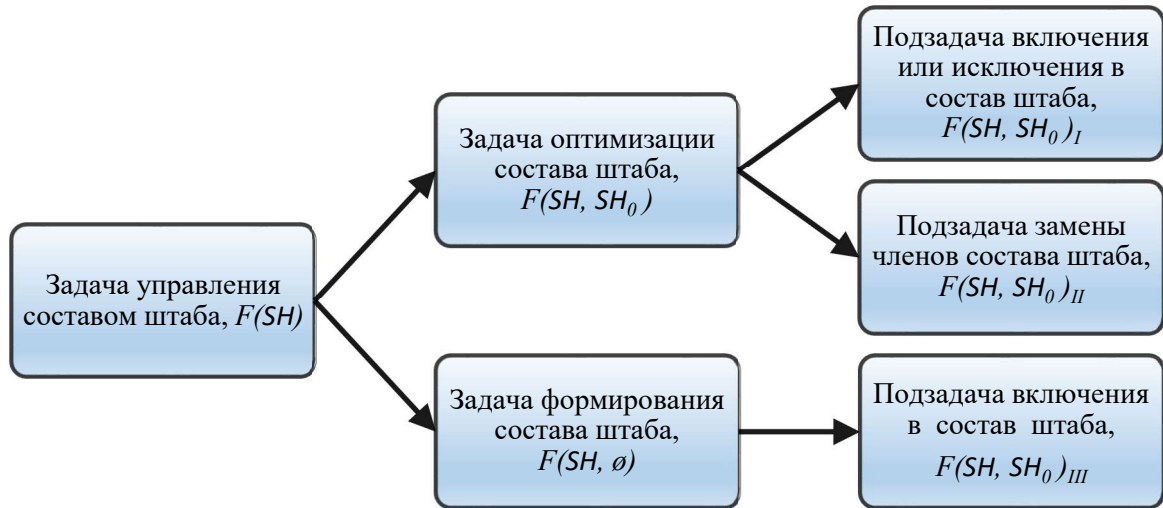


Рисунок 2.21 – Задачи управления составом штаба при управлении тушением пожара в ПС

Задача формирования состава штаба в граничных условий при управлении тушением пожара в ПС характеризуется неопределенностью в необходимости включения дополнительных должностных лиц аварийных служб эксплуатирующих данный объект организаций или города (например, при необходимости формирования штаба пожаротушения при тушении пожара в коллекторах время идентификации организаций, ответственных за сети не определено) в состав штаба пожаротушения (или в состав штаба аварийно-спасательных работ ($SH_0 = \emptyset$):

$$F(SH, \emptyset) \rightarrow \max\{SH \in SH^i\}. \quad (2.24)$$

Задача оптимизации состава штаба в граничных условий при тушении пожара в ПС (при известном начальном составе штаба SH_0) имеет вид (в общем виде):

$$F(SH, SH_0) \rightarrow \max\{SH \in SH^i\}. \quad (2.25)$$

Подзадача включения в состав штаба может быть решена при ограничении числа включаемых членов в состав штаба. Например, при ограничении l (максимальное возможное количество включаемых членов) при начальном количестве членов k :

$$F(SH, SH_0)_I \rightarrow \max\{SH \in SH^i \mid SH \leq k + l, \delta^+ \in l\}. \quad (2.26)$$

Подзадача исключения из состава штаба заключается в нахождении множества SH , удовлетворяющее принципу *min – max* (достижение максимального результата при минимальном времени достижения, затрачивая минимальное количество ресурсов). Например, при ограничении l (минимальное количество исключаемых членов) при начальном количестве членов k :

$$F(SH, SH_0)_{II} \rightarrow \max\{SH = SH_0 \mid SH \leq k - l, \delta^- \in l\}. \quad (2.27)$$

Подзадача замены членов в составе штаба заключается в поиске множества, включаемых и исключаемых членов штаба, удовлетворяющее принципу *min – max.*, например, при заменяемом числе членов l и начальном количестве членов k :

$$F(SH, SH_0)_{III} \rightarrow \max\{SH \in SH^i \mid SH = k, \delta^+ = \delta^-\}. \quad (2.28)$$

С точки зрения информационной нагрузки [181] на ЛПП число включаемых элементов в рассматриваемую систему определяется как количество возможных связей между элементами и центром, которые всегда ограничены (возможности ЛПП по переработки информации ограничены). Для решения задачи управления привлечением дополнительных ДЛ в состав штаба на основании анализа граничных условий пожаротушения при тушении пожара в ПС время решения этой задачи играет определяющую роль (количество исполнителей ограничено, но может меняться с течением времени).

В состав штаба ШПТ в рамках известных граничных условий при тушении пожара в ПС в таком случае необходимо включать только тех членов, результативность деятельности которых превышает возможные ресурсно-временные затраты на включение в состав ОС, то есть задача, требующая решения может быть решена быстрее по времени и менее затратнее по ресурсам (в условиях обоснованного риска) без привлечения дополнительных ДЛ.

Для систем с неопределёнными заранее значениями необходимо для каждого из возможных решений найти ожидаемое время выполнения действий для рассматриваемого сценария пожара [181], однако время оценки необходимости привлечения дополнительных элементов в систему, передачи информации о необходимости привлечения, запроса на привлечение, а также времени следования взаимодействующих аварийных служб города и эксплуатирующей объект организации неизвестно (работы при организации взаимодействия). Для оценки

надежности альтернатив управления на основе сформированной структуры и средней продолжительности времени работ (значения принимаются по расчету времени выполнения отдельных работ) при тушении пожара в ПС, для каждого случая формирования нового элемента структуры (i, j) использован следующий порядок:

$$m_{(ij)} = \frac{\tau_0(i, j) + 4\tau_c(i, j) + \tau_{max}(i, j)}{6}, \quad (2.29)$$

$$\sigma_{(ij)}^2 = \left(\frac{\tau_{max}(i, j) - \tau_0(i, j)}{6} \right)^2, \quad (2.30)$$

где $\tau_0(i, j)$ – минимальное оценочное время выполнения работ при тушении пожаров в ПС, мин;

$\tau_c(i, j)$ – среднее время выполнения работ при тушении пожара в ПС, мин;

$\tau_{max}(i, j)$ – максимальное оценочное время выполнения работ при тушении пожаров в ПС, мин.

Общая продолжительность вместе взятых данных работ при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в ПС имеет нормальный закон распределения со средним значением $m(t)$, равным сумме средних значений продолжительности составляющих его работ $m_{(ij)}$ и дисперсией $\sigma^2(t)$, равной сумме соответствующих дисперсий $\sigma_{(ij)}^2$ [35]:

$$m(t) = \sum_{i, j} m_{(ij)}, \quad (2.31)$$

$$\sigma^2(M) = \sum_{i, j} \sigma_{(ij)}^2, \quad (2.32)$$

где $m_{(ij)}$ – математическое ожидание для работы на месте пожара в ПС (i, j) ;

$\sigma_{(ij)}^2$ – дисперсия для работы на месте пожара в ПС (i, j) .

Для проверки и оценки вероятности того, что полученный результат $m(t)$ не превысит заданных значений $T_{гр.усл}$ параметров граничных условий, предполагая $m(t)$ случайной величиной, имеющей нормальный закон распределения, применяется равенство 2.33.

$$HN(m(t) \leq T_{гр.усл}) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{T_{гр.усл} - m(t)}{\sigma(M)}\right), \quad (2.33)$$

где $T_{гр.усл}$ – временные значения параметров граничных условий, мин;

$\Phi - \Phi(z)$, значения функций Лапласа определяется по справочным данным [36];

$m(t)$ – сумма значений математических ожиданий для всего процесса тушения пожара в подземном сооружении;

$\sigma(M) = \sqrt{\sigma^2(M)}$, $\sigma^2(M)$ – сумма значений дисперсий для всего процесса тушения пожара в подземном сооружении.

Итоговое значение $HN(m(t) \leq T_{гр.усл})$ сравнивается со значениями, приведенными в Таблице 2.25, для оценки уровня надежности рассматриваемой альтернативы управления при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в ПС. Если альтернатива не соответствует требуемой надежности, то она не включается в итоговый набор альтернатив для рассматриваемых сценариев тушения пожара в ПС.

Таблица 2.25 – Классификация уровней надежности реализации альтернативы организации взаимодействия при тушении пожара в подземном сооружении

Маркировка уровня	1	2	3	4	5
Значения R для $HN(m(t) \leq T_{гр.усл})$	$HN = 0,5$	$0,65 > HN > 0,5$	$0,8 > HN \geq 0,65$	$0,95 > HN \geq 0,8$	$HN \geq 0,95$
Уровень	Очень слабый	Слабый	Средний	Высокий	Очень высокий

Таким образом, осуществляется проверка выбранной альтернативы управления при организации взаимодействия при тушении пожара в ПС.

Рассмотрим моделируемые сценарии тушения пожара в ПС на основе выборки альтернатив управления, составленной исходя из ретроспективных данных о пожарах (исходные данные – описания пожаров, произошедших на объектах подземных сооружений), представленные в Таблице 2.26.

Таблица 2.26 – Моделируемые сценарии действий ПСП при тушении пожара в ПС

Описание сценария тушения пожара в ПС	Фактические параметры тушения пожара	Альтернатива управления A_I	Описание сценария тушения пожара в ПС	Фактические параметры тушения пожара	Альтернатива управления A_I
Сценарий № 1. (пожар в коллекторе высокой протяженности на начальном этапе) $S_{мон.} = 3 \text{ м}^2$ $L_{оч.} = 100 \text{ м}$ $L_{в.ист.} = 20 \text{ м}$ $\tau_{обн.} = 3 \text{ мин}$ $\tau_{приб.} = 5 \text{ мин}$ $T_{общ.0} = 25,3 \text{ мин}$ $N_{а.с.} = 5 \text{ ед.}$	$\tau_{ств..} = 14,1 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 22,1 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: КУРС-8 1 ед. $Q_{лок.} = 8 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 0 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 1 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 0 \text{ ед.}$ $N_{ПА} = 3 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 1 \text{ зв.}$ $N_{рук.м} = 8 \text{ ед.}$	$\tau_{ств..} = 16,6 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 24,6 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: РСР-50 1 ед. РСКЗ-70 1 ед. $Q_{лок.} = 10,1 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 0 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 0 \text{ ед.}$ $N_{ПА} = 4 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 2 \text{ зв.}$ $N_{рук.м} = 8 \text{ ед.}$	Сценарий № 4. (пожар в перегонном тоннеле метрополитена на последующих этапах) $S_{мон.} = 20,42 \text{ м}^2$ $L_{оч.} = 220 \text{ м}$ $L_{в.ист.} = 20 \text{ м}$ $T_{обн.} = 4,5 \text{ мин}$ $T_{приб.} = 6,5 \text{ мин}$ $T_{общ.0} = 53,8 \text{ мин}$ $N_{а.с.} = 11 \text{ ед.}$	$T_{ств..} = 17,5 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 51,7 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: КУРС-8 2 ед. РСКЗ-70 2 ед. РСР-50 1 ед. $Q_{лок.} = 18,7 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 4,6 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 3 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ПА} = 10 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 5 \text{ зв.}$ $N_{рук.} = 42 \text{ ед.}$	$T_{ств..} = 15,8 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 48,4 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: ОРТ-50А 2 ед. РСР-50 2 ед. $Q_{лок.} = 20,2 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 4,6 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 4 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 2 \text{ ед.}$ (комбинированное действие) $N_{ПА} = 8 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 4 \text{ зв.}$ $N_{рук.} = 28 \text{ ед.}$
Сценарий № 2. (пожар в коллекторе высокой протяженности на последующих этапах) $S_{мон.} = 3 \text{ м}^2$ $L_{оч.} = 100 \text{ м}$ $L_{в.ист.} = 20 \text{ м}$ $\tau_{обн.} = 3 \text{ мин}$ $\tau_{приб.} = 5 \text{ мин}$ $T_{общ.0} = 47,7 \text{ мин}$ $N_{а.с.} = 8 \text{ ед.}$	$\tau_{ств..} = 14,1 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 43,5 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: КУРС-8 2 ед. РСКЗ-70 1 ед. $Q_{лок.} = 16 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 8 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 1 \text{ ед.}$ $N_{ПА} = 6 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 3 \text{ зв.}$ $N_{рук.м} = 24 \text{ ед.}$	$\tau_{ств..} = 16,6 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 41,2 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: РСР-50 1 ед. РСКЗ-70 2 ед. $Q_{лок.} = 10,1 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 2,3 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 1 \text{ ед.}$ $N_{ПА} = 6 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 3 \text{ зв.}$ $N_{рук.м} = 16 \text{ ед.}$	Сценарий № 5. (пожар в подземном кабельном отсеке на начальном этапе) $S_{мон.} = 7,1 \text{ м}^2$ $L_{оч.} = 430 \text{ м}$ $L_{в.ист.} = 20 \text{ м}$ $T_{обн.} = 4,5 \text{ мин}$ $T_{приб.} = 8 \text{ мин}$ $T_{общ.0} = 38,7 \text{ мин}$ $N_{а.с.} = 6 \text{ ед.}$	$T_{ств..} = 24,2 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 33,3 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: КУРС-8 1 ед. РСКЗ-70 1 ед. $Q_{лок.} = 8 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 2,3 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 1 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 1 \text{ ед.}$ $N_{ПА} = 5 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 2 \text{ зв.}$ $N_{рук.} = 26 \text{ ед.}$	$T_{ств..} = 24,2 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 34,1 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: ОРТ-50А 1 ед. $Q_{лок.} = 7,4 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 2,3 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 1 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 1 \text{ ед.}$ (комбинированное действие) $N_{ПА} = 4 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 1 \text{ зв.}$ $N_{рук.} = 26 \text{ ед.}$
Сценарий № 3. (пожар в перегонном тоннеле метрополитена на начальном этапе) $S_{мон.} = 20,42 \text{ м}^2$ $L_{оч.} = 220 \text{ м}$ $L_{в.ист.} = 20 \text{ м}$ $T_{обн.} = 4,5 \text{ мин}$ $T_{приб.} = 6,5 \text{ мин}$ $T_{общ.0} = 31,5 \text{ мин}$ $N_{а.с.} = 7 \text{ ед.}$	$T_{ств..} = 17,5 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 28,5 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: КУРС-8 2 ед. РСКЗ-70 2 ед. $Q_{лок.} = 16 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 4,6 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ПА} = 8 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 4 \text{ зв.}$ $N_{рук.} = 28 \text{ ед.}$	$T_{ств..} = 15,8 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 26,8 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: ОРТ-50А 2 ед. $Q_{лок.} = 14,8 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 4,6 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 2 \text{ ед.}$ (комбинированное действие) $N_{ПА} = 5 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 2 \text{ зв.}$ $N_{рук.} = 28 \text{ ед.}$	Сценарий № 6. (пожар в подземном сооружении складского назначения) $S_{мон.} = 7,1 \text{ м}^2$ $L_{оч.} = 430 \text{ м}$ $L_{в.ист.} = 20 \text{ м}$ $T_{обн.} = 4,5 \text{ мин}$ $T_{приб.} = 8 \text{ мин}$ $T_{общ.0} = 68,1 \text{ мин}$ $N_{а.с.} = 9 \text{ ед.}$	$T_{ств..} = 24,2 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 63,2 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: КУРС-8 2 ед. РСКЗ-70 2 ед. $Q_{лок.} = 16 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 4,6 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ПА} = 8 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 4 \text{ зв.}$ $N_{рук.} = 52 \text{ ед.}$	$T_{ств..} = 24,2 \text{ мин}$ $T_{общ.} = 61,9 \text{ мин}$ Приборы подачи ОТВ: ОРТ-50А 2 ед. $Q_{лок.} = 15,8 \text{ л/с}$ $Q_{зав.} = 4,6 \text{ л/с}$ $N_{ств. лок.} = 2 \text{ ед.}$ $N_{ств. зав.} = 2 \text{ ед.}$ (комбинированное действие) $N_{ПА} = 8 \text{ ПА}$ $N_{зв.гдзс.} = 4 \text{ зв.}$ $N_{рук.} = 52 \text{ ед.}$

Для моделируемых сценариев действий ПСП на этапах тушения пожара (первый этап – от сообщения о пожаре до подачи первого ствола на тушение пожара, представлен сценариями 1, 3, 5, второй этап – от подачи первого ствола на тушение пожара до создания условий локализации пожара, представлен сценариями 2, 4, 6) и организации взаимодействия с аварийными службами города и эксплуатирующей объект организаций при тушении пожара в ПС на основании разработанной модели получены результаты моделирования времени реализации событий (завершение этапа) T . Фактические значения – $T_{общ.0}$, фактические параметры, принятые при моделировании – $T_{общ.1}$, и альтернативные, принятые при моделировании – $T_{общ.2}$, представленные на Рисунке 2.22.

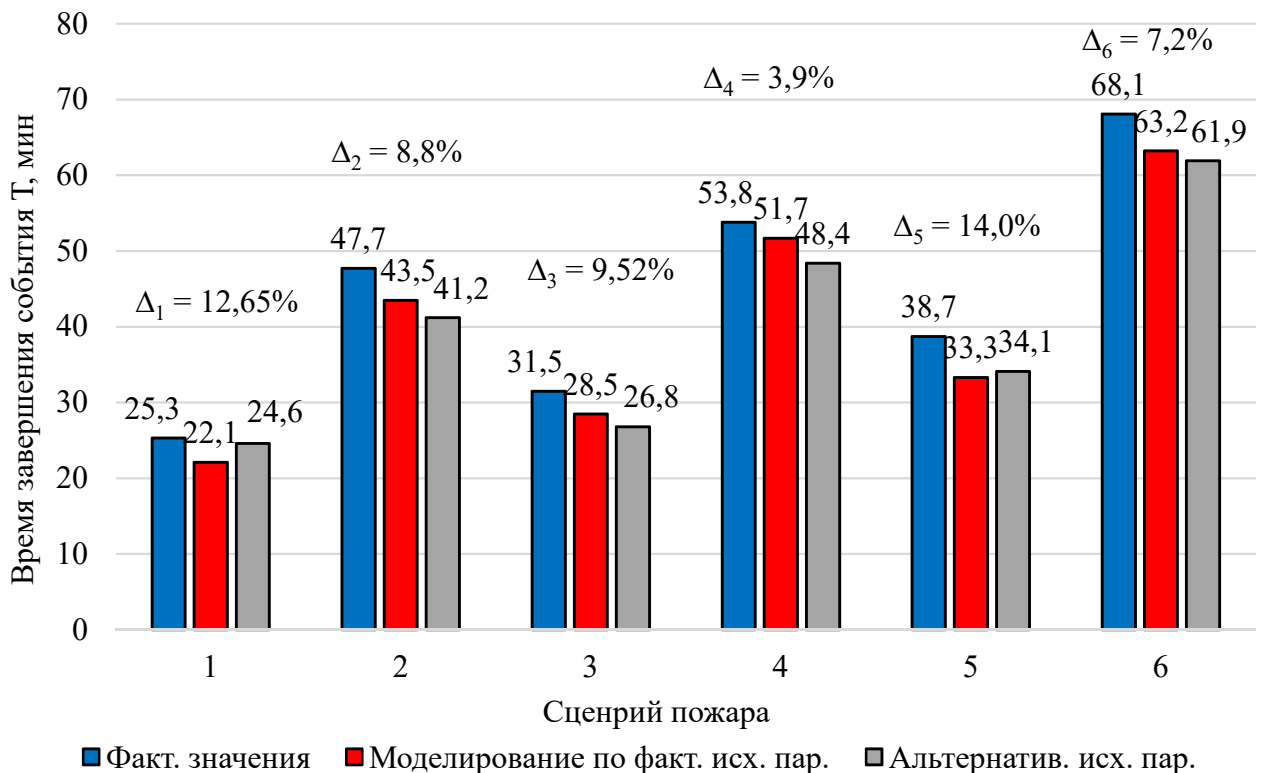


Рисунок 2.22 – Время завершения событий T для моделируемых сценариев тушения пожара в ПС

Расхождение результатов моделирования (сравниваются фактические значения и значения, полученные по средствам моделирования по фактическим исходным параметрам) по Сценарию № 1 составляет 12,65 %, по Сценарию № 2 – 8,8 %, по Сценарию № 3 – 9,52 %, по Сценарию № 4 – 3,9 %, по Сценарию № 5 – 14,0%, по Сценарию № 6 – 7,2%. Среднее значение расхождение составляет 9,35 %,

однако, на начальном этапе тушения пожара в ПС расхождение фактических значений и значений, полученных в результате моделирования составляет 12,06 %, а для последующем этапе тушения пожара – 6,63 %. Данные результаты подтверждают правильность описания модели и корреляцию между фактическими значениями и значениями, полученными по средствам модели.

Проведено исследование результатов моделирования сценариев тушения пожаров в ПС. Определен коэффициент детерминации R^2 для разработанной модели. $R^2 = 0,9734$, что говорит о высокой степени соответствия модели реальным данным. Разработанная модель показывает актуальные результаты, применимые в целях осуществления повышения оперативности при принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС. Результаты определения коэффициента детерминации для модели представлены на Рисунке 2.23.

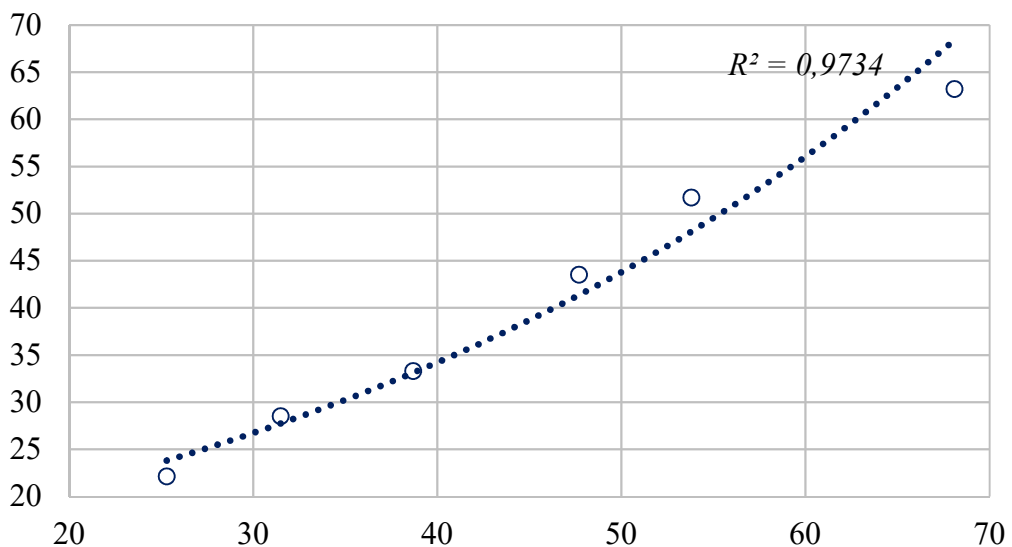


Рисунок 2.23 – Результаты определения коэффициента детерминации для модели

Произведена оценка времени средней продолжительности работы при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в ПС на момент прибытия запрошенных РТП аварийных служб организации и города.

Пожар в коллекторе высокой протяженности:

$$T_{гр.усл}^1 \text{ для } N_{AC} = 3: T_{гр.усл}^1 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 3 + 5 + 18 = 27 \text{ мин,}$$

$$T_{гр.усл}^2 \text{ для } N_{AC} = 5: T_{гр.усл}^2 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 3 + 5 + 18 = 50 \text{ мин.}$$

Пожар в перегонном тоннеле метрополитена:

$$T_{гр.усл}^3 \text{ для } N_{AC} = 5: T_{гр.усл}^3 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 3 + 5 + 18 = 34 \text{ мин,}$$

$$T_{гр.усл}^4 \text{ для } N_{AC} = 9: T_{гр.усл}^4 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 3 + 5 + 18 = 55 \text{ мин.}$$

Пожар в подземном кабельном отсеке:

$$T_{гр.усл}^5 \text{ для } N_{AC} = 4: T_{гр.усл}^5 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 3 + 5 + 18 = 35 \text{ мин,}$$

$$T_{гр.усл}^6 \text{ для } N_{AC} = 7: T_{гр.усл}^6 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 3 + 5 + 18 = 70 \text{ мин.}$$

На основании суммарных значений оценок времени средней продолжительности работы при тушении пожара в ПС определены значения $HN(m(t) \leq T_{гр.усл}^i)$ при $T_{гр.усл}^i$.

Проведено сравнение полученных значений с диапазонами уровней надежности реализации альтернативы организации взаимодействия при тушении пожара в подземном сооружении для полученных значений времени завершения событий T и определен уровень надежности.

Оценка надежности моделируемых альтернатив управления на основе разработанной модели (Таблица 2.27):

Таблица 2.27 – Результаты оценки надежности для моделируемых альтернатив

№ п/п	№ сценария	Альтернатива	$HN(m(t) \leq T_{гр.усл})$	Интервал HN	№ п/п	№ сценария	Альтернатива	$HN(m(t) \leq T_{гр.усл})$	Интервал HN
1.	1	1.1	0,946	$HN \geq 0,95$	10	4	4.1	0,967	$0,95 > HN \geq 0,8$
2.		1.2	0,968	$HN \geq 0,95$	11		4.2	0,954	$HN \geq 0,95$
3.		1.3	0,952	$HN \geq 0,95$	12		4.3	0,972	$HN \geq 0,95$
4.	2	2.1	0,944	$0,95 > HN \geq 0,8$	13	5	5.1	0,952	$0,95 > HN \geq 0,8$
5.		2.2	0,963	$HN \geq 0,95$	14		5.2	0,960	$HN \geq 0,95$
6.		2.3	0,982	$HN \geq 0,95$	15		5.3	0,912	$0,95 > HN \geq 0,8$
7.	3	3.1	0,955	$HN \geq 0,95$	16	6	6.1	0,797	$0,8 > HN \geq 0,65$
8.		3.2	0,961	$HN \geq 0,95$	17		6.2	0,926	$0,95 > HN \geq 0,8$
9.		3.3	0,968	$HN \geq 0,95$	18		6.3	0,948	$0,95 > HN \geq 0,8$

Таким образом, можно сделать вывод о достаточной надежности принимаемых альтернатив управления. Однако, при увеличении количества включаемых элементов в систему взаимодействия при тушении пожара в подземном сооружении происходит увеличение времени реализации моделируемых событий. При приближении к верхнему диапазону граничного условия по времени проведения действий при тушении пожара в ПС наблюдается снижение надежности принимаемых альтернатив управления. Тем не менее, ЛПР имеет возможность выбрать альтернативу управления из формируемого набора с достаточным уровнем надежности в условиях обоснованного риска при тушении пожара в ПС.

Разработанные модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП и иерархическая модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС направлены на повышение оперативности принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций при тушении пожаров ПС.

2.2 Алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования управленческих альтернатив при тушении пожаров в подземных сооружениях

При практической реализации модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП выполняется ранжирование условий выбора и выбор управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС по разработанному алгоритму (Рисунок 2.24).

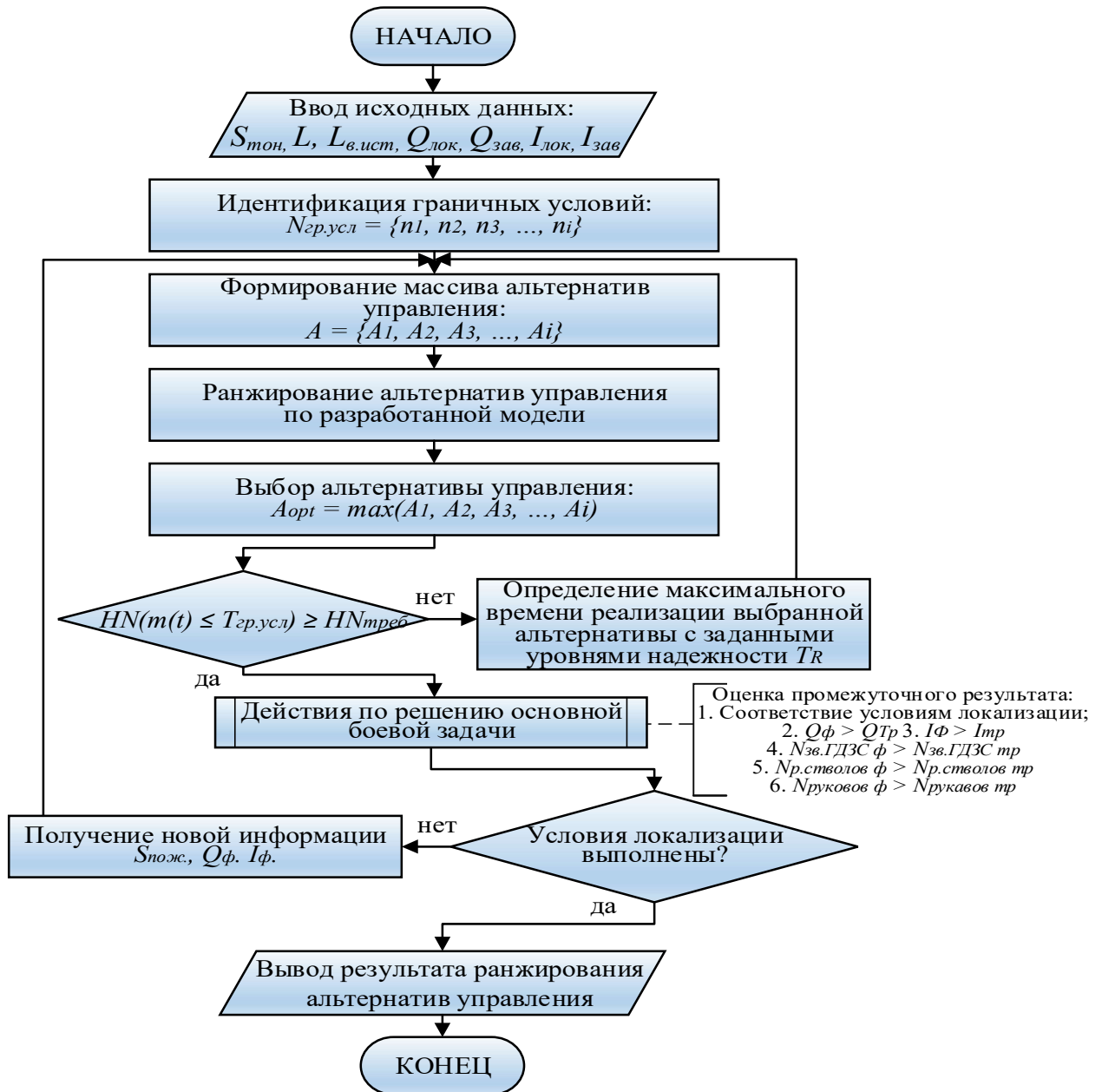


Рисунок 2.24 – Алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в ПС

Исходными данными для алгоритма поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в ПС являются данные об окружающей обстановке на пожаре. К таким данным относятся $S_{тон}$ – площадь сечения тоннеля, L – расстояние от входа в ПС до очага пожара, $L_{в.ист}$ – расстояние от водоисточника до входа в ПС, $Q_{зав}$ – расход воды на создание водяной завесы, $Q_{ств}$ – расход воды одного

пожарного ствола, $I_{зав}$ – интенсивность подачи ОТВ на создание водяной завесы, $I_{сме}$ – интенсивность подачи ОТВ на тушение пожара.

В блоке алгоритма «идентификация граничных условий» осуществляется формирование массива граничных условий тушения пожаров в ПС $N_{Гу}^j = \{n_{Гу}^1, n_{Гу}^2, \dots, n_{Гу}^j\}$, отражающих реальную обстановку на пожаре в соответствии с диапазонами значений граничных условий, представленных в диссертации.

Поскольку начальная информация о пожаре (сообщение о пожаре) содержит наиболее общие его характеристики и отражает действительную обстановку с определенной долей неточности (нечеткая информация о состоянии окружающей среды), и в момент сообщения о пожаре подразделения (как правило РТП – 1), прибывшие к месту проведения работ, не имеют возможности оценить действительное состояние окружающей обстановки. «Формирование массива альтернатив управления» заключается в определении таких параметров управления для каждого сценария тушения пожара, которые будут удовлетворять граничным условиям пожаротушения в ПС.

«Ранжирование альтернатив управления» осуществляется на основе разработанной модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП. В блоке «выбор альтернативы управления» осуществляется выбор управленческой альтернативы из массива A , с наивысшим значением A_i . Далее осуществляется оценка надежности выбранной альтернативы по разработанной модели.

В случае удовлетворения неравенству значений надежности:

$$HN(m(t) \leq T_{гр.усл}) \geq HN_{треб}.$$

осуществляется вывод результата ранжирования альтернатив управления, в случае неудовлетворения определяется максимальное время реализации альтернативы управления с заданными условиями надежности и ранжирования новой выборки альтернатив с учетом полученных значений.

Формирование массива управленческих альтернатив осуществляется на основании алгоритма определения сил и средств ПСП для тушения пожара при тушении пожаров в ПС (Рисунок 2.25).

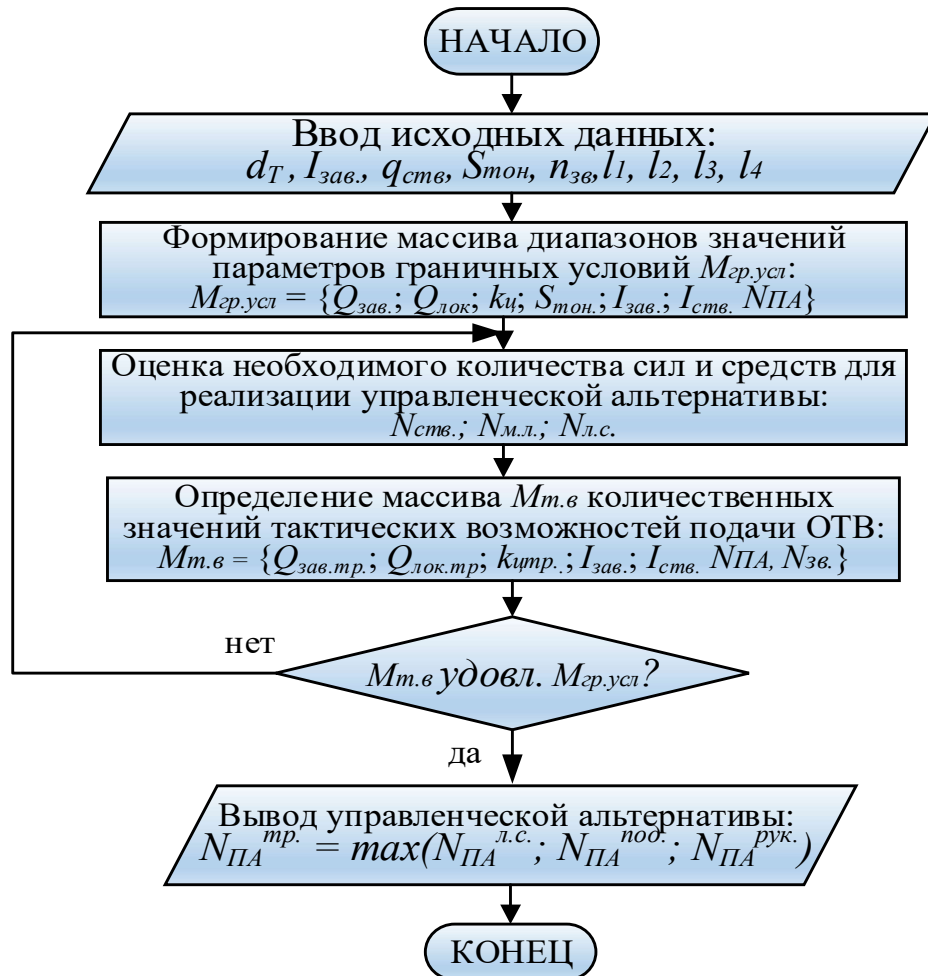


Рисунок 2.25 – Алгоритм определения сил и средств ПСП при тушении пожаров в ПС

Исходными данными для алгоритма являются: d_t – ширина тоннеля, в котором произошёл пожар, $I_{зав}$ – интенсивность подачи ОТВ на создание водяной завесы, $q_{ств}$ – расход воды одного пожарного ствола, $S_{тон}$ – площадь сечения тоннеля, $n_{зв}$ – количество газодымозащитников в одном звене ГДЗС; l_1 – расстояние от водоисточника до входа в ПС, l_2 – длина спуска в ПС, l_3 – расстояние от нижней кромки спуска до аварийного тоннеля, l_4 – расстояние до очага пожара по аварийному тоннелю.

В блоке алгоритма «формирование массива диапазонов значений параметров граничных условий» осуществляется формирование массива граничных условий

тушения пожаров в ПС, отражающих реальную обстановку на пожаре в соответствии с диапазонами значений граничных условий, представленных в диссертации. ($Q_{зав}$ – расход воды на создание водяной завесы, $Q_{лок}$ – расход воды на локализацию пожара, $k_{ц}$ – коэффициент цикличности продвижения по тоннелю, $S_{тон}$ – площадь сечения тоннеля, $I_{зав}$ – интенсивность подачи ОТВ на создание водяной завесы, $I_{ств}$ – интенсивность подачи ОТВ на тушение пожара, $N_{ПА}$ – количество пожарных автомобилей, доступных для РТП).

Далее осуществляется оценка необходимого количества СиС для реализации управленческой альтернативы. Определяются параметры, отражающие необходимое количество пожарных стволов, магистральных рукавов и личного состава ПСП ($N_{ств.}, N_{м.л.}, N_{л.с.}$). Определяется массив значений $M_{т.в.} = \{Q_{зав.тр.}; Q_{лок.тр.}; k_{цтр.}; I_{зав.}; I_{ств.}, N_{ПА}, N_{зв.}\}$, отражающий количественные параметры тактических возможностей ПСП по подаче ОТВ на основе выработанных альтернатив управления. Производится сравнение с граничными условиями пожаротушения и выводится управленческая альтернатива в виде массива реализации значений, отражающие необходимое количество отделений ПСП на основных пожарных автомобилях для осуществления локализации и ликвидации пожара в подземном сооружении.

Оценка промежуточного результата производится согласно соответствию условиям локализации пожара [103] (отсутствие или предотвращение угрозы людям, предотвращение возможности дальнейшего распространения огня, создание условий для ликвидации пожара имеющимися силами и средствами (далее – СиС)), и сравнении фактических параметров тушения пожара ($Q_{ф.}$ – фактический расход огнетушащих веществ (далее – ОТВ) на пожаротушение, $I_{ф.}$ – фактическая интенсивность подачи ОТВ, $N_{зв.ГДЗС ф.}$ – фактическое количество работающих и резервных звеньев ГДЗС, $N_{р.стволов ф.}$ – фактическое количество работающих стволов, подающих ОТВ, $N_{рукавов ф.}$ – фактическое количество рукавов, имеющихся в распоряжении РТП) с требуемыми параметрами тушения пожара ($Q_{тр.}$ – требуемый расход далее – ОТВ на пожаротушение для локализации пожара, $I_{тр.}$ – требуемая интенсивность подачи ОТВ для локализации пожара, $N_{зв.ГДЗС тр.}$ – требуемое количество работающих и резервных звеньев ГДЗС для

локализации пожара, $N_{p.стволов тр.}$ – требуемое количество работающих стволов, подающих ОТВ для локализации пожара, $N_{рукавов тр.}$ – требуемое количество рукавов для локализации пожара).

Ранжирование условий выбора управленческих альтернатив при решении задач управления в организационной системе пожаротушения при тушении пожара в ПС применимо при осуществлении предварительного планирования действий по тушению пожара, проработки пожарно-тактических занятий и учений по отработке действий ПСП в постоянно изменяющейся обстановке при идентификации граничных условий пожаротушения. ЛПР имеет возможность применять данный алгоритм для решения задач управления при планировании действий по тушению пожара в ПС, а также штаб пожаротушения для выработки направления тактических действий в граничных условиях пожаротушения при тушении пожара в ПС.

2.3 Алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в подземных сооружениях

Алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара (Рисунок 2.26) основан на иерархической модели организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС.

Исходными данными для алгоритма являются: $SH_0 = \{1, 2, 3 \dots, k\}$ – начальный состав ШПТ, состоящей из n членов, $|SH_0| = k$; SH – необходимый состав ШПТ; SH_i – множество возможных (потенциальных) членов ШПТ, $SH \subseteq SH_i$; $SH_0 \subseteq SH_i$; δ^+ – множество членов, включенных в состав ШПТ; δ^- – множество членов, исключенных из состава ШПТ; $F(SH, SH_0)$ – функционал соответствия начального и необходимого числа членов ШПТ.

В блоке алгоритма «идентификация граничных условий» осуществляется формирование массива граничных условий тушения пожаров в ПС $N_{ГУ}^j = \{n_{ГУ}^1, n_{ГУ}^2, \dots, n_{ГУ}^j\}$, отражающих реальную обстановку на пожаре в соответствии с диапазонами значений граничных условий, представленных в диссертации.

Далее в блоке «формирование альтернатив управления составом ШПТ (АСР)» решается задача формирования состава штаба в граничных условиях при управлении тушением пожара в ПС $F(SH, \emptyset) \rightarrow \max\{SH \in SH^i\}$, если условие $F(SH, SH_0) \rightarrow \max\{SH \in SH^i\}$ выполняется, то решается подзадача включения в состав штаба $F(SH, SH_0)_I \rightarrow \max\{SH \in SH^i \mid SH \leq k + l, \delta^+ \in l\}$, если не выполняется, то решается подзадача исключения из состава штаба, $F(SH, SH_0)_{II} \rightarrow \max\{SH = SH_0 \mid SH \leq k - l, \delta^- \in l\}$.

Далее осуществляется оценка надежности выбранной альтернативы по разработанной модели.

В случае удовлетворения неравенству значений надежности:

$$HN(m(t) \leq T_{гр.усл}) \geq HN_{\text{треб.}}$$

осуществляется оценка промежуточного результата. Оценка промежуточного результата производится согласно соответствия условиям локализации пожара [103] и сравнении фактических параметров тушения пожара (Q_{ϕ} – фактический расход огнетушащих веществ (далее – ОТВ) на пожаротушение, I_{ϕ} – фактическая интенсивность подачи ОТВ, $N_{зв..ГДЗС \phi}$ – фактическое количество работающих и резервных звеньев ГДЗС, $N_{р.стволов \phi}$ – фактическое количество работающих стволов, подающих ОТВ, $N_{рукавов \phi}$ – фактическое количество рукавов, имеющих в распоряжении РТП) с требуемыми параметрами тушения пожара ($Q_{тр.}$ – требуемый расход далее – ОТВ на пожаротушение для локализации пожара, $I_{тр.}$ – требуемая интенсивность подачи ОТВ для локализации пожара, $N_{зв..ГДЗС тр.}$ – требуемое количество работающих и резервных звеньев ГДЗС для локализации пожара, $N_{р.стволов тр.}$ – требуемое количество работающих стволов, подающих ОТВ для локализации пожара, $N_{рукавов тр.}$ – требуемое количество рукавов для локализации пожара).

Если условие не выполняется, то решается подзадача замены членов в составе штаба $F(SH, SH_0)_{III} \rightarrow \max\{SH \in SH^i \mid SH = k, \delta^+ = \delta^-\}$. Если условия локализации выполнены, то осуществляется вывод альтернатив управления составом ШПТ (АСР) при тушении пожаров в ПС.

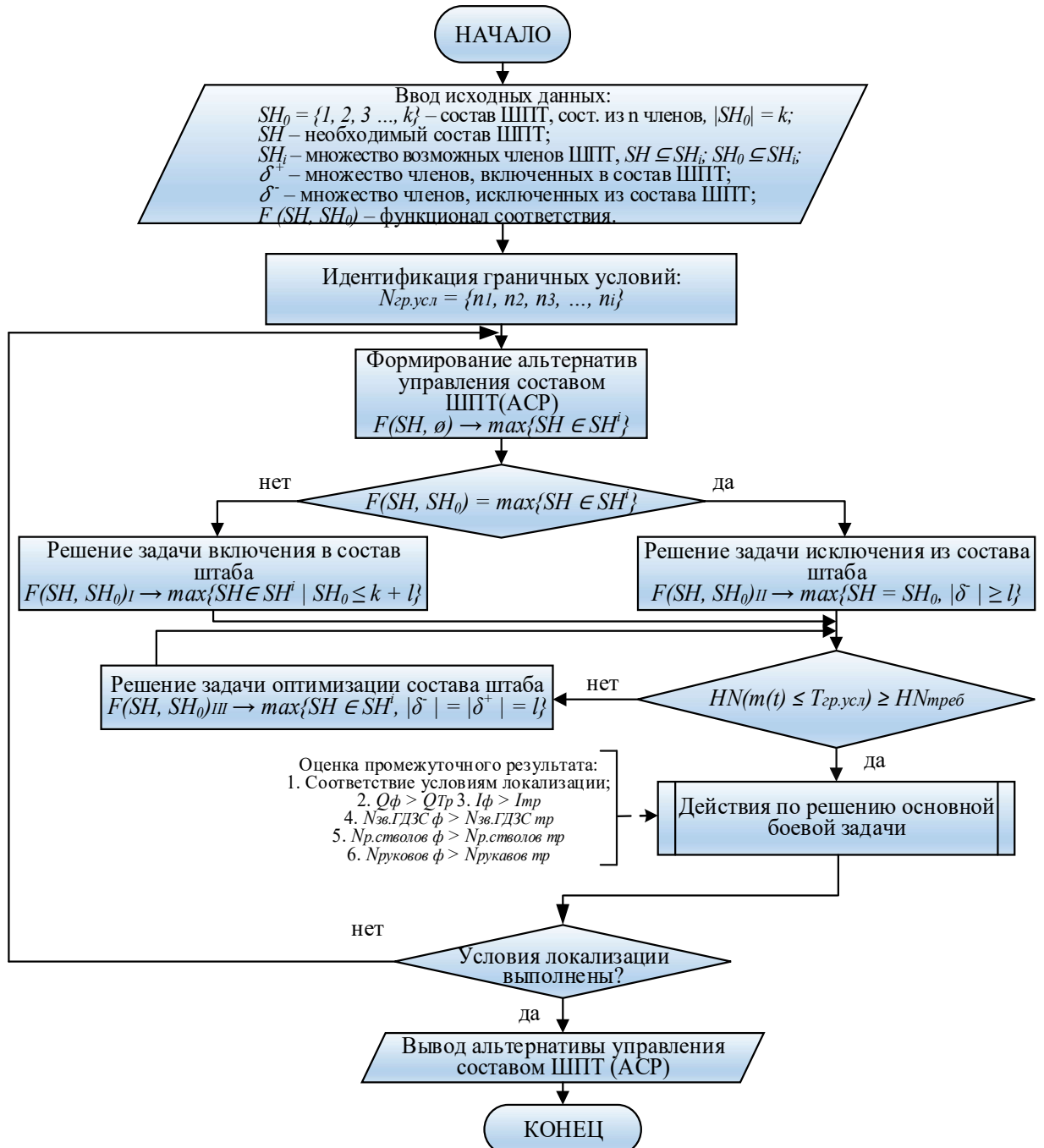


Рисунок 2.26 – Алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара. АСР – аварийно–спасательные работы, ШПТ – штаб пожаротушения

При оперативном управлении тушением пожара в ПС существует необходимость в наиболее кратчайшие сроки организовать взаимодействие между пожарно-спасательными подразделениями, РТП, ШПТ, штабом АСР и аварийными службами эксплуатирующей организации и города с целью повышения скорости и качества действий, направленных на тушение пожара или ликвидацию аварии. Алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара применим при осуществлении предварительного планирования действий по тушению пожара, налаживании связи и организации взаимодействия с аварийными службами эксплуатирующих объекты организаций и города, как при предварительном планировании действий по тушению пожара, отработки планов и карточек тушения пожаров, так и в рамках дополнительных соглашений по обеспечению пожаротушения на рассматриваемых объектах.

2.4 Выводы по второй главе

1. Описаны параметры и условия, сопутствующие процессу выработки и реализации РТП управленческих решений, включающие: условия принятия решений при управлении ПСП на месте пожара в ПС, параметры пожара в ПС, параметры воздушного потока при пожарах в тоннелях рассматриваемых сооружений; параметры противодымной защиты участников тушения пожара в тоннелях и влияния вентиляционных режимов на складывание обстановки; параметры вентиляционного оборудования при возникновении пожара, влияющие на управление ПСП при пожарах в ПС; особенности управления тушением пожара, а также управленческой деятельности РТП при пожаре в ПС; особенности взаимодействия с аварийными службами эксплуатирующих объект организаций и города при пожаре в ПС. Вышеописанные параметры и условия позволили

разработать новую модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС.

2. Проведен анализ параметров и условий, учитываемых РТП при проведении оценки обстановки при решении задач управления ПСП, осуществляющими тушение пожара в ПС в граничных условиях пожаротушения, а также разработке документов предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ в ПС на основе разработанных алгоритмов. Установленные в ходе анализа параметры граничных условий пожаротушения использованы при построении моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС.

3. Разработана модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП.

4. Разработана иерархическая модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС.

5. Разработан алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в ПС.

6. Разработан алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара.

ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Тушение пожара в ПС осуществляется ПСП, которые включаются в множества управляющей и подчиненной подсистем, при этом подчиненная подсистема является группировкой привлеченных СиС, имеющих распределение по участкам (секторам) тушения пожара. Стоит отметить, что взаимодействующие элементы (включающие такие элементы как аварийные службы АО «Москоллектор», ПАО «МОЭСК, АО «Мосводоканал» и др.) являются частью системы взаимного обмена информацией на месте пожара (Рисунок 3.1.).

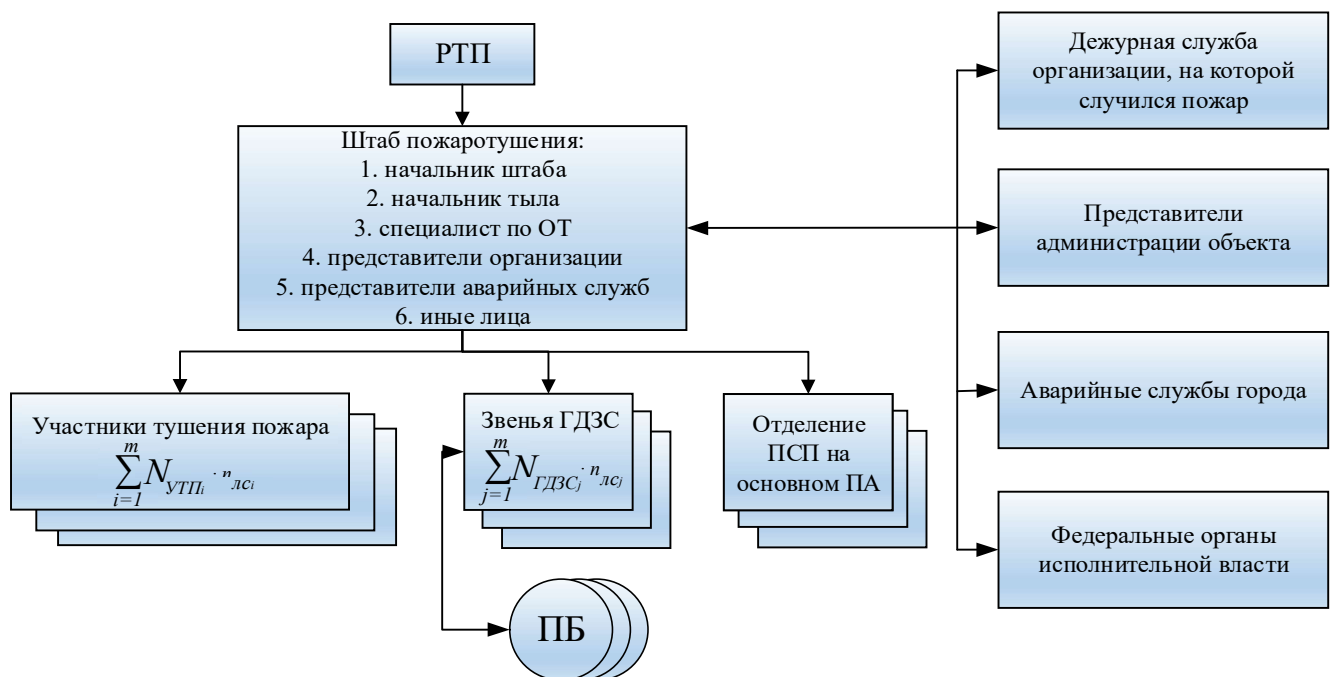


Рисунок 3.1 – Система взаимного обмена информацией на месте пожара в ПС.

ПБ – пост безопасности, ПА – пожарный автомобиль, ПСП – пожарно-спасательные подразделения, РТП – руководитель тушения пожара

Организуемый на каждом пожаре информационный обмен внутри рассматриваемой общей системы является элементом для достижения основной

боевой задачи на пожаре путем обеспечения тушения пожара (Рисунок 3.2.). На пожаре в ПС может возникнуть ряд обстоятельств, способствующих развитию пожара и, как следствие, к осложнению обстановки, к таким обстоятельствам можно отнести: позднее сообщение о пожаре; длительное отключение силовых электрических кабелей; высокая протяжённость кабельного тоннеля; более высокая степень задымления объема ПС, как следствие пониженная видимости в НДС и высокая температура от горения полимерной горючей нагрузки; опасные факторы вспышки перегретого масла маслonaполненных силовых кабелей.

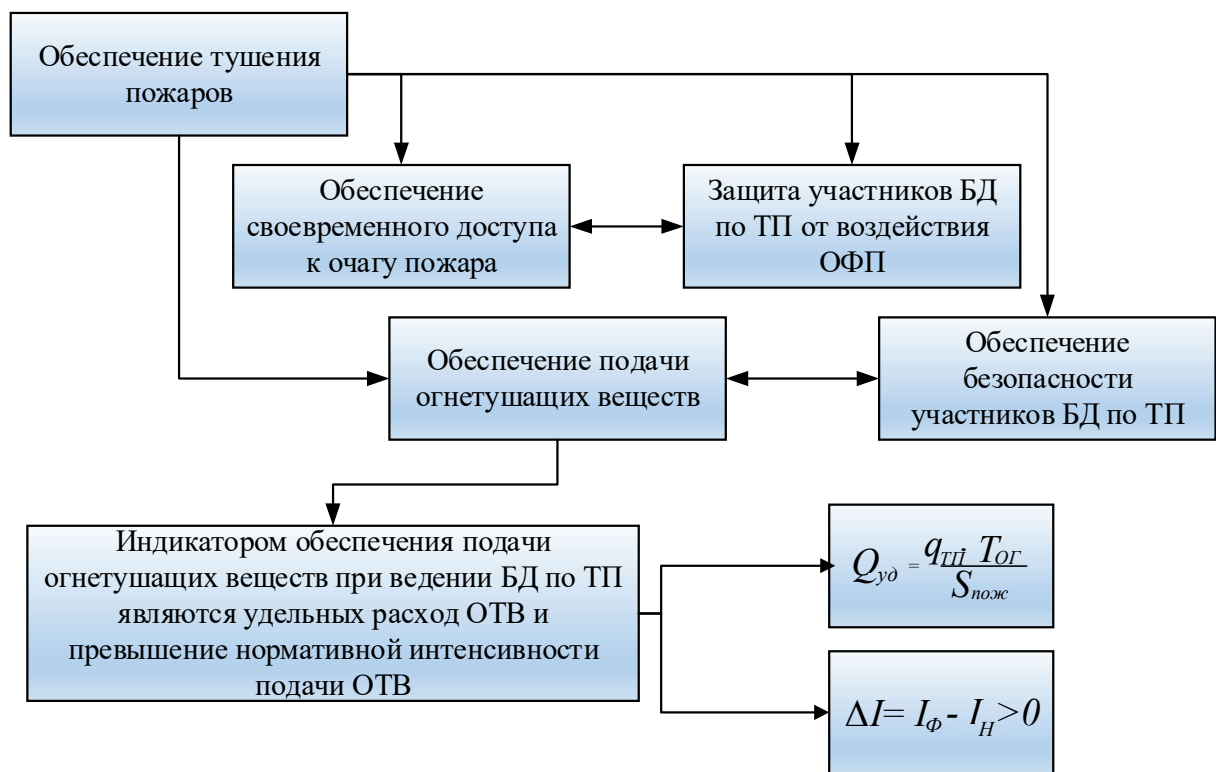


Рисунок 3.2 – Виды обеспечения тушения пожара

В процессе управления подчиненными элементами системы, возможны случайные ошибки при оценке параметров пожара, получении информации и выполнении распоряжений, так как процесс пожаротушения протекает в неопределенных условиях. Фрагменты обстановки на месте работ после тушения пожара в коллекторе по адресу г. Москва, Ленинградский проспект, д. 33А представлены на Рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Фрагменты обстановки на месте работ после тушения пожара в коллекторе по адресу г. Москва, Ленинградский проспект, д. 33А

Исходя из результатов, полученных в предыдущей главе, задачи, принимаемые к решению в настоящей главе:

провести графоаналитическое обоснование модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий пожарно-спасательных подразделений;

разработать программную реализацию поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС;

обосновать внедрение программного модуля в организационную структуру управления при тушении пожаров в ПС;

обосновать условия принятия опорных решений при решении задач управления тушением пожаров в ПС.

3.1 Графоаналитическое обоснование модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях

Средства массовой информации позволяют осуществлять информирование о событиях, происходящих в стране и мире. В современной России средства массовой информации являются одним из наиболее массовых источников информации для населения. Освещаются события как мирового и государственного масштаба, так и субъектового, городского и муниципального. Так, 2 декабря 2020 года новостные источники⁴ освещали пожар, произошедший по адресу: г. Москва, Ленинградский проспект, д. 33А. Пожар произошел в коллекторе, в котором проложено 32 кабельных линий, 202 линии связи и коммуникации водоснабжения. Общая протяженность коллектора: 6 480 метров, геометрические размеры: ширина 3000 мм, высота 2700 мм, глубина заложения (до уровня пола): 4100 мм, расстояние от входа до кабельного киоска: 480 м (схема коллектора в разрезе представлена на Рисунке 3.4).

На выполнение аварийно-восстановительных работ после пожара было затрачено 6 календарных дней. Для оценки выбора управленческих альтернатив при тушении пожара в ПС на основе сравнения реальных и прогнозных значений A_r и A_p , рассмотрим данный пожар в качестве примера пожара в ПС высокой протяженности и смоделируем как один из массива возможных сценариев тушения пожара в рассматриваемых условиях.

⁴ <https://riamo.ru/article/465829/rosseti-obestochennyh-potrebitelej-elektroenergii-iz-za-pozhara-v-kollektore-v-moskve-net-xl>;
<https://tass.ru/proisshestviya/10204309>;
<https://www.ntv.ru/novosti/2487280/> и др.

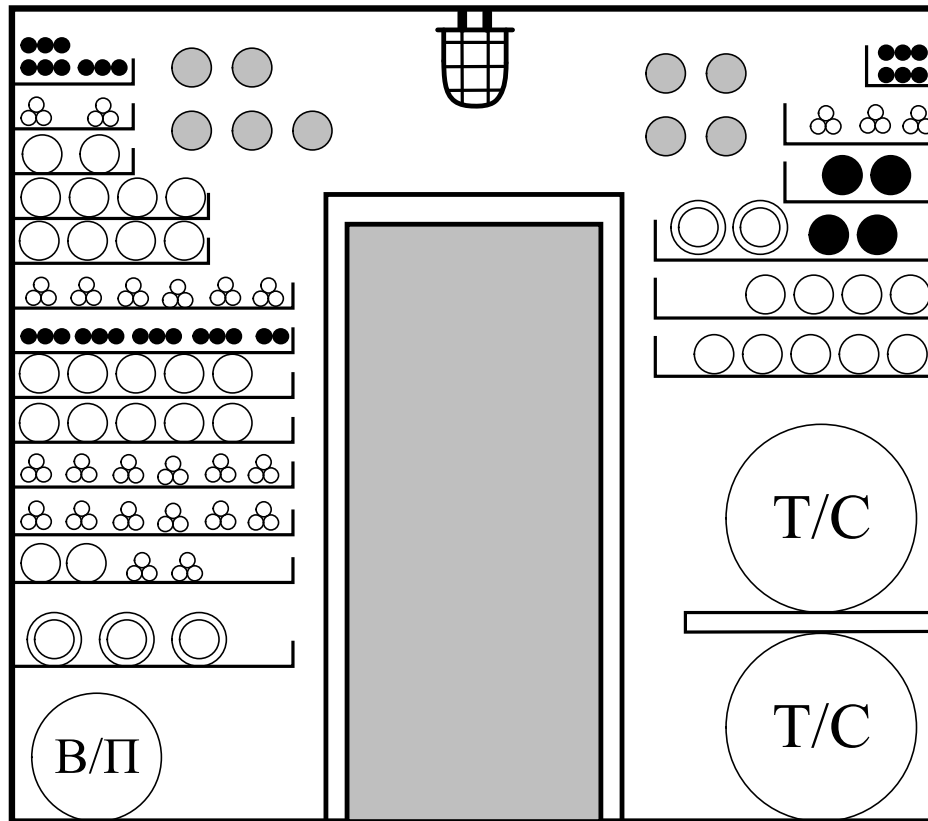


Рисунок 3.4 – Схема коллектора в разрезе (Т/С – теплосети, В/П – водопровод)

Для проведения моделирования применим модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП.

Время сообщения о пожаре – 15 часов 46 минут (событие C_1). В 15 часов 47 минут дежурный караул 27 ПСЧ выехал по указанному адресу (событие C_2 , работы P_{ij}^1 , $\tau_1 = 1$ мин). В 15 часов 53 минуты к месту пожара прибыл начальник караула 27 ПСЧ (РТП-1) во главе караула в составе отделения на АЦ, а также отделение АЦ-2 19 ПСЧ (событие C_3 , работы P_{ij}^2 , $\tau_2 = 6$ мин).

На момент прибытия РТП-1 из вентиляционного киоска кабельного коллектора шёл густой чёрный дым, о чём РТП-1 передал информацию на пункт связи части.

В 15 часов 54 минуты РТП-1 отдал приказ командиру отделения АЦ провести предварительное боевое развёртывание, а командиру отделения АЦ-2 19 ПСЧ - установить автоцистерну на пожарный гидрант (далее – ПГ) и произвести

развертывание магистральной линии к месту пожара (событие C_4 , работы P_{ij}^3 , $\tau_3 = 1$ мин). Общее время проведения работ ($P_{ij}^1 + P_{ij}^2 + P_{ij}^3$):

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ мин.} \quad (3.1)$$

При этом, не имея полной информации о характеристиках коллектора, РТП-1 запросил к месту пожара представителей АО «Москоллектор», а также определил зону пожара.

На рассматриваемый момент времени количество пожарной техники составило $N_{ПТ} = 2$ ед., расчетное количество личного состава ПСП $N_{ЛС} = 12$ чел.

Исходя из поступающей информации с места пожара в 15 часов 59 минут оперативный дежурный территориального пожарно-спасательного гарнизона города Москвы принял решение выслать к месту пожара дополнительно автомобиль газового тушения, автомобиль контейнерного типа с модулем дымоудаления, а также автомобили, оборудованные генераторами сверхвысокококротной пены «BIG Flexi Foam» (ориентированный граф реализации событий на пожаре в 15 часов 54 минут (Блок 1) представлен на Рисунке 3.5).

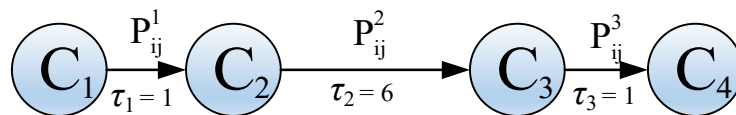


Рисунок 3.5 – Ориентированный граф реализации событий на пожаре в 15 часов 54 минут (Блок 1)

В 16 часов 06 минут на момент прибытия оперативного дежурного МПСГ (событие C_5 , работы P_{ij}^4 , $\tau_4 = 12$ мин) САО г. Москвы (РТП-2) из вентиляционного киоска коллектора шёл густой чёрный дым, проведено предварительное боевое развёртывание, АЦ-2 19 ПСЧ установлена на ПГ, от неё проложена одна магистральная линия к месту пожара.

РТП-2 передал информацию о пожаре по внешним признакам, организовал работу ШПТ (начальник ШПТ – начальник 13 СПЧ), запросил к месту пожара службу скорой и неотложной медицинской помощи Департамента здравоохранения Москвы, а также повторно запросил аварийную бригаду АО «Москоллектор».

В 16 часов 08 минут РТП-2 приказал начальнику караула 27 ПСЧ подготовить на тушение пенный ствол «Пурга-5» (событие C_6 , работы P_{ij}^5 , $\tau_5 = 2$ мин).

В 16 часов 09 минут к месту пожара прибыл первый представитель АО «Москоллектор», который был включён в состав оперативного штаба на месте пожара. После оценки обстановки, от АО «Москоллектор» была получена информация о принадлежности коллектора, также о том, что внутри расположен трубопровод с холодной и горячей водой, 32 силовых электрических кабеля под различным напряжением, общая протяжённость коллектора составляет 6,5 км. Спуск без отключения силовых кабелей строго запрещён (событие C_7 , работы P_{ij}^6 , $\tau_6 = 1$ мин).

В 16 часов 10 минут РТП-2 принимает решение ограничить движение через подземный пешеходный переход, расположенный в непосредственной близости к вентиляционному киоску коллектора (событие C_8 , работы P_{ij}^7 , $\tau_7 = 1$ мин) (ориентированный граф реализации событий на пожаре в 15 часов 54 минут (Блок 1) представлен на Рисунке 3.6).

На рассматриваемый момент времени количество пожарной техники составило $N_{ПТ} = 3$ ед., расчетное количество личного состава ПСП $N_{ЛС} = 18$ чел.

Общее время проведения работ ($P_{ij}^4 + P_{ij}^5 + P_{ij}^6 + P_{ij}^7$):

$$\tau_{общ2} = \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7 = 12 + 2 + 1 + 1 = 16 \text{ мин.} \quad (3.2)$$

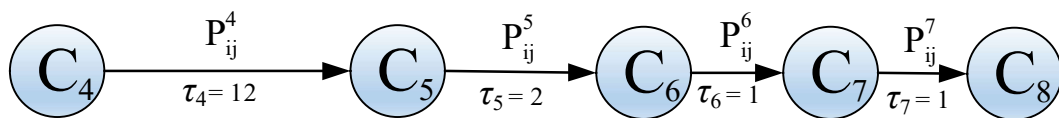


Рисунок 3.6 – Ориентированный граф реализации событий на пожаре в 16 часов 10 минут (Блок 1)

В 16 часов 21 минуту к месту пожара прибывает оперативный дежурный территориального пожарно-спасательного гарнизона города Москвы (РТП-3) со штабом пожаротушения, принимает доклад РТП-2, объявляет пожару ранг «Пожар № 1-Бис» и приказывает (событие C_9 , работы P_{ij}^8 , $\tau_8 = 11$ мин):

старшему помощнику начальника дежурной смены СПТ ФПС УОПТиПАСР Главного управления МЧС России по г. Москве (далее – ГУ МЧС России по г. Москве) возглавить ШПТ на месте пожара (событие C_9^1 , работы $P_{ij}^{8(1)}$);

помощнику начальника дежурной смены СПТ ФПС УОПТ и ПАСР ГУ МЧС России по г. Москве возглавить организацию работы тыла на пожаре, провести предварительное боевое развёртывание сил и средств, установить пожарные автомобили на водоисточники, проложить от них магистральные рукавные линии к вентиляционным киоскам коллектора, а также к киоску по адресу: Ленинградский проспект, д. 33 стр.1 установить автомобиль контейнерного типа с модулем дымоудаления для организации управления газообменом на пожаре (событие C_9^2 , работы $P_{ij}^{8(2)}$);

ответственным за охрану труда на пожаре назначить заместителя начальника 27 ПСЧ ПСО ФПС Управления по CAO ГУ МЧС России по г. Москве (событие C_9^3 , работы $P_{ij}^{8(3)}$);

дежурному инженеру АО «Москоллектор» представить планировку коллектора и уведомление о снятии напряжения с электрических сетей (событие C_9^4 , работы $P_{ij}^{8(4)}$).

В 16 часов 23 минуты для организации работы служб жизнеобеспечения в зоне пожара начальник оперативного штаба на месте пожара отдаёт по радиосвязи распоряжение диспетчеру территориального пожарно-спасательного гарнизона города Москвы выслать к месту пожара 3 наряда ГИБДД для организации дорожного движения, выслать 2 экипажа патрульно-постовой службы для оцепления места пожара, аварийную бригаду ПАО «МОЭСК» (Московской объединённой электросетевой компании), аварийную бригаду АО «Мослифт», АО «Мосводоканал», ГБУ «Гормост» (событие C_{10} , работы P_{ij}^9 , $\tau_9 = 2$ мин).

Прибывшей к месту пожара в это же время бригаде ГБУЗ «Научно-практический центр экстренной медицинской помощи Департамента здравоохранения города Москвы» (НПЦ ЭМП) начальник оперативного штаба на месте пожара отдал распоряжение войти в состав штаба, организовать учёт прибывающих бригад скорой и неотложной медицинской помощи.

В 16 часов 25 минут после уточнения конструктивных особенностей коллектора РТП-3 приказывает начальнику караула 27 ПСЧ провести разведку на предмет определения сообщающихся входов в коллектор по Ленинградскому проспекту (событие C_{11} , работы P_{ij}^{10} , $\tau_{10}^1 = 4$ мин).

В 16 часов 33 минуты РТП-3 приказывает создать на пожаре 2 боевых участка (событие C_{12} , работы P_{ij}^{11} , $\tau_{11} = 8$ мин):

Боевой участок № 1 (со стороны дома по адресу: Ленинградский проспект, д. 33 стр.1), начальник боевого участка: заместитель начальника управления – начальник ПСО ФПС Управления по САО ГУ МЧС России по г. Москве.

Боевой участок № 2 (со стороны дома по адресу: Ленинградский проспект, д. 33А), начальник боевого участка: заместитель начальника службы – начальник дежурной смены СПТ ФПС ПСО ФПС Управления по САО ГУ МЧС России по г. Москве (ориентированный граф реализации событий на пожаре в 15 часов 54 минут (Блок 2) представлен на Рисунке 3.7).

На рассматриваемый момент времени количество пожарной техники составило $N_{ПТ} = 8$ ед., количество техники аварийных служб составило $N_{АС} = 2$ ед., расчетное количество личного состава ПСП $N_{ЛС} = 32$ чел.

Общее время проведения работ ($P_{ij}^8 + P_{ij}^9 + P_{ij}^{10} + P_{ij}^{11}$):

$$\tau_{общз} = \tau_8 + \tau_{10} + \tau_{11} = 11 + 4 + 8 = 23 \text{ мин.} \quad (3.3)$$

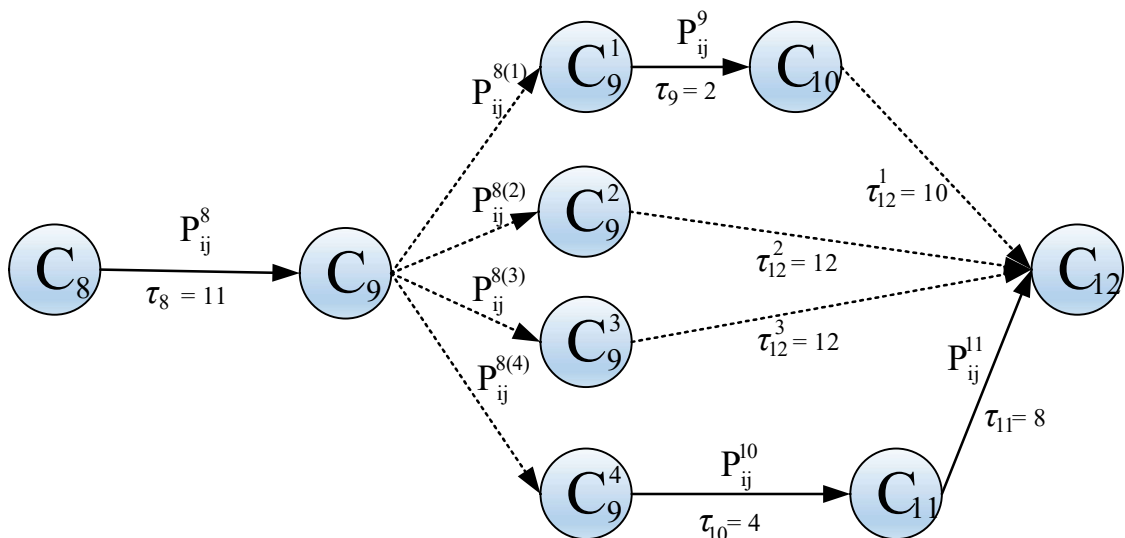


Рисунок 3.7 – Ориентированный граф реализации событий на пожаре в 16 часов 33 минуты (Блок 2)

В 16 часов 34 минуты в 13-ти жилых домах, по адресам: Ленинградский проспект, дом 33, дом 33А, дом 33: корпуса 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10 и дом 35 отключилось электроснабжение.

В 16 часов 39 минут РТП-3 приказывает командиру отделения АЦ-2 33 ПСЧ установить автомобиль на боевой участок № 1, провести предварительное боевое развёртывание с подготовкой на тушение пенного ствола (событие C_{13} , работы P_{ij}^{12} , $\tau_{12} = 6$ мин).

В 16 часов 46 минут начальник оперативного штаба на месте пожара включил в состав штаба дежурного инженера АО «Мосводоканал», направив его в распоряжение начальника тыла (событие C_{14} , работы P_{ij}^{13} , $\tau_{13}^1 = 7$ мин).

В 16 часов 50 минут РТП-3 приказывает командиру отделения АНР 31 ПСЧ установить автомобиль на ПГ и проложить магистральную линию ко входу в коллектор на боевой участок № 1 (событие C_{15} , работы P_{ij}^{14} , $\tau_{14} = 4$ мин).

В 16 часов 55 минут из вентиляционного киоска со стороны боевого участка № 2 шёл густой чёрный дым, ШПТ на месте пожара во взаимодействии с представителями АО «Москоллектор» установлено, что на глубине 3,1 метра проложены 32 силовых кабеля 10 и 20 кВ, 202 кабеля связи, трубы холодного водоснабжения диаметром 300 мм и горячего водоснабжения диаметром 400 мм, общая протяжённость коллектора 6,5 км (событие C_{16}^1 , работы $P_{ij}^{15(1)}$, $\tau_{15}^1 = 5$ мин).

В это же время РТП-3 было сформировано 2 БУ, завершено предварительное боевое развёртывание, 2 АЦ установлены на пожарные гидранты, проложены 2 магистральные рукавные линии, подготовлено 2 водяных ствола, 1 ствол для подачи воздушно-механической пены, создан резерв порошковых и углекислотных огнетушителей и организовано 3 звена ГДЗС с дыхательными аппаратами 4-х часового защитного действия (событие C_{16}^2 , работы $P_{ij}^{15(2)}$, $\tau_{15}^2 = 22$ мин).

В 16 часов 59 минут начальник оперативного штаба на месте пожара включил в состав штаба главу управы района «Беговой» и отдал распоряжение организовать подготовку пункта временного размещения, а также мест питания и обогрева участников тушения пожара (событие C_{17} , работы P_{ij}^{16} , $\tau_{16}^1 = 4$ мин).

В 17 часов 05 минут (Ч+78) РТП-3 приказывает старшему расчёта 207 АКТ установить контейнер дымоудаления в вентиляционный киоск коллектора со стороны боевого участка № 2 (событие C_{18} , работы P_{ij}^{17} , $\tau_{17} = 6$ мин).

В 17 часов 15 минут к месту тушения пожара прибыл начальник СПТ ФПС УОПТ и ПАСР ГУ МЧС России по г. Москве (РТП-4), подтвердил информацию РТП-3 и приказал полностью перекрыть подземный переход под Ленинградским проспектом в районе дома по адресу: Ленинградский проспект, д. 33А, освободить две крайние полосы дублёра Ленинградского проспекта в сторону центра для размещения пожарно-спасательной техники и техники служб жизнеобеспечения у места пожара, а также организовать проверку лифтов в жилых домах, отключённых от электроснабжения (событие C_{19} , работы P_{ij}^{18} , $\tau_{18} = 10$ мин) (ориентированный граф реализации событий на пожаре в 15 часов 54 минут (Блок 2) представлен на Рисунке 3.8).

На рассматриваемый момент времени количество пожарной техники составило $N_{ИТ} = 10$ ед., количество техники аварийных служб составило $N_{АС} = 4$ ед., расчетное количество личного состава ПСП $N_{ЛС} = 46$ чел.

Общее время проведения работ ($P_{ij}^{12} + P_{ij}^{13} + P_{ij}^{14} + P_{ij}^{15(1)} + P_{ij}^{15(2)} + P_{ij}^{16} + P_{ij}^{17} + P_{ij}^{18}$):

$$\tau_{общ4} = \tau_{12} + \tau_{13}^1 + \tau_{14} + \tau_{15}^1 + \tau_{16}^1 + \tau_{17} + \tau_{18} = 6 + 7 + 4 + 5 + 4 + 6 + 4 = 36 \text{ мин.} \quad (3.4)$$

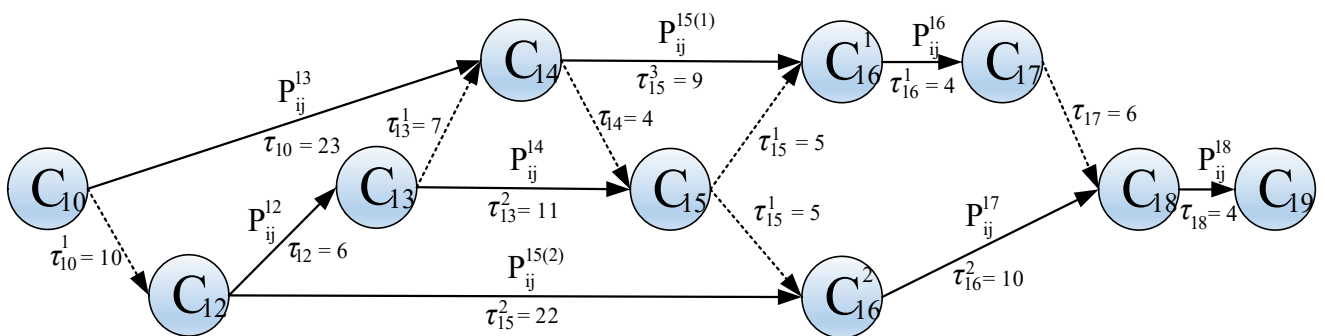


Рисунок 3.8 – Ориентированный граф реализации событий на пожаре в 17 часов 15 минут (Блок 2)

Так, в 17 часов 20 минут начальником оперативного штаба на месте пожара были отданы распоряжения (событие C_{20} , работы P_{ij}^{19} , $\tau_{19} = 5$ мин):

представителю ГИБДД организовать объезд транспортных средств по дублёру Ленинградского проспекта, исключая две правые полосы, и задействовать их для размещения пожарной техники;

представителю АО «Мослифт» организовать проверку лифтов жилых домов, отключенных от электроснабжения.

В это же время РТП-4 приказал командиру отделения АЦ-2 9 ПСЧ организовать контроль за состоянием газообмена в коллекторе, посредством наблюдения за вентиляционными киосками со стороны боевого участка № 2.

В 17 часов 21 минуту к месту пожара прибыл начальник ГУ МЧС России по г. Москве (РТП-5), подтвердил информацию РТП-4 и приказал обеспечить бесперебойную работу модуля дымоудаления со стороны боевого участка № 1, для организации тактической вентиляции подготовить 4 переносных вентилятора, в целях снижения скорости распространения пожара брезентовыми перемычками изолировать доступ воздуха в вентиляционные киоски коллектора (событие C_{21} , работы P_{ij}^{20} , $\tau_{20} = 1$ мин).

В 17 часов 22 минуты к месту пожара прибывает заместитель Мэра Москвы в Правительстве Москвы по вопросам жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства.

В 17 часов 27 минут начальником оперативного штаба на месте пожара было отдано распоряжение представителю АО «Москоллектор» организовать изоляцию вентиляционных киосков брезентовыми перемычками (событие C_{22} , работы P_{ij}^{21} , $\tau_{21} = 6$ мин).

В 17 часов 30 минут заместителем Мэра Москвы и ГУ МЧС России по г. Москве е (РТП-5) совместно с представителями служб жизнеобеспечения города, а также собственниками кабельных линий был разработан и утверждён план тушения пожара и ликвидации его последствий, в котором были предусмотрены: решающее направление введения сил и средств (событие C_{23} , работы P_{ij}^{22} , $\tau_{22} = 3$ мин);

порядок отключения электроснабжения кабельных линий коллектора напряжением 10-20 кВ;

подготовительные мероприятия к подаче огнетушащих веществ;
привлечение для тушения пожара ПСП, оснащённых дыхательными аппаратами длительного времени защитного действия;
мероприятия по выполнению требований охраны труда на месте пожара и учёту участников тушения пожара, работающих в коллекторе;
управление газообменом на месте пожара;
ограничение передвижения граждан в зоне пожара и прилегающем подземном переходе под Ленинградским проспектом;
обеспечение электроэнергией отключённых жилых домов по временной схеме энергоснабжения.

После детального изучения конструктивных особенностей коллектора, ввиду большой протяженности коллектора, большого количества технологических ответвлений и опасности попадания специальных огнетушащих веществ в систему вентиляции, расположенных рядом административных и жилых зданий, РТП-5 принял решение не использовать для тушения пожара углекислый газ. Таким образом, в 17 часов 38 минут автомобиль газового тушения (АГТ) 28 СПЧ был направлен в резерв сил и средств (событие C_{24} , работы P_{ij}^{23} , $\tau_{23} = 8$ мин).

На основании разработанного плана в 17 часов 40 минут РТП-5 отдал приказ командирам отделений АГ 2 ПСЧ и 203 ПСО ГКУ «ПСЦ» подготовить на боевом участке № 1 вентиляторы для организации управления газообменом, с последовательной их установкой в коллекторе в направлении движения звеньев тушения (после получения уведомления о снятии напряжения) (событие C_{25} , работы P_{ij}^{24} , $\tau_{24} = 2$ мин).

В 17 часов 45 (событие C_{26} , работы P_{ij}^{25} , $\tau_{25} = 5$ мин) минут РТП-5 приказывает командирам отделений АЦ 50 ПСЧ и АНР 3 ПСЧ сформировать резерв порошковых огнетушителей на боевом участке № 1.

В 17 часов 59 минут в оперативный штаб на месте пожара было представлено уведомление об отключении напряжения в электрических сетях коллектора. РТП-5 получив информацию о снятии напряжения приказал начальнику СПТ ФПС УОПТ и ПАСР ГУ МЧС России по г. Москве организовать и возглавить звено

ГДЗС из 5 человек (совмещенный личный состав отделений АЦ 33, 12 ПСЧ, АЦ и АГ ПСО № 207 ГКУ «ПСЦ») (далее – звено ГДЗС-1) и провести разведку пожара со стороны боевого участка № 1 по ходу приточной вентиляции коллектора с порошковыми и углекислотными огнетушителями, оперативному дежурному территориального пожарно-спасательного гарнизона города Москвы возглавить второе звено ГДЗС (совмещенный личный состав) (далее – звено ГДЗС-2) с того же направления, проложить рабочую рукавную линию до очага пожара и подать ручной ствол «Rambojet» со смачивателем, заместителю начальника управления – начальнику ПСО ФПС Управления по САО ГУ МЧС России по г. Москве контролировать работу модуля дымоудаления (событие C_{27} , работы P_{ij}^{26} , $\tau_{26} = 14$ мин) (ориентированный граф реализации событий на пожаре в 15 часов 54 минут (Блок 2) представлен на Рисунке 3.9).

На рассматриваемый момент времени количество пожарной техники составило $N_{ПТ} = 10$ ед., количество техники аварийных служб составило $N_{АС} = 9$ ед., расчетное количество личного состава ПСП $N_{ЛС} = 48$ чел.

Общее время проведения работ ($P_{ij}^{19} + P_{ij}^{20} + P_{ij}^{21} + P_{ij}^{22} + P_{ij}^{23} + P_{ij}^{24} + P_{ij}^{25} + P_{ij}^{25} + P_{ij}^{26}$):

$$\tau_{общ} = \tau_{19}^1 + \tau_{20}^1 + \tau_{21}^1 + \tau_{22}^1 + \tau_{23} + \tau_{24} + \tau_{25} + \tau_{26} = 5 + 1 + 6 + 3 + 8 + 2 + 5 + 14 = 44 \text{ мин.} \quad (3.5)$$

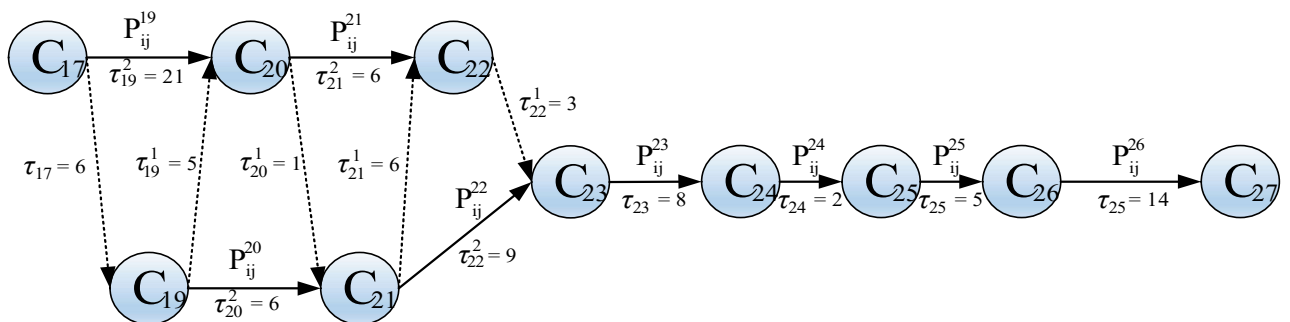


Рисунок 3.9 – Ориентированный граф реализации событий на пожаре в 17 часов 59 минут (Блок 2)

В 18 часов 15 минут отделения АГ 2 ПСЧ и 203 ПСО ГКУ «ПСЦ» произвели последовательную установку вентиляторов для организации управления газообменом в объеме коллектора (событие C_{28} , работы P_{ij}^{27} , $\tau_{27} = 16$ мин).

В 18 часов 28 минут звено ГДЗС-1 приблизительно в 400-500 метрах от входа обнаруживает очаг пожара на видимой площади около 10 погонных метров и подаёт на тушение 2 порошковых огнетушителя ОП-5 и 2 углекислотных огнетушителя ОУ-5, о чём передаёт информацию РТП-5 (событие C_{29} , работы P_{ij}^{28} , $\tau_{28} = 13$ мин).

В 18 часов 35 минут из-за большой протяженности маршрута движения звеньев ГДЗС от входа в коллектор до очага пожара РТП-5 отдал приказ командиру отделения автомобиля порошкового тушения (АП) 58 ПСЧ находиться в резерве сил и средств (событие C_{30} , работы P_{ij}^{29} , $\tau_{29} = 7$ мин).

В 18 часов 40 минут из-за неудовлетворительного качества прохождения радиосвязи со звеньями ГДЗС РТП-5 приказал организовать канал связи с использованием ретранслятора ТАКТ и связных, находящихся в линейной части коллектора (событие C_{31} , работы P_{ij}^{30} , $\tau_{30} = 5$ мин).

В 18 часов 43 минуты начальник тыла организовал расстановку связных в объеме коллектора с целью организации передачи информации об обстановке звеньями ГДЗС на посты безопасности и в оперативный штаб на месте пожара, и принял меры к прокладке кабеля связи к коллектору и установке ретрансляторов (событие C_{32} , работы P_{ij}^{31} , $\tau_{31} = 3$ мин).

В 18 часов 53 минуты из-за большой площади пожара, высокой температуры и плотного задымления, применяемых огнетушителей для локализации пожара было недостаточно, командир звена ГДЗС-1 принял решение о возвращении звеньев ГДЗС из коллектора (событие C_{33} , работы P_{ij}^{32} , $\tau_{32} = 10$ мин).

В 19 часов 01 минуту РТП-5 приказал со стороны боевого участка № 2 подготовить на тушение воздушно-пенный ствол ГПС-2000 и провести развёртывание генератора сверхвысококремнистой пены «BIG Flexi Foam», для обеспечения работы приборов подачи воздушно-механической пены установить пожарный автомобиль на гидрант и проложить магистральную линию (событие C_{34} , работы P_{ij}^{33} , $\tau_{33} = 8$ мин).

В 19 часов 02 минуты начальник тыла для обеспечения боевого участка № 2 пенообразователем организовал прокладку пенной линии от автомобиля пенного тушения (АПТ) 22 ПСЧ на боевой участок (событие C_{35} , работы P_{ij}^{34} , $\tau_{34} = 1$ мин).

В 19 часов 03 минуты начальник караула 27 ПСЧ, выполняя приказ РТП-5, организовал подачу пеногенератора ГПС-2000 (событие C_{36} , работы P_{ij}^{35} , $\tau_{35} = 1$ мин).

В 19 часов 10 минут начальник тыла организовал установку АНР 14 ПСЧ на ПГ, прокладку магистральной линии и подачу отделением АНР 14 ПСЧ генератора сверхвысококократной пены «BIG Flexi Foam» (событие C_{37} , работы P_{ij}^{36} , $\tau_{36} = 7$ мин).

В 19 часов 26 минут РТП-5 в связи с тяжёлыми условиями работы звеньев ГДЗС приказывает выслать к месту пожара дополнительно 5 отделений с дыхательными аппаратами 4-х часового защитного действия (событие C_{38} , работы P_{ij}^{37} , $\tau_{37} = 16$ мин) (ориентированный граф реализации событий на пожаре в 15 часов 54 минут (Блок 2) представлен на Рисунке 3.10).

На рассматриваемый момент времени количество пожарной техники составило $N_{ПТ} = 10$ ед., количество техники аварийных служб составило $N_{АС} = 12$ ед., расчетное количество личного состава ПСП $N_{ЛС} = 48$ чел.

Общее время проведения работ ($P_{ij}^{27} + P_{ij}^{28} + P_{ij}^{29} + P_{ij}^{30} + P_{ij}^{31} + P_{ij}^{32} + P_{ij}^{33} + P_{ij}^{34} + P_{ij}^{35} + P_{ij}^{36} + P_{ij}^{37}$):

$$\tau_{общ6} = \tau_{27} + \tau_{28}^1 + \tau_{29}^1 + \tau_{30} + \tau_{31}^2 + \tau_{34}^2 + \tau_{36}^1 + \tau_{37} = 16 + 13 + 7 + 5 + 21 + 2 + 7 + 16 = 87 \text{ мин.} \quad (3.6)$$

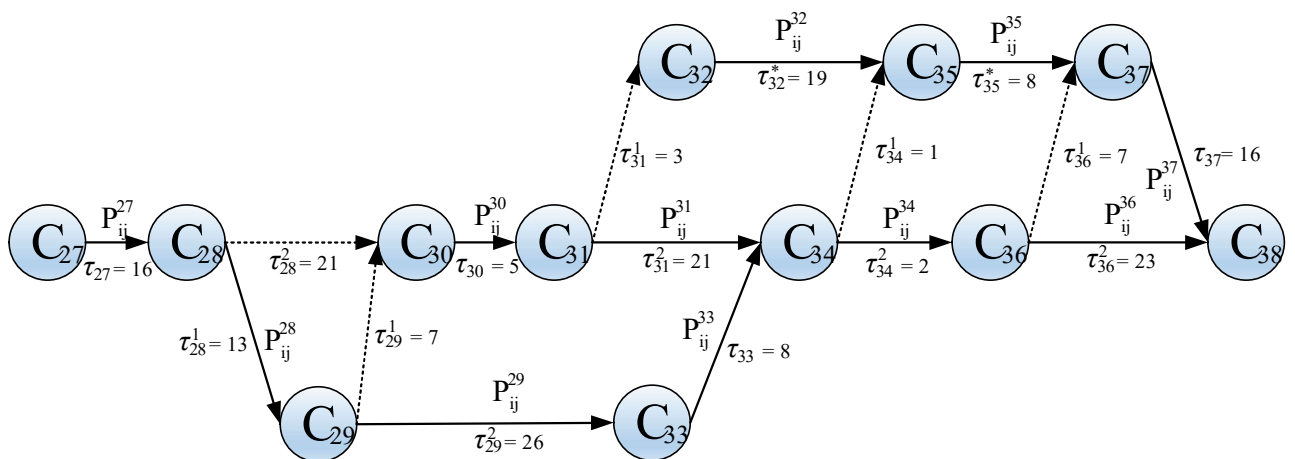


Рисунок 3.10 – Ориентированный граф реализации событий на пожаре в 19 часов 26 минут (Блок 2)

В рассматриваемой цепи событий событие C_{29} (обнаружение звеном ГДЗС очага пожара через 400–500 м от входа в НДС, время поиска очага пожара – 26 минут)

реализовалось через 13 минут после события C_{28} (установка вентиляторов для управления газообменом при пожаре), далее звено ГДЗС находилось у очага пожара в течении 18 минут с момента обнаружения, применяя средства пожаротушения, (событие C_{33}), в это же время происходят события [C_{28} ; C_{31}] и C_{34} (постановка в резерв АП – 7 минут, организация канала связи – 5 минут и расстановка связных для организации бесперебойной связи на пожаре – 3 минуты соответственно).

В 19 часов 43 минуты звено ГДЗС-2 в условиях плотного задымления и высокой температуры прокладывает рабочую линию длиной 520 метров и подаёт на тушение пожара ручной водяной ствол «Rambojet» со смачивателем, после чего в ШПТ на месте пожара от наблюдателей из числа личного состава ПСП поступает информация о снижении интенсивности выделения дыма из вентиляционных киосков коллектора со стороны боевого участка № 2 (событие C_{39} , работы P_{ij}^{38} , $\tau_{38} = 17$ мин).

В 19 часов 56 минут пожар был локализован на площади 49 погонных метров (событие C_{40} , работы P_{ij}^{39} , $\tau_{39} = 13$ мин).

В ходе тушения пожара происходила разгерметизация маслонаполненных кабелей, сопровождающаяся хлопками и вспышками технического масла, находящегося в циркуляции внутри кабелей, что периодически приводило к резкому повышению температуры и увеличению объёма продуктов горения.

Из-за конструктивных особенностей линейной части коллектора (узкий проход и большое количество изгибов) передвижение звеньев ГДЗС и наращивание рабочей рукавной линии было осложнено, а подача ручного водяного ствола была возможна только с одного безопасного направления.

В 22 часа 03 минуты пожар был полностью ликвидирован (событие C_{41} , работы P_{ij}^{40} , $\tau_{40} = 127$ мин) (ориентированный граф реализации событий на пожаре в 22 часа 03 минуты (Блок 3) представлен на Рисунке 3.11). На рассматриваемый момент времени количество пожарной техники составило $N_{ПТ} = 10$ ед., количество техники аварийных служб составило $N_{АС} = 12$ ед., расчетное количество личного состава ПСП $N_{ЛС} = 48$ чел.

Общее время проведения работ ($P_{ij}^{38} + P_{ij}^{39} + P_{ij}^{40}$):

$$\tau_{общ7} = \tau_{38} + \tau_{39} + \tau_{40} = 17 + 13 + 127 = 157 \text{ мин.} \quad (3.7)$$

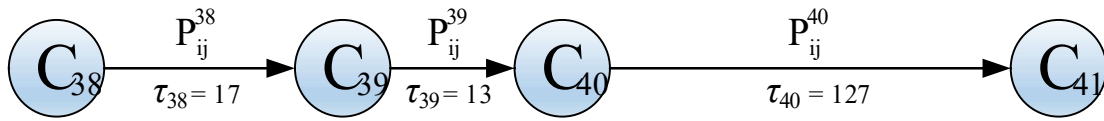


Рисунок 3.11 – Ориентированный граф реализации событий на пожаре в 22 часа 03 минуты (Блок 3)

Например, после решения задачи идентификации граничных условий пожаротушения – N_j^{2i} , (Рисунок 2.20) происходит выбор (подбор из имеющегося массива возможных альтернатив управления) приборов подачи огнетушащих веществ (для рассматриваемого примера – ГПС-600 (Пурга 5) или водяной ствол РС-50 («Rambojet») со смачивателем для тушения пожара, а также ствол на создание водяной завесы для защиты личного состава.

Согласно проведенного анализа влияния параметров пожара в ПС на действия ПСП температура окружающей среды воздействует на время проведения работ ПСП (что является одним из основных граничных условий при тушении пожара в ПС). Такое воздействие, связанное с работами, проводимыми в движении на расстоянии, может быть описано коэффициентом K_1^D :

$$K_1^D = \begin{cases} (2,18 \cdot 10^{-4})t^2 - 2,0 \cdot 10^{-3}t + 0,99, & \text{при } t < 0 \\ 1, & \text{при } t \in [0; 25] \\ 0,02t + 0,5, & \text{при } t \in (25; 30) \\ (2,18 \cdot 10^{-4})t^2 - 2,0 \cdot 10^{-3}t + 0,99, & \text{при } t \geq 30 \end{cases}, \quad (3.8)$$

где t – окружающая температура воздуха.

Так как работа ПСП непосредственно в объеме подземного сооружения при тушении пожара сопровождается повышенной температурой окружающей среды, то распределение коэффициента K_1^D будет составлять следующую зависимость повышающего коэффициента от окружающей температуры (Рисунок 3.12):

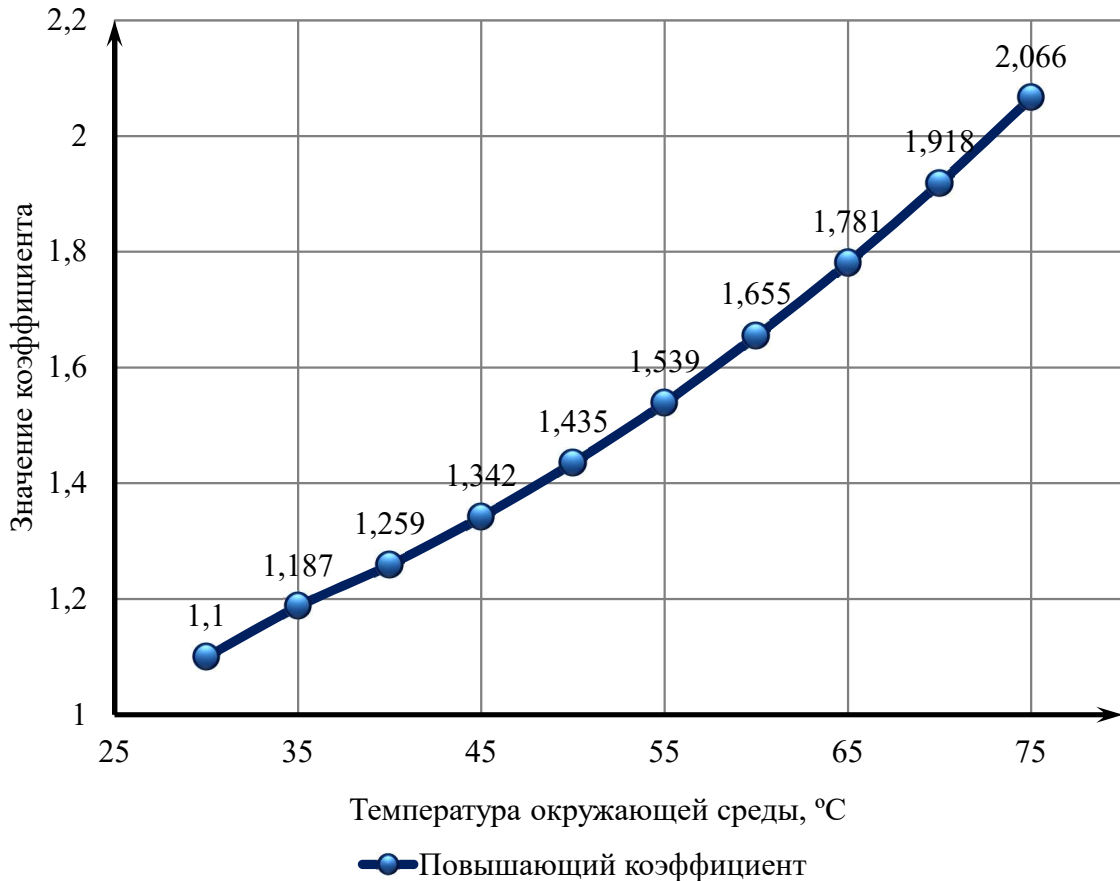


Рисунок 3.12 – Зависимость повышающего коэффициента от окружающей температуры

Исходя из приведенной зависимости повышающего коэффициента от окружающей температуры, повышенная температура окружающей среды существенно сказывается на производительности личного состава ПСП при проведении боевого развертывания сил и средств, согласно проведенного авторским коллективом исследования [73]. Например, прокладка магистральной рукавной линии (77 мм), при нормальных условиях работы (25 °C) на расстояние 240 м (15 рукавов напорных длиной 20 м) составляет 300 с, а уже в условиях работы при $T_{\text{окр.среды}} = 70$ (75) °C будет составлять порядка 600 с. Наблюдается увеличение времени выполнения работ в 2 раза, при увеличении температуры окружающей среды в 2,8–3 раза (зависимость времени выполнения развертывания сил и средств от окружающей температуры представлена на Рисунке 3.13).

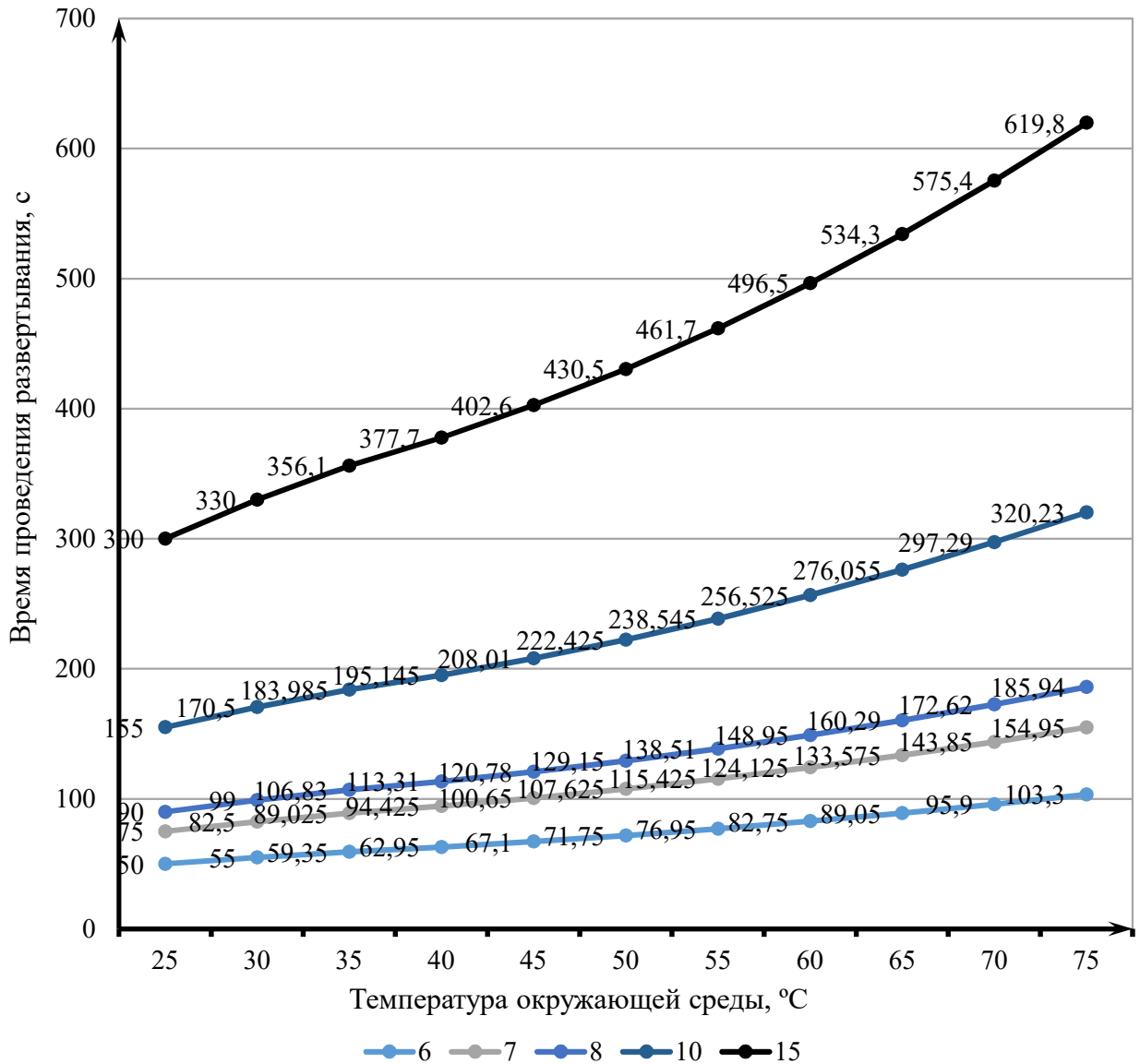


Рисунок 3.13 – Зависимость времени выполнения развертывания сил и средств от окружающей температуры и количества рукавов в линии

Согласно приведенной зависимости повышающего коэффициента времени выполнения развертывания сил и средств от коэффициента повышения температуры окружающей температуры (Рисунок 3.14) можно сделать прогноз по экспоненциальной линии тренда $y = 0,7222e^{0,3474x}$. Так, например, при увеличении температуры окружающей среды в 3,5 раза от базовой (25 °C) время проведения боевого развертывания увеличится в 2,43 раза, что необходимо учитывать в предварительном планировании действий по тушению пожара.



Рисунок 3.14 – Зависимость повышающего коэффициента времени выполнения развертывания сил и средств от коэффициента повышения температуры окружающей температуры

Рассматриваемая сетевая модель событий, при тушении пожара в ПС на примере коллектора, характеризуется временными (τ_{ij}) и количественными показателями пожаротушения ($N_{ИТ}, N_{АС}, N_{ЛС}$), анализ которых позволит представить динамику процесса тушения пожара в ПС и позволит подвести итог принятым решениям их реализации и затрат ресурсов ПСП. Также, исходя из идентифицированных граничных условий при тушении пожара в ПС, немаловажным фактором является скорость поиска очага пожара в объеме сооружения и, соответственно, скорость продвижения звеньев ГДЗС в НДС.

Продолжительность пожара с момента поступления сообщения о пожаре до ликвидации пожара ($\tau_{БД}$) составила:

$$\tau_{БД} = \sum \tau_{общ} = 8 + 16 + 23 + 36 + 44 + 87 + 157 = 371 \text{ мин.} \quad (3.9)$$

Рассмотрим состояния системы тушения пожара в ПС на моменты времени $T_1 = 24 \text{ мин}, T_2 = 47 \text{ мин}, T_3 = 83 \text{ мин}, T_4 = 127 \text{ мин}, T_5 = 214 \text{ мин}, T_6 = 244 \text{ мин}.$

В соответствии с алгоритмом определения сил и средств ПСП при тушении пожаров в ПС сформирован набор альтернатив управления со следующими количественными параметрами, определяющими данные альтернативы управления (Таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Количественные параметры альтернатив управления для рассматриваемых сценариев тушения пожара в ПС (На примере этапа C_6)

№ п\п	Альтернатива управления	Параметр	Обозначение	A_1	A_2	A_3
1.	Альтернатива 1 – A_1 , подача ствола Rambojet и РСК-50 на тушение пожара и ЛК-3П на создание водяной завесы.	Расход ОТВ необходимого для локализации пожара, л/с	$Q_{лок}$	10,7	10,4	10,7
2.		Расход ОТВ на создание водяной завесы, л/с	$Q_{зав}$	2,7	2,7	-
3.		Коэффициент цикличности продвижения по тоннелю	$k_{ц}$	1	1	-
4.		Интенсивность подачи ОТВ на тушение пожара, необходимое для локализации пожара, л/с·м ²	$I_{лок}$	0,218	0,212	0,218
5.		Интенсивность подачи ОТВ на создание водяной завесы, л/с·м ²	$I_{зав}$	0,35	0,35	-
6.	Альтернатива 2 – A_2 , подача стволов НРТ-5 и 2 РСК-50 на тушение пожара и ЛК-3П на создание водяной завесы.	Необходимое количество пожарных автомобилей, ед	$N_{ПА}$	8	8	6
7.		Необходимое количество работающих и резервных звеньев, ед	$N_{зв..ГДЗС}$	6	6	4
8.	Альтернатива 3 – A_3 , подача ствола Rambojet и РСК-50 на тушение пожара	Необходимое количество работающих стволов, подающих ОТВ на тушение, ед	$N_{р.ств.туш}$	2	2	2
9.		Необходимое количество работающих стволов, подающих ОТВ на создание водяных завес, ед	$N_{р.ств.зав}$	1	1	-
10.		Необходимое количество рукавов, имеющих в распоряжении РТП, ед	$N_{рукавов}$	48	48	36
11.		Время локализации пожара, мин	$T_{лок}$	220,6	236,3	214,2

Проведено сравнение сформированных альтернатив по критериям сравнения альтернатив управления при тушении пожара в ПС, представленным в главе 2:

$$A_{opt1} = \max(A_1, \dots, A_3) = \max(0,544, 0,324, 0,132) = 0,544,$$

$$A_{opt2} = \max(A_1, \dots, A_3) = \max(0,477, 0,296, 0,224) = 0,477.$$

Таким, образом альтернатива 1 является наиболее предпочтительной для рассматриваемого сценария тушения пожара для первой и второй группы критериев.

Состояние системы C_1 тушения пожара на рассматриваемом примере для выбранной альтернативы управления при $T_1^{(прим)} = 24$ мин, $T_1^{(альт)} = 21,5$ мин:

$$C_1^{(прим)} = \begin{cases} T_{общ} = 24 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 0 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 0 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 2 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 0 \text{ ед.} \end{cases} \quad C_1^{(альт)} = \begin{cases} T_{общ} = 21,5 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 0 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 0 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 2 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 0 \text{ ед.} \end{cases} .$$

Состояние системы C_2 тушения пожара на рассматриваемом примере для выбранной альтернативы управления при $T_2^{(прим)} = 44$ мин, $T_2^{(альт)} = 40,3$ мин:

$$C_2^{(прим)} = \begin{cases} T_{общ} = 47 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 0 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 0 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 3 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 2 \text{ ед.} \end{cases} \quad C_2^{(альт)} = \begin{cases} T_{общ} = 40,3 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 0 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 0 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 3 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 2 \text{ ед.} \end{cases} .$$

Состояние системы C_3 тушения пожара на рассматриваемом примере для выбранной альтернативы управления при $T_3^{(прим)} = 83$ мин, $T_3^{(альт)} = 74,6$ мин:

$$C_3^{(прим)} = \begin{cases} T_{общ} = 83 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 0 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 0 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 8 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 4 \text{ ед.} \end{cases} \quad C_3^{(альт)} = \begin{cases} T_{общ} = 74,6 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 0 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 0 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 6 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 4 \text{ ед.} \end{cases} .$$

Состояние системы C_4 тушения пожара на рассматриваемом примере для выбранной альтернативы управления при $T_4^{(прим)} = 127$ мин, $T_4^{(альт)} = 114,8$ мин:

$$C_4^{(прим)} = \begin{cases} T_{общ} = 127 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 8 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 2,7 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0,163 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 171 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 10 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 9 \text{ ед.} \end{cases} \quad C_4^{(альт)} = \begin{cases} T_{общ} = 114,8 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 7,2 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 2,7 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0,147 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 154 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 8 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 9 \text{ ед.} \end{cases}$$

Состояние системы C_5 тушения пожара на рассматриваемом примере для выбранной альтернативы управления при $T_5^{(прим)} = 214$ мин, $T_5^{(альт)} = 193,5$ мин:

$$C_5^{(прим)} = \begin{cases} T_{общ} = 214 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 8 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 2,7 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0,163 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 171 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 10 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 12 \text{ ед.} \end{cases} \quad C_5^{(альт)} = \begin{cases} T_{общ} = 193,5 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 7,2 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 2,7 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0,147 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 154 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 8 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 12 \text{ ед.} \end{cases}$$

Состояние системы C_6 тушения пожара на рассматриваемом примере для выбранной альтернативы управления при $T_6^{(прим)} = 244$ мин, $T_6^{(альт)} = 220,6$ мин:

$$C_6^{(прим)} = \begin{cases} T_{общ} = 244 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 15,2 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 2,7 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0,31 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 372 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 10 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 12 \text{ ед.} \end{cases} \quad C_6^{(альт)} = \begin{cases} T_{общ} = 220,6 \text{ мин} \\ Q_{ф.лок} = 10,7 \text{ л/с} \\ Q_{ф.зав} = 2,7 \text{ л/с} \\ I_{ф.лок} = 0,218 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2 \\ q_{уд}^{\phi} = 270 \text{ л/м}^2 \\ N_{ПА} = 8 \text{ ед.} \\ N_{АС} = 12 \text{ ед.} \end{cases}$$

По результатам проведенного моделирования на этапах тушения пожара посредством модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив получены значения, характеризующие альтернативы управления, и проведено сравнение с рассматриваемым примером.

Отклонение прогнозных значений времени реализации моделируемых альтернатив управления от фактических результатов составляет от 8,41 % до 10,42 % в меньшую сторону. Таким образом, среднее значение отклонения составляет 9,62 %, что говорит о повышении оперативности действий ПСП при тушении пожара на основе выбранной моделируемой альтернативы управления.

Сопоставление результатов моделирования альтернатив управления при тушении пожара в ПС представлено на Рисунке 3.15.

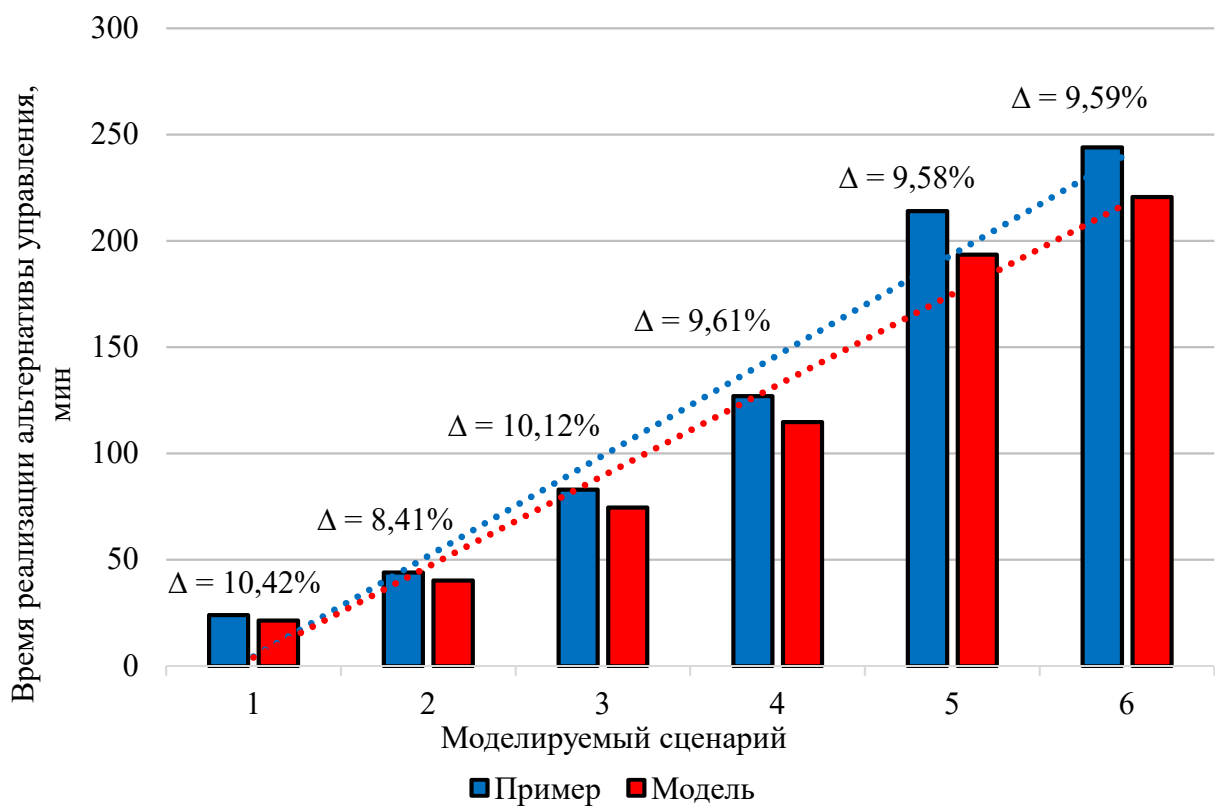


Рисунок 3.15 – Сопоставление результатов моделирования альтернатив управления при тушении пожара в ПС

Результаты оценки надежности альтернатив управления при тушении пожара в ПС на основе модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП представлены в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты оценки надежности альтернатив управления на этапах тушения пожара в подземном сооружении

№ п/п	Сценарий	$T_{прим}$, мин	$T_{альт}$, мин	ΔT , мин	$HN(m(t) \leq T_{гр.усл})$	Интервал HN
1.	Сценарий № 1	24,0	21,5	2,5	0,967	$HN \geq 0,95$
2.	Сценарий № 2	44,0	40,3	3,7	0,978	$HN \geq 0,95$
3.	Сценарий № 3	83,0	74,6	8,4	0,954	$HN \geq 0,95$
4.	Сценарий № 4	127,0	114,8	12,2	0,961	$HN \geq 0,95$
5.	Сценарий № 5	214,0	193,5	20,5	0,943	$0,95 > HN \geq 0,8$
6.	Сценарий № 6	244,0	220,6	23,4	0,932	$0,95 > HN \geq 0,8$

Маркеры времени прибытия отделений ПСП на этапах тушения пожара до 1,5 часов (динамика сосредоточения ПСП и аварийных бригад представлена на Рисунке 3.16) соответствуют прибытию 0,11 отд./мин (в среднем, прибывало на место пожара 1 отделение на основном или специальном пожарном автомобиле каждые 8,3 минуты). Прибытие бригад аварийных служб и служб жизнеобеспечения города начинается через 35–45 минут после сообщения о пожаре. В период тушения пожара с 47-й минуты по 244-ю к месту тушения пожара прибыло 12 аварийных бригад взаимодействующих организаций и служб жизнеобеспечения города, что соответствует скорости прибытия 0,06 бр./мин (в среднем происходило прибытие 1 бригады каждые 16,4 минуты).



Рисунок 3.16 – Динамика сосредоточения ПСП и аварийных бригад

Реализация событий на пожаре также характеризовалась прибытием личного состава к месту пожара, так, если прибывающие пожарные автомобили могли после прибытия вставить в резерв, то личный состав, прибывающий на этих автомобилях задействовался для выполнения задач. Временные показатели прибытия личного состава пожарных подразделений на этапах тушения пожара соответствуют скорости сосредоточения 5·чел./мин (в среднем происходило прибытие 1 звена ГДЗС каждые 14,8 минут) (динамика прибытия личного состава ПСП представлена на Рисунке 3.17).

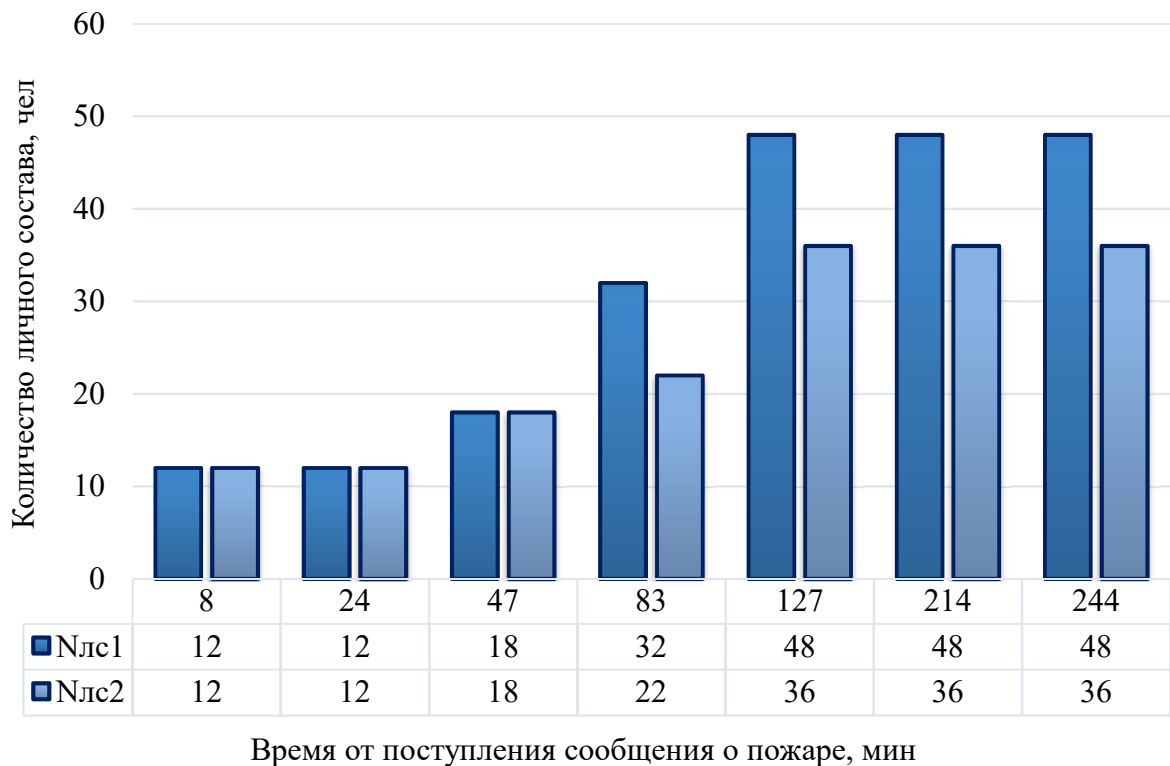


Рисунок 3.17 – Динамика прибытия личного состава ПСП

Таким образом, проанализировав работу сил и средств (Обстановка на месте пожара на момент пожара $T = 244$, представлена на Рисунке 3.18), и по результатам моделирования процесса пожаротушения в ПС на основе модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП установлено:

до непосредственного момента проведения разведки в НДС нет информации и/или недостаточная информация о точном расположении места очага пожара в ПС;

не известна и/или недостаточная информация о протяжённости маршрутов ввода сил и средств для тушения пожара в ПС;

отсутствует и/или недостаточная информация, необходимая для оптимального выбора места входа звеньев ГДЗС в НДС.

Таким образом, управление СиС на месте пожара в ПС должно учитывать создание запаса (резерва) пожарных рукавов непосредственно у входа в НДС (у разветвления), после разведки и обнаружения очага пожара сразу приступать к последующему боевому развертыванию сил и средств на месте пожара.

Результаты моделирования тушения пожара в ПС показывают отклонение от фактических временных значений рассмотренного примера. К примеру, отклонение среднего прогнозного результата моделирования от средних фактических временных значений 9,62 %. По результатам оценки надежности моделируемых альтернатив управления для рассматриваемых сценариев тушения пожара в ПС получены результаты *HN* в диапазоне 0,932–0,978, что соответствует очень высокому и высокому уровню надёжности альтернатив управления при тушении пожара в ПС. Таким образом, проведя моделирование посредством модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП, достигнут результат, актуальный для достижения задачи повышения оперативности принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС.

3.2 Программная реализация поддержки принятия решений при тушении пожаров в подземных сооружениях

Разработанный авторским коллективом программный модуль поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС [74, 75] (Приложение Б) позволяет ЛПР решить задачу управления, состоящую в принятии решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств пожарной охраны к месту пожара в ПС, а также формирования необходимого количества сил и средств на этапах тушения пожара. Последовательность решения задачи управления [99] приведена на Рисунке 3.19.

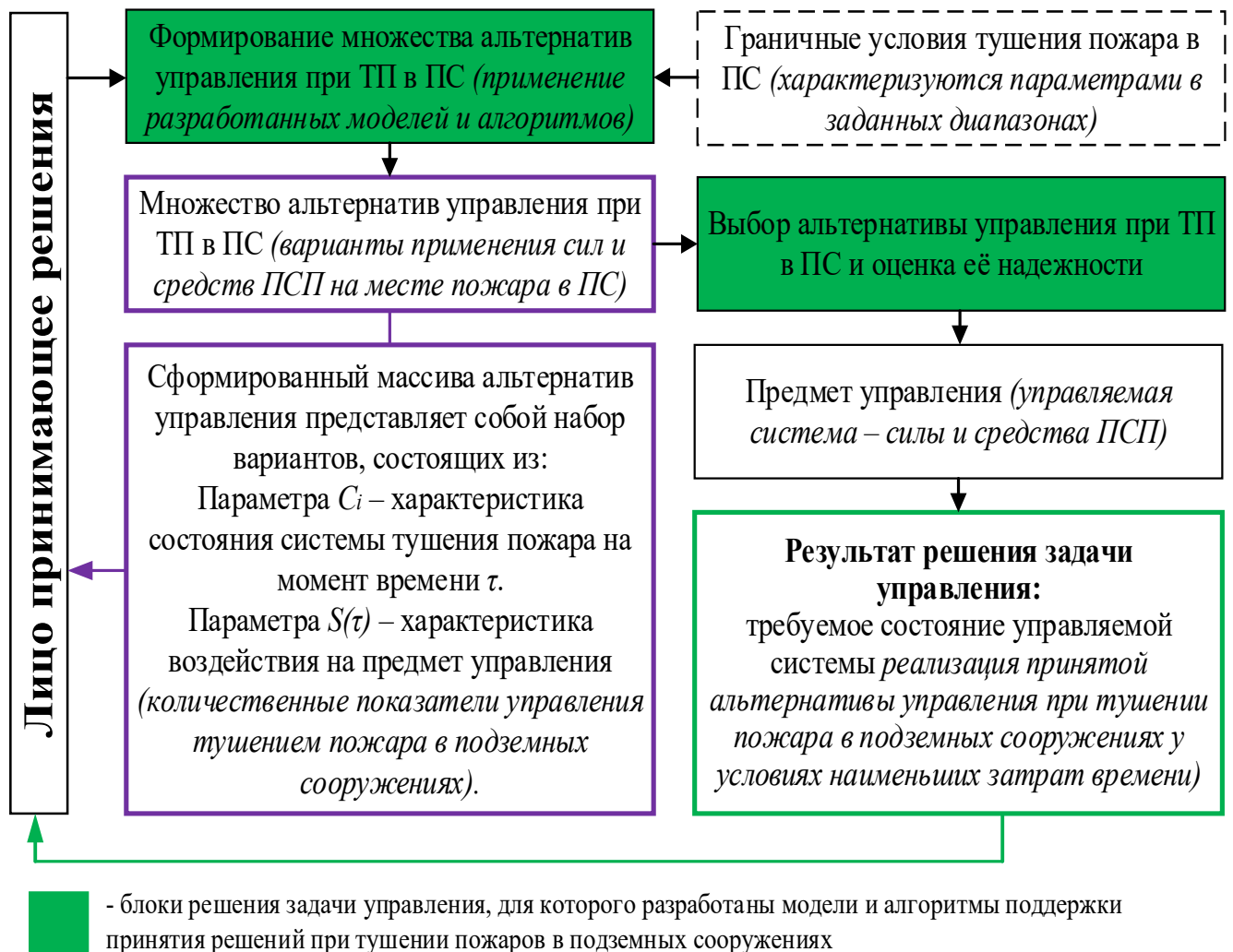


Рисунок 3.19 – Последовательность решения задачи управления

Решение управленческой задачи в рамках данного исследования осуществляется с целью формирования множества допустимых альтернатив управления и выбора варианта, наиболее оптимального в применимости при управлении силами и средствами ПСП при тушении пожаров в ПС.

Программный модуль состоит из двух частей:

1. Поддержка принятия решений при определении сил и средств ПСП при тушении пожаров в ПС, который обеспечивает формирование альтернатив управления по тушению пожара в ПС, вывод параметров данных альтернатив управления и данных о необходимом количестве сил и средств для реализации данных альтернатив.

2. Поддержка принятия решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования альтернатив управления, который обеспечивает формирование массива альтернатив управления при тушении пожаров в ПС, а также оценку альтернатив управления из сформированного набора в граничных условиях пожаротушения, выбор и оценку надежности выбранной альтернативы управления.

Общий вид модуля № 1 представлен на Рисунке 3.20.

Блок 1 – ввод исходных данных (выбор диаметра магистральных рукавов, указание количества напорных рукавов на 1 ПА, выбор типа используемого пожарного ствола, а также ввод характеристик ПС – диаметра тоннеля и глубины заложения подземного сооружения).

Блок 2 – ввод геометрических параметров ПС, расход ОТВ, который может подать ПА и количество газодымозащитников, работающих со стволом.

Блок 3 – схема подземного сооружения (на примере типового сооружения метрополитена).

Блок 4 – вывод результатов расчета требуемых параметров для реализации управленческой альтернативы при тушении пожара в ПС (требуемое количество ПА, требуемое количество личного состава ПСП, требуемое количество пожарных стволов, расход воды для создания водяной завесы по сесению тоннеля (при реализации альтернативы применения водяных завес для защиты работающих

звеньев ГДЗС, максимальная дальность магистральной линии, необходимое количество пожарных рукавов).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Диаметр рукава мм Наружный диаметр рукава мм
 Количество напорных рукавов на 1 пожарном автомобиле ед.
 Тип пожарного ствола
Блок 1

Диаметр тоннеля м. Глубина заложения сооружения м
 Расход воды, который может подать питающие рукавные линии пожарный автомобиль

Расстояние от пожарного гидранта до наземного вестибюля или до спуска в подземный вестибюль(4) м
 Длина спуска (расстояние от наземного вестибюля до нижнего схода эскалатора(3)) м
 Расстояние от нижнего схода эскалатора до аварийного тоннеля (2) м
 Расстояние от станции до места пожара м
 Блок 2

Количество газодымозащитников в звене, работающих с одним стволом чел.

Блок 3

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА

Требуемое количество пожарных автомобилей ед.
 Требуемое количество личного состава бойцов.
 Требуемое количество пожарных стволов ед.
 Расход воды для создания водяной завесы по сечению тоннеля, л/с
 Максимальная дальность магистральной линии м
 Необходимое количество магистральных напорных рукавов шт.
 Блок 4

Оценка
Возможно

Рисунок 3.20 – Общий вид части № 1 программного модуля

В блоке № 1 программного модуля поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования альтернатив управления представлено основное меню. В блоке № 2 осуществляется ввод исходных данных (временных параметров реализации работ при тушении пожара в ПС ($\tau_0(i, j)$ – минимальное оценочное время выполнения работ, $\tau_c(i, j)$ – среднее время выполнения работ, $\tau_{max}(i, j)$ – максимальное оценочное время выполнения работ) в соответствии с заданными граничными условиями $T_{общ}$ (Рисунок 3.21).

1. Основное меню

Ввод исходных данных

Оценка среднего времени выполнения работ

Оценка надежности альтернативы управления

Расчет максимального времени выполнения работ

Справочные данные

2. Ввод исходных данных

Работа	t 0	t c	t max		
t1,2	0.5	3	12	4.083333333	3.673611111
t2,3	0.08	0.85	1.7	0.863333333	0.0729
t3,4	1.5	7.5	10	6.916666666	2.006944444
t4,5	0.35	1	1.5	0.975	0.036736111
t5,6	0.35	1	1.5	0.975	0.036736111
t6,7	2.4	4.12	18	6.146666666	6.76
t7,8	1	8	14	7.833333333	4.694444444
t8,9	0.35	5.7	12	5.858333333	3.770069444
t9,10	1	4.46	14	5.473333333	4.694444444
t10,11	1	8.08	15	8.053333333	5.444444444
t11,12	6	12	20	12.333333333	5.444444444

Назад + - Тобщ = 68 calc Ок

Рисунок 3.21 – Интерфейс части № 2 программного модуля. Блоки основного меню и ввода исходных данных

В блоке № 3 осуществляется расчет параметров среднего времени выполнения работ $m(t)$, сумма значений дисперсий для всего процесса $\sigma^2(M)$, и $\sigma(M) = \sqrt{\sigma^2(M)}$. В блоке № 4 производится оценка надежности принимаемой альтернативы управления при тушении пожара в ПС (Рисунок 3.22).

3. Оценка среднего времени выполнения работ

Расчитать среднее время

Результат расчета:

$m(t) =$ мин

$b2(M) =$ мин

$b(M) =$ мин

Назад Ок

4. Оценка надежности альтернативы управления

Результат расчета:

$NH =$

Уровень надежности альтернативы управления: **Высокий**

Назад Расчет max времени

Рисунок 3.22 – Интерфейс части № 2 программного модуля. Блоки оценки среднего времени выполнения работ при тушении пожара и оценки надежности выбираемой альтернативы управления

В блоке № 5 модуля рассчитывается максимальное время работ на пожаре в диапазонах заданного уровня надежности альтернатив управления при тушении пожаров в ПС (Рисунок 3.23).

5. Расчет максимального времени выполнения работ

Необходимый уровень надежности альтернативы:

Очень высокий

Tг min = 71.374893531 R min = 0.95

Tг max = 79.424940332 R max = 0.999

Рисунок 3.23 – Интерфейс части № 2 программного модуля. Блок расчета максимального времени выполнения работ при тушении пожара с заданным уровнем надежности

В блоке № 6 представлены справочные данные значений функции Лапласа и возможность адресного определения значений функции для полученного $\Phi(t)$.

6. Справочные данные

0	t	F(t)
128	1.27	0.79592
129	1.28	0.79945
130	1.29	0.80295
131	1.30	0.80640
132	1.31	0.80980
133	1.32	0.81316
134	1.33	0.81648
135	1.34	0.81975
136	1.35	0.82298
137	1.36	0.82617
138	1.37	0.82931
139	1.38	0.83241
140	1.39	0.83547
141	1.40	0.83849
142	1.41	0.84146
143	1.42	0.84439
144	1.43	0.84728

Project1 0.84439

Project1 1.42000

1.42 0.03191

1.42 0.84439

Рисунок 3.24 – Интерфейс части № 2 программного модуля. Блок справочных данных

Программная реализация поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС позволяет провести имитационное моделирование времени на этапах тушения пожара (проведение боевого развёртывания сил и средств и подача первого ствола на тушение пожара, локализация пожара) в зависимости от количества подразделений на АЦ, прибывающих к месту тушения пожара. Проведено сравнение с ретроспективными данными из выборки описаний пожаров, произошедших на аналогичных объектах.

Первая группа пожаров представлена линейными ПС (коллекторами), исходные данные приведены в Таблице 3.3. Вторая группа пожаров представлена подземными сооружениями большой площади, используемыми по складскому назначению для хранения шин, исходные данные приведены в Таблице 3.4.

Таблица 3.3 – Исходные данные для имитационного моделирования по группе 1

Данные	Пожар № 1	Пожар № 2
Объект пожара	Кабельный коллектор	Кабельный коллектор
$S_{пож.}$	80 м ²	35 м ²
$I_{туш.тр.}$	0,2 л/с· м ²	0,2 л/с· м ²
$Q_{тр.}$	16 л/с	8 л/с
$Q_{ф.}$	24,1 л/с	13,5 л/с
$N_{ств.}$	5 ед.	2 ед.
$N_{ПА.}$	22 ед.	24 ед.
$N_{л.с.}$	67 чел.	55 чел.
$N_{А.С.}$	22 ед.	21 ед.

Таблица 3.4 – Исходные данные для имитационного моделирования по группе 2

Данные	Пожар № 3	Пожар № 4
Объект пожара	ПС складского назначения	ПС складского назначения
$S_{пож.}$	100 м ²	125 м ²
$I_{туш.тр.}$	0,3 л/с· м ²	0,3 л/с· м ²
$Q_{тр.}$	30 л/с	37,5 л/с
$Q_{ф.}$	39,5 л/с	49,5 л/с
$N_{ств.}$	7 ед.	9 ед.
$N_{ПА.}$	12 ед.	14 ед.
$N_{л.с.}$	69 чел.	76 чел.
$N_{А.С.}$	10 ед.	13 ед.

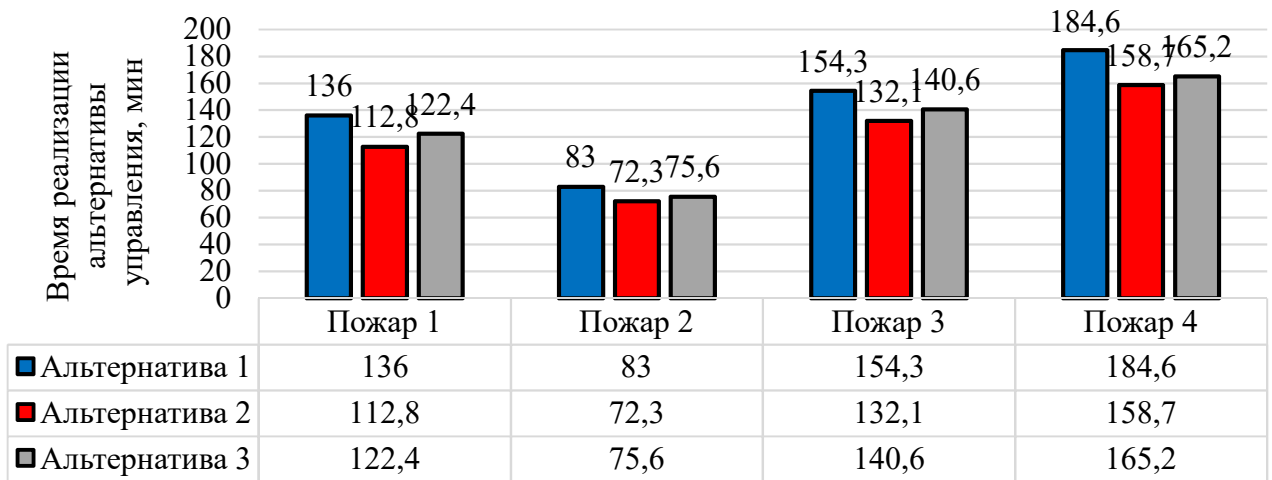
В Таблице 3.5 представлены результаты моделирования на основе программной реализации поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС. Алгоритм определения сил и средств ПСП при тушении пожаров в ПС позволяет сформировать параметры альтернатив управления в зависимости от количества личного состава и пожарной техники, привлекаемой к тушению пожара. Сценарии тушения пожара сформированы в соответствии с тактическими возможностями ПСП и возможностей местного пожарно-спасательного гарнизона. Результаты моделирования для представленных пожаров в ПС представлены на Рисунке 3.25.

Таблица 3.5 – Описание управленческих альтернатив тушения пожара в ПС и результаты моделирования

Альтернативы управления A_i	Описание альтернативы	Q_{ϕ} , л/с	I_{ϕ} , л/с·м ²	$N_{лс}$, чел.	$N_{ПА}$, ед.	$N_{ств}$, ед.
Пожар № 1 $A_1^1 \subset A_i$ $\tau_1^1 = 136$ мин	Моделируется вариант, который был реализован на практике ($A_1^1 \rightarrow \text{Факт.}$)	24,1	0,3	67	22	5
Пожар № 1 $A_2^1 \subset A_i$ $\tau_2^1 = 112,8$ мин	Моделируется вариант при котором заранее известно место возникновения пожара ($A_2^1 \rightarrow \text{max}$)	17,5	0,219	43	14	4
Пожар № 1 $A_3^1 \subset A_i$ $\tau_3^1 = 122,4$ мин	Моделируется вариант при котором ЛПР смог оценить граничные условия тушения пожара до прибытия к месту пожара и сформировать оптимальные пути проведения разведки пожара и введения сил и средств на тушение пожара ($A_3^1 \rightarrow \text{opt}$)	17,5	0,219	43	14	4
Пожар № 2 $A_1^2 \subset A_i$ $\tau_1^2 = 83$ мин	Моделируется вариант, который был реализован на практике ($A_1^2 \rightarrow \text{Факт.}$)	13,5	0,38	55	24	2
Пожар № 2 $A_2^2 \subset A_i$ $\tau_2^2 = 72,3$ мин	Моделируется вариант при котором заранее известно место возникновения пожара ($A_2^2 \rightarrow \text{max}$)	8,5	0,24	37	16	2

Продолжение таблицы 3.5

Альтернативы управления A_i	Описание альтернативы	Q_{ϕ} , л/с	I_{ϕ} , л/с·м ²	$N_{лс}$, чел.	$N_{ПА}$, ед.	$N_{ств}$, ед.
Пожар № 2 $A_3^2 \subset A_i$ $\tau_3^2 = 75,6$ мин	Моделируется вариант при котором ЛПР смог оценить граничные условия тушения пожара до прибытия к месту пожара и сформировать оптимальные пути проведения разведки пожара и введения сил и средств на тушение пожара ($A_3^2 \rightarrow opt$)	8,5	0,24	37	16	2
Пожар № 3 $A_1^3 \subset A_i$ $\tau_1^3 = 154,3$ мин	Моделируется вариант, который был реализован на практике ($A_1^3 \rightarrow Факт.$)	39,5	0,395	69	12	7
Пожар № 3 $A_2^3 \subset A_i$ $\tau_2^3 = 132,1$	Моделируется вариант при котором заранее известно место возникновения пожара ($A_2^3 \rightarrow max$)	31	0,31	52	9	5
Пожар № 3 $A_3^3 \subset A_i$ $\tau_3^3 = 140,6$	Моделируется вариант при котором ЛПР смог оценить граничные условия тушения пожара до прибытия к месту пожара и сформировать оптимальные пути проведения разведки пожара и введения сил и средств на тушение пожара ($A_3^3 \rightarrow opt$)	31	0,31	52	9	5
Пожар № 4 $A_1^4 \subset A_i$ $\tau_1^4 = 184,6$	Моделируется вариант, который был реализован на практике ($A_1^4 \rightarrow Факт.$)	49,5	0,396	76	14	9
Пожар № 4 $A_2^4 \subset A_i$ $\tau_2^4 = 158,7$	Моделируется вариант при котором заранее известно место возникновения пожара ($A_2^4 \rightarrow max$)	39,5	0,316	60	11	7
Пожар № 4 $A_3^4 \subset A_i$ $\tau_3^4 = 165,2$	Моделируется вариант при котором ЛПР смог оценить граничные условия тушения пожара до прибытия к месту пожара и сформировать оптимальные пути проведения разведки пожара и введения сил и средств на тушение пожара ($A_3^4 \rightarrow opt$)	39,5	0,316	60	11	7



Альтернативы управления при тушении пожара
 ■ Альтернатива 1 ■ Альтернатива 2 ■ Альтернатива 3

Рисунок 3.25 – Результаты моделирования для представленных пожаров в ПС

Результаты проведенного имитационного моделирования показывают положительную динамику сокращения времени на реализацию альтернатив управления при тушении пожаров в ПС. Так, для рассмотренных четырех пожаров в ПС, средний результат отклонения времени реализации «Альтернативы № 3» на 9,57 % меньше, чем результат реализации «Альтернативы № 1», что соответствует значениям, полученным в параграфе 3.1 диссертации.

3.3 Внедрение программного модуля в организационную структуру управления при тушении пожаров в подземных сооружениях

Согласно теории управления в организационных системах [96, 98] действия, направленные на решение конкретных задач и выполняемые непосредственно в процессе управления, являются управленческими функциями. К таким функциям относятся: организация, планирование, мотивация, контроль, координация, принятие решений, анализ деятельности системы и другие функции. Рассмотрим следующие функции управления, представленные на Рисунке 3.26.

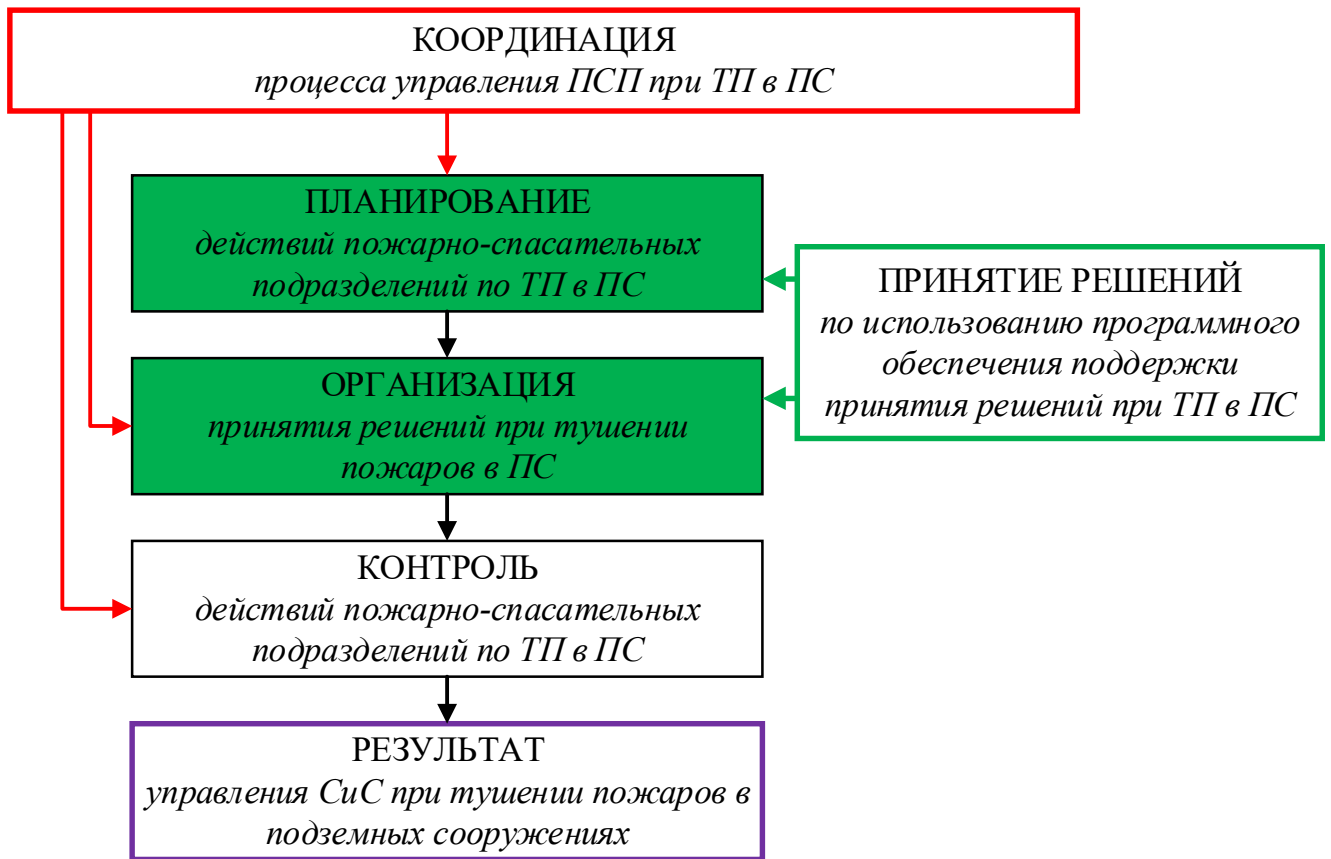


Рисунок 3.26 – Основные функции управления для внедрения разработанного программного модуля поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС

Предлагается внедрение разработанных моделей и алгоритмов в следующие основные функции управления: планирование действий ПСП по тушению пожаров в ПС, организация принятия решений при тушении пожаров в ПС.

1. Функция планирования действий ПСП по тушению пожаров в ПС. Планирование мероприятий по тушению пожаров в ПС представляет собой комплекс управленческих процессов, направленных на разработку стратегических и тактических подходов к эффективной локализации и ликвидации пожаров. В рамках данной деятельности осуществляется систематическая оценка потенциальных угроз, ресурсов и условий, а также формулирование оптимальных мероприятий по тушению пожаров, что способствует обеспечению устойчивого функционирования объектов ПС.

Современные подходы к планированию действий по тушению пожаров включают подготовку и утверждение нормативных документов предварительного планирования, таких как планы и карточки тушения пожаров. Эти документы

служат ориентиром для ПСП и регламентируют порядок действий при различных сценариях развития пожара [148, 149], определяя необходимые силы и средства ПСП и аварийных служб города и эксплуатирующих объекты организаций.

На текущем этапе актуальным является внедрение инновационных методов и технологий в процессы планирования тушения пожаров в ПС. В частности, предполагается интеграция поддержки принятия решений при тушении пожаров на данных объектах. Интеграция программного модуля поддержки принятия управленческих решений способствует повышению точности оценки ситуации, ускоряет процессы принятия решений и оптимизирует использование сил и средств ПСП, что является важным звеном в системе противопожарной безопасности и реагирования на чрезвычайные ситуации.

2. Функция организации принятия решений при тушении пожаров в ПС. Функция организации принятия решений при тушении пожаров в ПС представляет собой важный аспект управленческой деятельности, направленный на создание эффективной структуры управления и обеспечение её всеми необходимыми ресурсами для успешных локализации и ликвидации пожаров в ПС. Под организацией понимается процесс формирования оптимальной системы взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями, специалистами и аварийными службами эксплуатирующей объект организации и города, также обеспечение информационными ресурсами, что способствует оперативному и рациональному принятию решений при тушении пожара.

В исследовании организация процесса принятия решений при тушении пожаров в ПС основывается на нескольких ключевых принципах. Во-первых, наличие программного модуля поддержки принятия управленческих решений, включающего своевременное получение и обработку данных на месте пожара, динамике его распространения, условиях окружающей среды и наличии ресурсов ПСП. Во-вторых, высокий уровень компетентности должностных лиц, ответственных за управление процессом тушения, а также регулярная отработка навыков и умений через проведение пожарно-тактических учений и занятий, что позволяет повысить оперативность и эффективность управления при тушении пожаров в ПС.

Для повышения оперативности принятия управленческих решений и организации поддержки принятия управленческих решений предлагается внедрение разработанного программного модуля для разработки планов проведения пожарно-тактических учений и занятий. Данное решение позволит отработать широкий спектр возможных альтернатив действий ПСП при тушении пожаров в ПС, а также повысить уровень подготовки руководящего состава ПСП.

3. Функция контроля действий ПСП по тушению пожаров в ПС. Функция контроля в системе управления пожаротушением представляет собой важный управленческий процесс, направленный на количественную и качественную оценку действий ПСП и результатов выполненных мероприятий по тушению пожара. Ее основная задача — обеспечить своевременную и объективную оценку эффективности действий по тушению пожаров, а также при их анализе, что позволяет выявлять аспекты, позволяющие корректировать организационные и технические подходы у данным действиям.

Контроль осуществляется на различных этапах деятельности пожаротушения: непосредственно во время тушения пожара — для оценки текущей ситуации и корректировки действий ПСП; и после завершения тушения пожара — при проведении разбора и анализа произошедших пожаров. Анализ произошедших пожаров, является важной частью подготовки руководящего состава ПСП, включает оценку противопожарного состояния объекта, разбор действий ПСП, а также анализ осуществляемых мероприятий по тушению пожара. Такой подход способствует повышению профессионализма, повышению оперативности принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС.

4. Принятие решений по использованию программного модуля поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС. Разработанный программный модуль поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС при внедрении в управленческую деятельность позволяет решить задачу управления, состоящую в принятии решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств пожарной охраны к месту пожара в ПС на основе формирования набора и выбора управленческих альтернатив по тушению пожара в ПС на основе ранжирования, а также их реализации.

Внедрение программного модуля направлено на повышение оперативности принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС и организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

3.4 Условия принятия опорных решений при решении задач управления тушением пожаров в подземных сооружениях

Рассмотрим разработанную в рамках данного исследования иерархическую модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в ПС. Данная модель определяет оптимальное количество и состав элементов структуры взаимодействия при тушении в ПС с числом взаимодействующих элементов, которые включены в организационную систему пожаротушения.

Для определения структуры взаимодействия между элементами множества управляющей и управляемой подсистем на пожаре в ПС и прогноза развития сложившихся или потенциально-складывающихся условий тушения пожара в ПС, ЛПР требуется наличие информации, отражающей процессы, происходящие в данный момент времени. В таком случае ЛПР может правильно определить требуемые СиС и рассчитать параметры локализации и ликвидации пожара.

Большая часть вырабатываемых оперативным штабом на месте пожара управленческих альтернатив является предварительно-оценочными данными, поэтому ЛПР следует определить систему, по которой они будут проводить оценку действий ПСП и прогнозирование развития окружающей обстановки. Одной из таких систем является учет индивидуальных особенностей объектов при тушении пожара и оценка принятия управленческих решений в граничных условиях тушения пожара. Реализация альтернатив выбора управленческого решения напрямую зависит от сложившихся граничных условий при пожаре в ПС.

Формализуем сценарий тушения пожара в ПС, как функцию некоторой системы $S(t)$, системы переходов из состояние в состояние [36]. Данная функция будет являться процессом реализации набора вариантов возможных граничных условий при пожарах в ПС по времени t . Если мы зафиксируем время от начала пожара $t=t_0$, то случайное состояние системы становится некоторой случайной величиной – одним из возможных сценариев развития пожара в ПС, который может реализоваться в момент времени t_0 .

Базовый алгоритм выбора альтернативы управления должен обладать такими свойствами, чтобы при его анализе и идентификации повысить оперативность принятия управленческих решений при достижении основной боевой задачи при тушении пожаров в ПС. Обратимся к минимизации риска в выборе альтернатив управленческого решения. Классический принцип минимизации риска [187] лежит в основе разработки систем для решения задач управления при тушении пожара по конечному набору альтернатив оперативного управления в принятии опорных решений [89]. В задачах принятия опорных решений в зависимости от граничных условий (при управлении пожаротушением в ПС) требуется найти неизвестный набор альтернатив для выбора $A_R = (A_{Ri}, \dots, A_{Rj})$, где с каждой i -й альтернативой сопряжены временные потери, которые вычисляются при помощи функции потерь $f_n = (A_R)$. Для оценки риска определяется функция $ER(A_R)$, которая обычно определяется как среднее арифметическое от потерь, которые возникают для каждой альтернативы из набора граничных условий пожаротушения в ПС:

$$ER(A_R) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f_n(A_R^n), \quad n = 1 \dots N. \quad (3.10)$$

При этом значения A_R должны минимизировать функцию риска:

$$ER(A_R) = \min(A_R^n). \quad (3.11)$$

Так как функция потерь принимается непрерывно дифференцируемой функцией, следовательно, для минимизации можно использовать любой из градиентных методов [44]. В стандартном распределении потерь в альтернативах выбора решений на основе анализа граничных условий на пожаре в ПС возможно

возникновение отклонений от «нормальных значений», в таком случае минимизация функции риска может стать следствием искажения значений искомым параметров.

При условии реализации сценария идентификации отклонений, возможно исключение их из набора внутри групп граничных условий на пожаре в ПС. Для преодоления отклонений в условиях выбора управленческого решения необходимо решить задачу минимизации риска, используя функцию влияния t :

$$ER(A_R) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N t(f_n(A_R^n)). \quad (3.12)$$

Как показано в [53], это позволяет избавиться, во многих случаях, от отклонений, что объясняется соотношением:

$$t(v + \Delta) - t(v) = t'(\bar{v})\Delta. \quad (3.13)$$

Таким образом, для поиска A_R^n необходимо применять градиентные методы или адаптировать существующие методы поиска в классической постановке выбора управленческих альтернатив в граничных условиях. На основе анализа граничных условий в действиях ПСП при работе на пожаре в ПС получается процесс поиска цепочки управленческих альтернатив вида $ER(A_R)$, которая представляет исходную постановку задачи РТП, но, уже с учетом реализаций граничных условий.

Рассмотрим сценарии тушения пожара в ПС (пожар № 1 и пожар № 2). Исходные данные временных параметров для моделирования процесса тушения пожара представлены на Рисунке 3.27. Параметры сценария «пожар № 1» представлены анализируемым в главе 3 примером, параметры сценария «пожар № 2» являются параметрами альтернатив управления опорного решения по тушению пожара для рассматриваемого объекта.

2. Ввод исходных данных					
Работа	t ₀	t _c	t _{max}		
t1,2	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t2,3	1	6	10	5.833333333	2.25
t3,4	0.5	1	2	1	0.111111111
t4,5	4	12	18	11.66666666	5.444444444
t5,6	1	2	3.5	2.083333333	0.173611111
t6,7	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t7,8	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t8,9	3	11	15	10.33333333	4
t9,10	1.5	4	8	4.25	1.173611111
t10,11	2	8	12	7.666666666	2.777777777
t11,12	2	6	11	6.166666666	2.25
t12,13	3.1	7	12.6	7.283333333	2.506944444
t13,14	1.8	4	7	4.133333333	0.751111111
t14,15	2	5	8	5	1
t15,16	1.5	4	6	3.916666666	0.5625
t16,17	2	6	12	6.333333333	2.777777777
t17,18	1.4	4	7.1	4.083333333	0.9025
t18,19	1.9	5	8.8	5.116666666	1.3225
t19,20	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t20,21	2	6	11	6.166666666	2.25
t21,22	1.2	3	5.6	3.133333333	0.537777777
t22,23	2.5	8	15	8.25	4.340277777
t23,24	1	2	4	2.166666666	0.25
t24,25	1.5	5	7	4.75	0.840277777
t25,26	5	14	20	13.5	6.25
t26,27	6	16	22	15.33333333	7.111111111
t27,28	4	13	18	12.33333333	5.444444444
t28,29	2.7	7	13.6	7.383333333	3.300277777
t29,30	1.2	5	7.5	4.783333333	1.1025
t30,31	6	21	35	20.83333333	23.36111111
t31,32	1	2	4	2.166666666	0.25
t32,33	2.5	7	12	7.083333333	2.506944444
t33,34	6	16	22	15.33333333	7.111111111
t34,35	7	17	23	16.33333333	7.111111111
t35,36	4.5	13	19.5	12.66666666	6.25

2. Ввод исходных данных					
Работа	t ₀	t _c	t _{max}		
t1,2	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t2,3	1	6	10	5.833333333	2.25
t3,4	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t4,5	4	12	18	11.66666666	5.444444444
t5,6	1	2	3.5	2.083333333	0.173611111
t6,7	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t7,8	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t8,9	3	11	15	10.33333333	4
t9,10	1.5	4	8	4.25	1.173611111
t10,11	2	8	12	7.666666666	2.777777777
t11,12	2	6	11	6.166666666	2.25
t12,13	3.1	7	12.6	7.283333333	2.506944444
t13,14	1.8	4	7	4.133333333	0.751111111
t14,15	2	5	8	5	1
t15,16	1.5	4	6	3.916666666	0.5625
t16,17	2	5	10.1	5.35	1.8225
t17,18	1.4	4	7.1	4.083333333	0.9025
t18,19	1.9	4.6	8.2	4.75	1.1025
t19,20	0.5	1	2	1.083333333	0.0625
t20,21	2	6	11	6.166666666	2.25
t21,22	1.2	3	5.6	3.133333333	0.537777777
t22,23	2.5	8	15	8.25	4.340277777
t23,24	1	2	4	2.166666666	0.25
t24,25	1.5	5	7	4.75	0.840277777
t25,26	4.6	12	17.8	11.73333333	4.84
t26,27	6	16	22	15.33333333	7.111111111
t27,28	3.5	11	16	10.58333333	4.340277777
t28,29	2.7	7	13.6	7.383333333	3.300277777
t29,30	1.2	5	7.5	4.783333333	1.1025
t30,31	6	21	35	20.83333333	23.36111111
t31,32	1	2	4	2.166666666	0.25
t32,33	2.5	6	11	6.25	2.006944444
t33,34	6	14	20	13.66666666	5.444444444
t34,35	7	17	23	16.33333333	7.111111111
t35,36	4.5	11	17.5	11	4.694444444

Рисунок 3.27 – Исходные данные временных параметров для моделирования процесса тушения пожара

Результатом исследования и сравнения значений параметров альтернатив управления тушением пожара в ПС (Рисунок 3.28) на основе опорного решения для рассматриваемого сценария тушения пожара является зависимость времени реализации альтернатив управления с учетом оценки их надежности. Сформирована устойчивая тенденция отклонения результатов моделирования в сторону уменьшения времени реализации альтернатив управления и повышения надежности принимаемых альтернатив управления на основе опорных решений при тушении пожара в ПС.

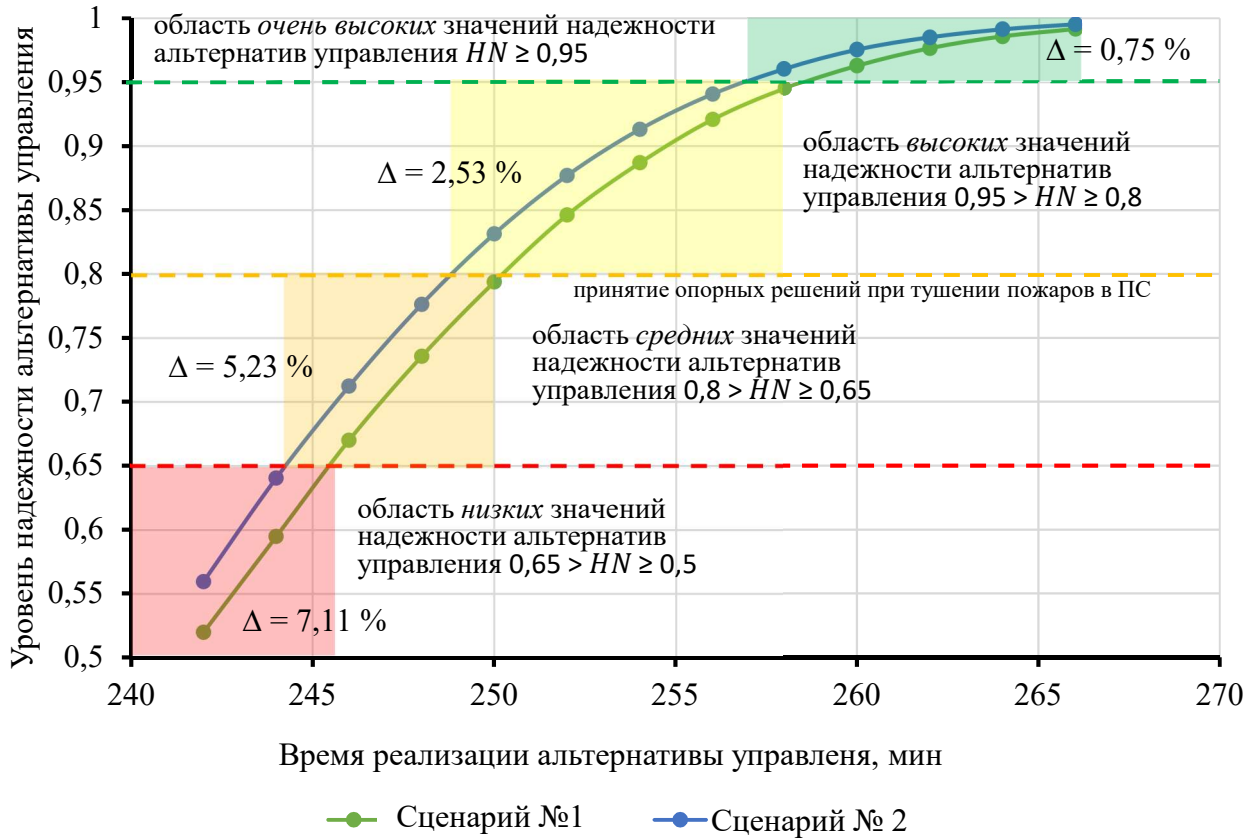


Рисунок 3.28 – Результаты исследования параметров опорных решений при тушении пожаров в ПС

Результаты оценки отклонения значений, полученных на основе моделирования действий ПСП и надежности принимаемых альтернатив управления на основе опорных решений при тушении пожара в ПС представлены в Таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты оценки значений моделирования процесса тушения пожара на основе опорных решений при тушении пожара в ПС

№ п/п	$HN(m(t) \leq T_{гр,усл})$	Уровень надежности	Среднее значение отклонения, Δ	Принятие опорных решений
1.	$HN \geq 0,95$	Оч. высокий	0,75 %	-
2.	$0,95 > HN \geq 0,8$	Высокий	2,53 %	Допустимо
3.	$0,8 > HN \geq 0,65$	Средний	5,23 %	Целесообразно
4.	$0,65 > HN \geq 0,5$	Низкий	7,11 %	Действия в условиях оправданного риска

Исходя из полученных значений, оптимальная область применения опорных решений в сценариях тушения пожара в ПС – это когда альтернативы управления характеризуются средним уровнем надежности. Применение опорных решений при тушении пожара в ПС в сценариях, когда альтернативы управления характеризуются низким уровнем надежности, предлагается рассматривать как действия в условиях оправданного риска (крайней необходимости).

Использование комплексного статистического анализа помогает выявлять характеристики, признаки и строение отношений одних элементов рассматриваемой системы к другим, а также, ко всей совокупности этих элементов в целом в условиях принятия управленческих решений с учетом дефицита информации об окружающей обстановке [190], что позволяет определить оперативность управления в заданных условиях окружающей обстановки при тушении пожара в ПС.

Решение задачи управления ПСП при осуществлении действий, выполняемых на месте пожара и характеризующихся массовостью выполнения, для которых возможно дискретное представление значений либо параметров обстановки (такие как граничные условия пожаротушения, количественные показатели тушения пожара, контроль и др.) связано с управлением взаимодействием на месте пожара. Большое значение здесь представляет вопрос своевременной передачи информации в складывающейся обстановке по применению различных элементов информационной системы управления взаимодействием на месте пожара в ПС.

На основе комплексного анализа произошедших пожаров, моделирования и прогнозирования, как показано в параграфах 3.1 и 3.2, формируются основополагающие положения для использования модели, применительно к предварительному планированию действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ в ПС. Таким образом, ЛПР при принятии решений, направленных на повышение эффективности в их принятии на месте пожара в ПС, и совершении действий, целью которых является достижение основной боевой задачи на пожаре, необходимо руководствоваться, при выборе исходных данных, оперативной информацией.

Для решения данной задачи может использоваться как детерминированная, так и вероятностная информация. Деятельность по оперативному управлению включает оценку надежности различных управленческих альтернатив из массива возможных вариантов, которые разрабатываются ШПТ. Эта структура является системой, которая предполагает наличие определенных элементов (Рисунок 2.31) и показателей оперативности исследуемого процесса.

Один из подходов к решению управленческих задач в рассматриваемых условиях – это принятие опорных решений. Процесс принятия данных решений, включая выбор и применение оптимальных алгоритмов решения поставленных задач управления, предполагает использования соответствующих моделей для оценки функционирования процесса тушения пожара в ПС.

Итогом является получение определенного массива альтернатив управления тушением пожара в ПС. Идентифицированные граничные условия позволяют создать наборы альтернатив управления, что, в свою очередь может являться триггерными точками при реализации тех или иных сценариев развития пожара. Для своевременного и адекватного ответа на складывающуюся обстановку на месте пожара в ПС необходимо осуществлять реализацию действий, направленных на достижение основной боевой задачи при тушении пожара, на основе принятия опорных решений.

Результаты тушения пожара в значительной степени зависят от качества заблаговременного планирования и количественных параметров имеющихся ресурсов, необходимых для реализации управленческих решений при тушении пожара в ПС, в соответствии с разработанным планом. Разработка и принятие опорных решений имеет преимущества, поскольку предварительно позволяет отрабатывать на практике наиболее вероятные оперативные ситуации, разрабатывать соответствующие решения и включать в планы алгоритмы действий для участников тушения пожара в ПС в экстремальных условиях.

Значительное количество задач, связанных с выбором ЛПР альтернатив управления при тушении пожаров в ПС, являются задачами выбора данных из имеющихся массивов информации, то есть задачами, которые можно

реализовывать на основе опорных решений. На начальных этапах развития пожара, когда количество информации о нем ограничено, можно принять оптимальное решение на основе предварительных планов (плана тушения пожара). Затем, с увеличением объема информации, можно использовать прямые расчеты, чтобы сократить влияние субъективных факторов при принятии управленческих решений при тушении пожара в ПС.

Разработанная иерархическая модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС, в которой определяется оптимальное, с точки зрения количества элементов системы и связей между ними при тушении пожара в ПС число взаимодействующих элементов, а также проведенное согласование данной модели с моделями оперативного управления, показывают, что результаты тушения пожара в ПС зависят от результата решения задачи управления составом ШПТ и влияют на ЛПР.

Применяя модель в трехуровневом значении через призму комплексного взаимодействия, включая решение задачи привлечения дополнительных элементов структуры в состав ШПТ и предполагая структуризацию для четкого разграничения связей управления и информации (на примере пожара по адресу г. Москва, Ленинградский проспект, д. 33А строение произошедшего 2 декабря 2020 года) получаем схему организации взаимодействия на пожаре (иерархическая модель организации взаимодействия на месте пожара в ПС), которая представлена на Рисунке 3.29.

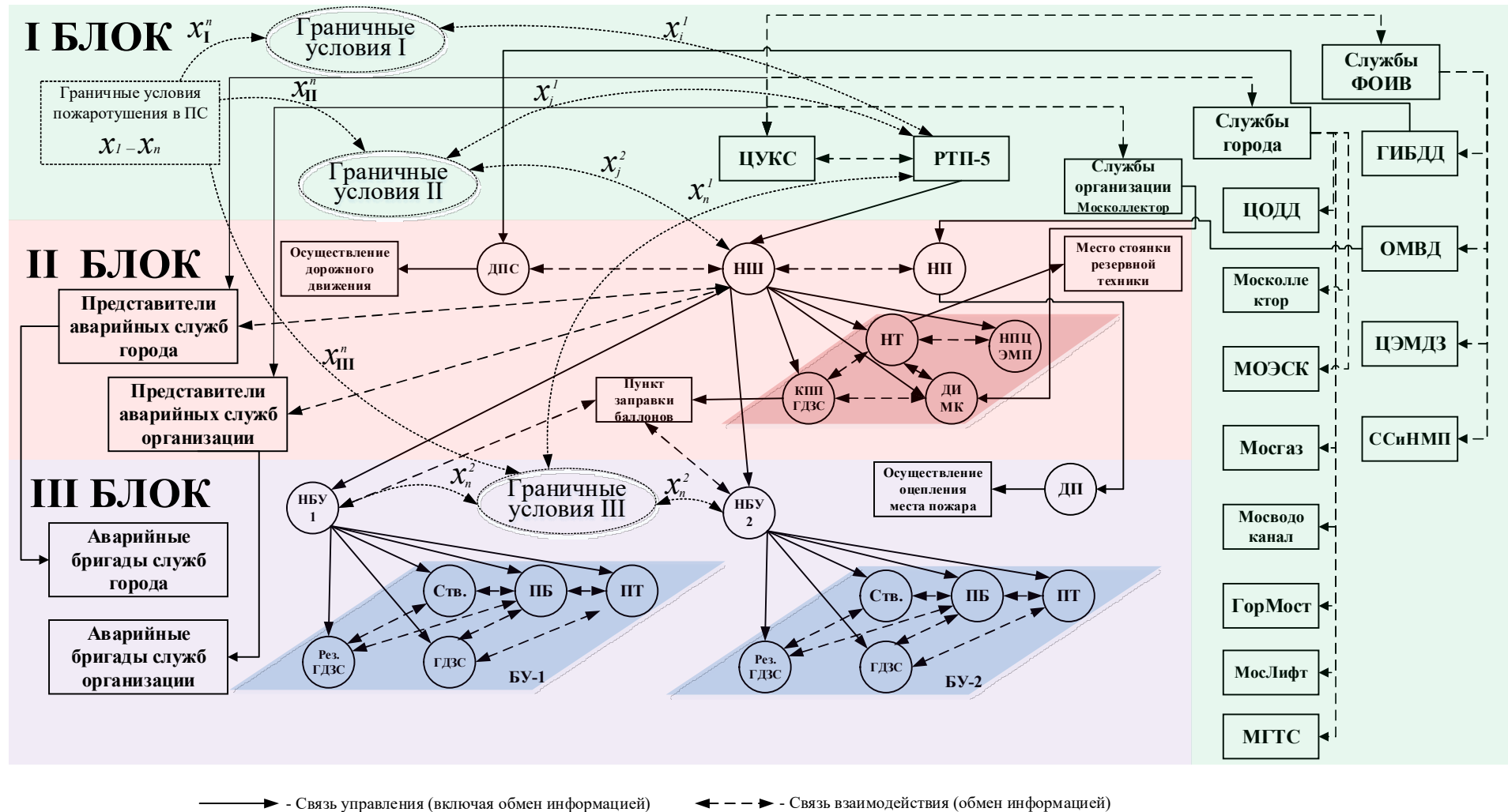


Рисунок 3.29 – Организации взаимодействия на пожаре (иерархическая модель организации взаимодействия на месте пожара в РС) на примере г. Москва.

Где: ЦУКС – Центр управления в кризисных ситуациях, РТП – руководитель тушения пожара, ФОВИВ – федеральный орган исполнительной власти, ГИБДД – Государственная инспекция безопасности дорожного движения, ЦОДД – Центр обеспечения дорожного движения, ОМВД – Отдел МВД России по муниципальному образованию, МОЭСК – ПАО «Россети» Московского региона, НПЦ ЭМП - ГБУЗ «Научно- практический центр экстренной медицинской помощи Департамента здравоохранения города Москвы», МГТС – АО «Московские городские телефонные сети», ДПС – дорожно-патрульная служба, НШ – начальник оперативного штаба на месте пожара, НП – представитель МВД России, ДП – дежурный полицейский, НТ – начальник тыла, ДИМК – дежурный инженер Москоллектора, НБУ – начальник боевого участка, ПБ – пост безопасности, ГДЗС – звенья газодымозащитной службы, ПТ – пожарная техника, БУ – боевой участок

Разработанная иерархическая модель позволяет применять комплексный подход к решению задач управления в организационной системе пожаротушения на месте пожара в ПС как самостоятельно, так и в согласовании с другими моделями.

Таким образом, иерархическая модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций на месте пожара в ПС определяет комплекс показателей, которые необходимо учитывать при предварительном планировании действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ, планировании пожарно-тактических учений на объектах ПС с отработкой взаимодействия с эксплуатирующей организации и аварийными службами города, привлечении дополнительных должностных лиц в состав ШПТ и при осуществлении анализа произошедших пожаров в ПС.

Разработанные модели применимы для формирования опорных решений. Применение опорных решений для управления ПСП на пожаре в ПС поможет сократить влияние субъективных факторов при принятии управленческих решений.

3.5 Выводы по третьей главе

1. По результатам проведенного графоаналитического обоснования модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП ясно, что можно достичь результата, признанного приемлемым в конкретно складывающейся обстановке, и решить задачу управления ПСП при тушении пожара в ПС на этапах планирования развития и тушения пожара, путем применения разработанной модели.

Характерными особенностями тушения пожара в ПС, выявленными в результате обоснования и необходимыми в учете при проведении моделирования тушения пожара в ПС, разработке ДШТП, подготовке пожарно-тактических

учений и тренировок, проведения анализа тушения пожара в ПС и действий ПСП на случившихся пожарах являются:

до непосредственного момента проведения разведки в НДС нет информации и/или недостаточная информация о точном расположении места очага пожара в ПС;

не известна и/или недостаточная информация о протяжённости маршрутов ввода сил и средств для тушения пожара в ПС;

отсутствует и/или недостаточная информация, необходимая для оптимального выбора места входа звеньев ГДЗС в НДС.

2. Результаты моделирования тушения пожара в ПС показывают отклонение от фактических временных значений рассмотренного примера. К примеру, отклонение среднего прогнозного результата моделирования от средних фактических временных значений 9,62 %. По результатам оценки надежности моделируемых альтернатив управления для рассматриваемых сценариев тушения пожара в ПС получены результаты *HN* в диапазоне 0,932–0,978, что соответствует очень высокому и высокому уровню надёжности альтернатив управления при тушении пожара в ПС. Таким образом, проведя моделирование, посредством модели поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП получен результат, актуальный для достижения задачи повышения оперативности принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС.

3. Программная реализация поддержки принятия решений осуществлена в виде разработанного программного модуля поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС, который позволяет ЛПР решить задачу управления, состоящую в принятии решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств пожарной охраны к месту пожара в ПС на основе формирования набора и выбора управленческих альтернатив при тушении пожара.

4. Обосновано внедрение программного модуля в организационную структуру управления при тушении пожаров в ПС. Внедрение программного модуля направлено на повышение оперативности принятия управленческих решений при тушении

пожаров в ПС и организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

5. Обоснованы условия принятия опорных решений при решении задач управления тушением пожаров в ПС. Принятие опорных решений позволит сократить время на выработку и принятие управленческих решений при тушении пожара в ПС. Так, среднее отклонение полученных результатов моделирования действий ПСП составляет 5,23% для значений HN в диапазоне от 0,8 до 0,65 включительно и 7,11% для значений HN в диапазоне от 0,65 до 0,5 включительно. Полученные значения подтверждают повышение оперативности принятия управленческих решений на основе опорных решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом выполненного исследования явились основные научные и практические результаты решения научной задачи по повышению оперативности принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

1. Проведен комплексный анализ процесса принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС, который заключался в проведении комплексного анализа показателей управления пожаротушением в ПС и комплексного (ретроспективного) анализа моделей поддержки управления ПСП при тушении пожара. Так, в 2023 году отношение погибших к количеству пожаров для объектов составляет 0,0216, соотношение для пожаров в коллекторах и коммуникационных тоннелях – 0,0346, что на 62,43 % выше. Идентифицированы граничные условия и определены их параметры при тушении пожаров в ПС. Предложен подход по их разделению на две принципиальные группы, что позволяет провести рассмотрение вопросов управления пожаротушением на данного рода объектах и разработать модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара в ПС на основе полученных данных.

2. Для решения поставленных в исследовании задач разработаны модели и алгоритмы:

модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий ПСП;

иерархическая модель организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в ПС;

алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в ПС;

алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатируемых объектов организаций на месте пожара.

3. Проведено обоснование моделей поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС:

проведено обоснование моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС. Достигнут результат, актуальный для решения задачи повышения оперативности принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС. К примеру, отклонение среднего прогнозного результата моделирования от средних фактических временных значений 9,62 %. По результатам оценки надежности моделируемых альтернатив управления для рассматриваемых сценариев тушения пожара в ПС получены результаты HN в диапазоне 0,932–0,978, что соответствует очень высокому и высокому уровню надёжности альтернатив управления при тушении пожара в ПС.

Программная реализация поддержки принятия решений осуществлена в виде разработанного программного модуля поддержки принятия решений при тушении пожаров в ПС, который позволяет ЛПР решить задачу управления, состоящую в принятии решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств пожарной охраны к месту пожара в ПС на основе формирования набора и выбора управленческих альтернатив при тушении пожара.

Обосновано внедрение программного модуля в организационную структуру управления при тушении пожаров в ПС. Внедрение программного модуля направлено на повышение оперативности принятия управленческих решений при тушении пожаров в ПС и организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатируемых объектов организаций при тушении пожаров в ПС.

Обоснованы условия принятия опорных решений при решении задач управления тушением пожаров в ПС. Принятие опорных решений позволит сократить время на выработку и принятие управленческих решений при тушении пожара в ПС. Так, среднее отклонение полученных результатов моделирования

действий ПСП составляет 5,23% для значений HN в диапазоне от 0,8 до 0,65 включительно и 7,11% для значений HN в диапазоне от 0,65 до 0,5 включительно. Полученные значения подтверждают повышение оперативности принятия управленческих решений на основе опорных решений при организации взаимодействия ПСП с аварийными службами города и эксплуатирующими объекты организаций при тушении пожаров в ПС.

По мнению автора, дальнейшими перспективами проведения исследований по данному направлению могут быть:

развитие основных идей исследования по встраиванию решения задачи формирования оптимального набора элементов рассматриваемых структур в информационную систему управления взаимодействием на месте пожара;

определение влияния сложности структуры ПС на расчетные сценарии модели в процессе принятия решений ЛПР, как в рамках планирования действий ПСП при тушении пожара в ПС, так и в рамках их ведения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АГТ – автомобиль газового тушения;
- АКТ – автомобиль комбинированного тушения;
- АНР – автомобиль насосно-рукавный;
- АПТ – автомобиль пенного тушения;
- АРМ – автоматизированное рабочее место;
- АСР – аварийно-спасательные работы;
- АУГП – автоматические установки газового пожаротушения;
- АЦ – автоцистерна пожарная;
- БОП – боевая одежда пожарного;
- БУ – боевой участок;
- ГДЗС – газодымозащитная служба;
- ДиПГ – диспетчер и подразделения города;
- ДиПО – диспетчер и подразделения организации;
- ДЛ – должностные лица (привлекаемые в состав штаба);
- ДП – дежурный полицейский;
- ДПП – документы предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ;
- ИТР – инженерно-технические работники;
- КПП – контрольно-пропускной пункт ГДЗС;
- ЛПР – лицо, принимающее решение;
- НДС – непригодная для дыхания среда;
- НТ – начальник тыла на пожаре;
- НШ – начальник штаба пожаротушения;
- ОТВ – огнетушащие вещества;
- ОФП – опасные факторы пожара;
- ПБ – пост безопасности ГДЗС;
- ПГ – пожарный гидрант;

ПС – подземные сооружения;

ПСП – пожарно-спасательные подразделения;

ПСО – пожарно-спасательный отряд;

ПСЦ – пожарно-спасательный центр;

ПСЧ – пожарно-спасательная часть;

ПТ – пожарная техника;

РО – ресурсное обеспечение;

РТП – руководитель тушения пожара;

РШАСР – руководитель штаба аварийно-спасательных работ;

СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения;

СиС – силы и средства;

СПДЗ – система противодымной защиты;

СППР – система поддержки принятия решений;

СПТ – служба пожаротушения;

ТОК – теплоотражательный костюм;

ТФП – тепловые факторы пожара;

УОПТ и ПАСР – управление организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ;

ФОИВ – федеральный орган исполнительной власти;

ЦУКС – центр управления в кризисных ситуациях;

ШПТ – штаб пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учеб. пособие для вузов МВД СССР / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 256 с.
2. Абдурагимов, Г.И. К оптимизации районов выезда пожарных частей г. Москвы / Г.И. Абдурагимов // Противопожарная защита жилого комплекса города Москвы: Материалы науч.– практ. конф. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – С. 90-91.
3. Адеев, А.А. Особенности противодымной защиты в перегонных тоннелях метрополитена / А.А. Адеев // Интернет-журнал Науковедение. – 2013. – № 5(18). – С. 76.
4. Акофф, Р.Л. Планирование в больших экономических системах / Р.Л. Акофф; пер. с англ. Г.Б. Рубальского; под ред. [и с предисл.] д-ра техн. наук И.А. Ушакова. – М.: Сов. радио, 1972. - 223 с.
5. Актуальность поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров в подземных сооружениях в современных условиях / Д.А. Балашов, А.Н. Денисов, Н.В. Мартинович, Т.В. Шкаберина // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. – 2021. – № 3(3). – С. 71-76.
6. Алгоритм действий пожарной охраны по сращиванию (наращиванию) рукава высокого давления при тушении пожара на железной дороге / М.М. Данилов, А.Н. Денисов, П.С. Королев и др. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 3. – С. 99-109. – DOI 10.25257/FE.2022.3.99-109.
7. Алгоритм ранжирования действий при выборе решающего направления тушения пожара в подземных сооружениях [Электронный ресурс] / М.М. Данилов, А.Н. Денисов, П.С. Королев и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2024. – № 1(103). – С. 42-61. – DOI 10.25257/TTS.2024.1.103.42-61. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67858613> (дата обращения: 13.09.2024).

8. Алехин, Е.М. Пожары в России и в мире. Статистика, анализ, прогнозы / Е.М. Алехин, Н.Н. Брушлинский, П. Вагнер и др., под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: Калан, 2002. – 150 с.
9. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости): Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев. – М.: Стройиздат, 1975. – 327 с.
10. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров / Д.В. Тараканов В.В. Терещнев, А.О. Семенов, В.А. Смирнов, // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19 – № 9. – С. 51-57.
11. Анализ применения беспилотных авиационных систем при управлении боевыми действиями по тушению пожара / М.М. Данилов А.Н. Денисов, П.С. Королев и др. // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции – Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий, 2019. – С. 763-767.
12. Аренс, М. Обстановка с пожарами в мире в начале XXI века / М. Аренс, Н.Н. Брушлинский, П. Вагнер, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 10. – С. 51-58. – DOI 10.18322/PVB.2015.24.10.51-58.
13. Арестович, Д.Н. Математическое моделирование распространения продуктов горения при пожаре в подвижном составе метрополитена: формулировка математической модели / Д.Н. Арестович, Ф.М. Гриб, А.И.Шнип // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2007. – № 1 (21). – С. 5-18.
14. Арестович, Д.Н. Математическое моделирование распространения продуктов горения при пожаре в подвижном составе метрополитена: II численная реализация математической модели/ Д.Н. Арестович, П.П. Матус, В.У. Бондарчук, А.И.Шнип // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2008. – № 1 (23). – С. 4-25.

15. Арестович, Д.Н. Применение методов технической теплофизики для расчета температуры при горении подвижного состава в тоннелях метрополитена / Д.Н. Арестович // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2010. – № 2(12). – С. 110-117.

16. Багров, Н.М. Население России – итоги всероссийской переписи 2010 г. / Н.М. Багров // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов – 2012. – № 2 – С. 210-221.

17. База знаний процессов горения: будущее мира горения / В.С. Абриков, С.В. Абриков, Е.В. Карлович, Ю.В. Семенов // Вестник Чувашского университета. – 2013. – № 3. – С. 46-52.

18. Балаш, О.С. Моделирование темпов роста численности населения городов России: пространственный аспект / О.С. Балаш // Статистика и экономика. – 2013. – № 6. – С. 142-146.

19. Батюшев, В.М. Особые условия выполнения профессиональных обязанностей газодымозащитников / В.М. Батюшев, А.В. Бикулов, К.В. Легенький // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 2, № 1(7). – С. 371-373.

20. Беляцкий В.П. Анализ обстановки с пожарами в метрополитенах / В.П. Беляцкий // Противопожарное нормирование на транспорте: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1995 – С. 31-39.

21. Беляцкий, В.П. Особенности развития и тушения пожаров в подземных сооружениях метрополитенов / В.П. Беляцкий // Тушение пожаров в метрополитенах: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1983. – С. 4-11.

22. Беляцкий, В.П. Пожарная опасность электроподвижного состава метрополитенов / В.П. Беляцкий // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и железных дорог: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. – С. 4-8.

23. Беляцкий, В.П., Бондарев В.Ф. Противопожарная защита и тушение пожаров подземных сооружений: Обзорная информация / В.П. Беляцкий, В.Ф. Бондарев – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1983. – Вып. 6/83. – 32 с.

24. Бондарев, В.Ф. Определение интенсивности тепловыделения при пожаре подвижного состава метрополитена в тоннеле / В.Ф. Бондарев,

А.А. Лесков // Борьба с пожарами в метрополитенах: сб. науч. тр. М.: ВНИИПО – 1992. – С. 62–70.

25. Бородич, П.Ю. Оценка эффективности тушения пожара на станции метрополитена имитационным методом / П. Ю. Бородич // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам III всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Воронеж: Воронежский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 2012. – С. 126-127.

26. Брушлинский, Н.Н. Вопросы экономики в пожарной охране / Н.Н. Брушлинский, Г.К. Брушлинская, Л.Ю. Тяжелова // Труды Высшей школы МВД СССР – М.: Высшая школа МВД СССР, 1972. – Вып. 33 – С. 214-218.

27. Брушлинский, Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Н.Н. Брушлинский – М.: Стройиздат, 1981. – 96 с.

28. Брушлинский, Н.Н. Научно-техническое обеспечение пожарной безопасности в современном мире (краткий очерк) / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, П. Вагнер // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15, № 2. – С. 7-11.

29. Брушлинский, Н.Н. Проблема пожаров в мире в начале XXI столетия / Н.Н. Брушлинский, П. Вагнер, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – Т. 12, № 1. – С. 7-14.

30. Брушлинский, Н.Н. Соболев Н.Н. Математическая модель расчета радиуса выезда оперативных отделений пожарной охраны по вызовам / Н.Н. Брушлинский, Н.Н. Соболев // Пожарная техника и пожаротушение на объектах народного хозяйства: Сб. науч. тр. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986. – С. 58 – 66.

31. Бурков, В. Н. Теория активных систем (история развития и современное состояние) / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков // Проблемы управления. – 2009. – № 3 S1. – С. 29-35.

32. Бурков, В.Н. Механизмы функционирования организационных систем / В.Н. Бурков, В.В. Кондратьев. – М.: Наука, 1981. – 384 с.

33. Бурков, В.Н. Основы математической теории активных систем / В.Н. Бурков. – М.: Наука, 1977. – 255 с.
34. Бурков, В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 128 с.
35. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. - М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
36. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
37. Власов, К.С. Многомерный анализ показателей оперативной деятельности пожарных подразделений / К.С. Власов, А.Н. Денисов, В.В. Зыков // Пожарная безопасность. – 2013. – № 4. – С. 80-86.
38. Власов, С.Н., Строительство метрополитенов / С.Н. Власов, В.В. Торгалов, Б.Н. Виноградов – М.: Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ», 1987. – 327 с.
39. Влияние снижения видимости на пожаре на работу звеньев ГДЗС / И.М. Чистяков, В.В. Кичайкин, И.А. Краснов, Д.П. Погожин // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 1, № 1(7). – С. 346-347.
40. Воздействие опасных факторов пожара на звенья газодымозащитной службы при проведении боевых действий по тушению пожара / К.С. Власов, М.М. Данилов, П.С. Королев и др. // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Кампания «Мой город готовится»: задачи, проблемы, перспективы: сборник статей по материалам XVI Международной научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет – 2020. – С. 71-75.
41. Волков, А.П. Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок / А.П. Волков, А.В. Свердлов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2015. – № 1. – С. 34-43.
42. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов // СПб.: Изд. СПбГТУ, 1997. – 510 с.

43. Волкова, В.Н. Из истории теории систем и системного анализа. / В.Н. Волкова // СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2001 – 250 с.
44. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. – 509 с.
45. Голендер, В.А. Системы дистанционного подвагонного тушения пожаров на станциях метрополитена / В.А. Голендер, П.З. Гулаков, Н.В. Хворост // Метро и тоннели. – 2006. – № 2. – С. 39-41.
46. Голиков, А.Д. Основные параметры пожара подвижного состава в тоннеле метрополитена / А.Д. Голиков, П.М. Агеев // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России – М.: ВНИИПО, 2012. – С. 199–207.
47. Горение полимеров и методы снижения их горючести / В.П. Якимук, В.Г. Кулинич, А.С. Попко, А.Ф. Минаковский // Новые технологии в химической промышленности: Материалы докладов Международной научно-технической конференции. – Минск: Белорусский государственный технологический университет. – 2002. – Т. 1. – С. 270-273.
48. Гринченко, Б.Б. Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре [Электронный ресурс] / Б.Б. Гринченко // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2017. – № 4(74). – С. 155-162. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32847853> (дата обращения: 13.09.2024).
49. Давыдов, А.П. Фактор времени / А.П. Давыдов // Пожарное дело. – 2012. – № 4 – С. 4-8.
50. Данилов, М.М. Алгоритмизация ведения оперативно-тактических действий при тушении пожара в двустенном резервуаре с нефтепродуктом [Электронный ресурс] / М.М. Данилов, А.Н. Денисов // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2014. – № 5(57). – С. 10. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23104541> (дата обращения: 13.09.2024).
51. Данилов, М.М. Интеллектуализация процесса управления тушением пожара в подземных сооружениях / М.М. Данилов, А.Н. Денисов, П.С. Королев // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория.

Инновации. Практика: материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России: в 5 ч. Ч. IV. Секция 4. «Цифровые технологии в деятельности Государственной противопожарной службы» – М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2023. – С. 37-42.

52. Данилов, М.М. К вопросу выбора решений при тушении пожара на основе этапов развития системы поддержки принятия решений / М.М. Данилов, М.П. Еремин, П.С. Королев // Материалы конференции «Школа молодых ученых и специалистов МЧС России – 2018». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2018. – С. 28-33.

53. Данилов, М.М. Комплексные условия крайней необходимости при выполнении основной боевой задачи пожарно-спасательными подразделениями / М.М. Данилов, А.Н. Денисов, Л.А. Латышева // *Ius Publicum et Privatum*. – 2022. – № 3(18). – С. 59-67. – DOI 10.46741/2713-2811.2022.18.3.006.

54. Данилов, М.М. Некоторые аспекты принятия решений при управлении процессом тушения пожара / М.М. Данилов, А.Н. Денисов, Д.Е. Опарин // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации. VI Всероссийская научно-практическая конференция. В 2 частях. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России. – 2012. – С. 143-145.

55. Данилов, М.М. Решение задачи управления составом оперативного штаба на месте пожара в подземных сооружениях / М.М. Данилов, А.Н. Денисов, П.С. Королев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 3(48). – С. 28-35.

56. Денисов, А.Н. Принятие управленческого решения при тушении пожара на основе опорного плана [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, С.Н. Захаревская, Нгуен Минь Хыонг // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2015. – № 4(62). – С. 255-258. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25846430> (дата обращения: 13.09.2024).

57. Есин, В.С. Обоснование основных параметров, обеспечивающих эффективную работу системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа при помощи струйных вентиляторов / В.С. Есин, С.П. Калмыков // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – Т. 16, № 3. – С. 54-62.

58. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

59. Из мирового опыта функционирования пожарной охраны: Направления деятельности, параметры реагирования, ресурсное обеспечение / Матюшин А.В., Порошин А. А., Бобринев Е.В., Олейник С.А. // Пожарная безопасность. – 2005. – № 2. – с. 74-82.

60. Изучение стадий пожаров как граничных условий модели управления тушением пожаров в жилых зданиях / С.В. Гундар, А.Н. Денисов, Д.Ю. Пигусов, В.Б. Коробко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 5(75). – С. 25-34.

61. Иличкин, В.С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов: Принципы и методы определения / В.С. Иличкин – СПб.: Химия: Санкт-Петербург. отделение, 1993. – 131 с.

62. Ильин, В.В. История пожарной охраны России: Учебник / В.В. Ильин, Е.А. Мешалкин – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 348 с.

63. Ильин, В.В. Проблема противопожарной защиты метрополитенов и ее решение / В.В. Ильин, В.П. Беляцкий, А.П. Чуприян. – СПб.: Издательство СПбГТУ, 2000. – 320 с.

64. Исследование расчета сил и средств при тушении ординарных пожаров: отчет о НИР / руководитель А.Н. Денисов; исполнители: М.М. Данилов, П.С. Королев, М.П. Еремин; Академия ГПС МЧС России. – Москва, 2019. – 46 с. – Рег. № АААА-А19-119062890023-9.

65. К вопросу выбора решений при тушении пожара на основе этапов развития системы поддержки принятия решений / М.М. Данилов, М.А. Данилова, П.С. Королев и др. // Техносферная безопасность. – 2018. – № 4(21). – С. 113-121.

66. Ключ, В.В. Функциональное моделирование для качественной и количественной оценки процессов организации тушения пожара в метрополитене / В.В. Ключ, Ю.И. Жуков // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – № 4(28). – С. 71-76.

67. Ковалев, П.А. Совершенствование управленческих решений при ликвидации пожаров в метрополитене / П.А. Ковалев // Пожарная безопасность:

проблемы и перспективы: сборник статей по материалам III всероссийской научно-практической конференции с международным участием – Воронеж: Воронежский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 2012. – Т. 1. – С. 158-159.

68. Колодяжный, С.А. Моделирование критической тепловой депрессии при пожаре в тоннеле / С.А. Колодяжный, И.И. Переславцева, С.Н. Леонтьев // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам III всероссийской научно-практической конференции с международным участием – Воронеж: Воронежский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий – 2012. – Т. 1 – С. 221-224.

69. Колодяжный, С.А. Моделирование процессов тепломассопереноса в газо-воздушной среде тоннеля при горении движущегося состава в метрополитене / С.А. Колодяжный, К.Н. Сотникова // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2012. – № 1. – С. 224-227.

70. Константинова, Н.И. К вопросу об оценке эффективности огнезащиты полимерных материалов / Н.И. Константинова, Н.В. Смирнов, А.Ю. Шебеко // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 7-8. – С. 32-42. – DOI 10.18322/PVB.2018.27.07-08.32-42.

71. Копылов, Н.П. Экспериментальные и теоретические методы исследования пожарной опасности автотранспортных тоннелей / Н.П. Копылов, И.Р. Хасанов, Е.Ю. Сушкина // Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных мегаполисов: тр. Межд. науч. конф. М. – 2010. – С. 44–45.

72. Королев, П.С. Идентификация граничных условий в действиях пожарно-спасательных подразделений по тушению пожаров в подземных сооружениях / П.С. Королев // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 10/2 – С. 55-62. – DOI 10.37882/2223-2966.2022.10-2.15.

73. Королев, П.С. Интеграция метода поддержки управления комплексной безопасности при строительстве подземных сооружений / П.С. Королев, М.М. Данилов, А.Н. Денисов // Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях: сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции – М.: Издательство МИСИ – МГСУ, 2024. – С. 42-44.

74. Королев, П.С. Поддержка принятия решений при определении сил и средств пожарно-спасательных подразделений для тушения пожара в подземных сооружениях: свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025611272, 17.01.2025 / П.С. Королев, М.М. Данилов, А.Н. Денисов, И.М. Данилов. – Текст: непосредственный.

75. Королев, П.С. Поддержка принятия решений при тушении пожара в подземных сооружениях на основе ранжирования альтернатив: свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025683861, 09.09.2025 / П.С. Королев, М.М. Данилов, А.Н. Денисов, И.М. Данилов. – Текст: непосредственный.

76. Королев, П.С. Экспертное ранжирования критериев выбора альтернатив управления при тушении пожаров в подземных сооружениях / П.С. Королев, М.М. Данилов, А.Н. Денисов // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации (шифр - МКСТР): Сборник материалов XXXV Международной научно-практической конференции – Москва: Университет информационных технологий и бизнес-образования, 2025. – С. 148-154. – DOI 10.26118/5877.2025.73.48.029.

77. Корольченко, А.Я. Пожарная опасность строительных материалов / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. – М.: ООО «Издательство «Пожнаука», – 2005. – 232 с.

78. Красюк, А.М. Влияние возмущений воздушного потока от поршневого действия поездов на тоннельные вентиляторы метрополитенов / А.М. Красюк, Е.Ю. Русский, Н.А. Попов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 144-153.

79. Кульба, В. В. Автоматизированные информационно-управляющие системы социально-экономических и организационных структур / В. В. Кульба, С. А. Косяченко, В. Н. Лебедев // Проблемы управления. – 2009. – № 3 S1. – С. 73-86.
80. Ларичев, О.И. Качественные методы принятия решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Наука: изд-во «Физ.-мат. лит», 1996. – 207 с.
81. Мамиконов, А.Г. Принятие решений и информация / А.Г. Мамиконов – М.: Наука, 1983. – 183 с.
82. Матюшин, А.В. Методологические основы определения необходимого числа оперативных подразделений пожарной охраны и мест их дислокации в населенных пунктах / А.В. Матюшин, А.А. Порошин, Ю.А. Матюшин // Пожарная безопасность. – 2005. – № 3. – С. 61-74.
83. Матюшин, А.В. Отечественный опыт расчетного обоснования ресурсов оперативных подразделений пожарной охраны и мест их дислокации в населенных пунктах / А.В. Матюшин, А.А. Порошин, Ю.А. Матюшин // Пожарная безопасность. – 2005. – № 3. – С. 61-74.
84. Махин, В.С. Формирование опасных факторов пожара при горении подвижного состава в тоннеле метрополитена / В.С. Махин, В.С. Иличкин, П.А. Эварестов // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и железных дорог: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. – С. 8-15.
85. Методические рекомендации по организации тушения пожаров на объектах и в сооружениях Государственного унитарного предприятия города Москвы «Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени метрополитен имени В.И. Ленина» – М.: ГУ МЧС России по г. Москве, 2018, 98 с.
86. Моделирование выбора решений управленческих задач при тушении пожара в подземных сооружениях / С.Н. Аникин, М.М. Данилов, А.Н. Денисов, П.С. Королев // Computational Nanotechnology. – 2023. – Т. 10, № 3. – С. 72-82. – DOI 10.33693/2313-223X-2023-10-3-72-82.
87. Моделирование процессов дымоудаления в подземных сооружениях транспортного назначения / А.В. Свердлов, А.П. Волков, С.В. Рыков и др. //

Вестник Международной академии холода. – 2019. – № 1. – С. 3-10. – DOI 10.17586/1606-4313-2019-18-1-3-10.

88. Модель выбора альтернатив управления в организационной системе пожаротушения на основе GERT-сетей / П.С. Королев, М.М. Данилов // Кибернетика, информатика, аналитика: модели, инструменты, методы: Сборник материалов III международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 98-102.

89. Модель оперативного управления в принятии опорных решений с учётом оптимальности / М.А. Данилова, М.М. Данилов, А.Н. Денисов и др. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 3. – С. 94-101. – DOI 10.25257/FE.2018.3.94-101.

90. Модель управления оценкой обстановки в процессе принятия решения руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации / М.М. Данилов, А.Н. Денисов, П.С. Королев и др. // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. Том Часть II. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2020. – С. 406-411.

91. Назарко, А.А. Взаимодействие подразделений ФПС ГПС МЧС России с подразделениями Росгвардии при тушении пожаров на критически важных объектах / А.А. Назарко, А.Д. Ищенко // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». – 2018. – № 27. – С. 26-30.

92. Наставление по организации деятельности центров управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) МЧС России от 25.12.2012 № 2-4-87-31-14 – Режим доступа: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/1166> (дата обращения: 13.09.2024).

93. Науман, Э. Принять решение. Но как? / Э. Науман. – М.: Мир, 1987. – 198 с.

94. Нго, К. Т. Разработка методов определения скорости следования дежурного караула пожарной охраны по дорогам населенного пункта на место пожара / К. Т. Нго // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2015. – Т. 1, № 1(6). – С. 314-316.

95. Новиков, Д.А. Курс теории активных систем / Д.А. Новиков, С.Н. Петраков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 108 с.
96. Новиков, Д.А. Методология управления / Д.А. Новиков. – М.: Либроком, 2012. – 128 с.
97. Новиков, Д.А. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах / Д.А. Новиков, А.В. Цветков – М.: Апостроф, 2000. – 184 с.
98. Новиков, Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д.А. Новиков. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – 150 с.
99. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
100. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами: вводный курс / Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2004. – 81 с.
101. Новые возможности управления в системе пожарной безопасности / А.Н. Членов, Т.А. Буцынская, Ф.В. Демехин и др. // Пожарная безопасность. – 2008. – № 4. – С. 96-101.
102. О пожарной безопасности: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 31.07.2025) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 13.09.2025).
103. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России от 16.09.2024 № 777 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202411120039/> (дата обращения: 18.06.2025).
104. Об утверждении Положения о военизированных горноспасательных частях, находящихся в ведении Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Постановление Правительства Российской Федерации от 28.01.2012 № 45 (с изм. на 27.04.2018). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://base.garant.ru/70135156/> (дата обращения: 13.09.2024).

105. Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах: приказ МЧС России от 25.10.2017 № 467 (ред. от 28.02.2020) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_290970/ (дата обращения: 13.09.2024).

106. Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны: приказ МЧС России от 26.10.2017 № 472 (ред. от 28.02.2020) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_290852/ (дата обращения: 13.09.2024).

107. Об утверждении правил использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения личным составом подразделений пожарной охраны: приказ МЧС России от 27.06.2022 № 640 – [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_444543/ (дата обращения: 13.09.2024).

108. Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны: приказ Минтруда России от 11.12.2020 № 881н [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373408/ (дата обращения: 13.09.2024).

109. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 16.09.2020 № 1479 (ред. от 21.05.2021) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/ (дата обращения: 13.09.2024).

110. Об утверждении Устава военизированной горноспасательной части по организации и ведению горноспасательных работ: приказ МЧС России от 9.06.2017 № 251 (с изм. на 18.04.2023) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71752930/> (дата обращения: 13.09.2024).

111. Об утверждении Устава подразделений пожарной охраны: приказ МЧС России от 20.10.2017 № 452 (ред. от 28.02.2020) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_294223/ (дата обращения: 13.09.2024).

112. Обзор исследований в области классификации для машинного обучения при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений [Электронный ресурс] / Ш.К. Кадиев, Р.Ш. Хабибулин, П.П. Годлевский, В.Л. Семиков // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2020. – № 3(89). – С. 20-29. – DOI 10.25257/TTS.2020.3.89.20-29.o – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44560051&ysclid=mmoskmd7xw482364332> (дата обращения: 12.10.2024).

113. Овсянников, Е. А. Тушение пожара в кабельных сооружениях полидисперсной пеной высокой кратности / Е. А. Овсянников, Д. А. Корольченко, А. Ф. Шароварников // Пожарная безопасность. – 2016. – № 2. – С. 94-98.

114. 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.

115. Орловский, С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский – М.: Наука, 1981 – 208 с.

116. Особенности проектирования, строительства и эксплуатации тоннелей метрополитена и притоннельных сооружений в условиях плотной городской застройки / И.Я. Харченко, Е.А. Пестрякова, А.А. Пискунов и др. // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6 – № 3. – С. 31.

117. Особенности расчета количества аппаратов на сжатом воздухе для тушения пожаров на объектах минского метрополитена / А.С. Лукьянов, С.П. Асташов, И.Г. Жинко, Е.М. Цыганков // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2019. – № 2(46). – С. 36-41.

118. Повзик, Я.С. Справочник РТП / Я.С. Повзик. – М.: Спецтехника, 2000. – 367 с.

119. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: Статистический сборник. – Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2016. – 124 с.

120. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: Статистический сборник. – Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2017. – 124 с.

121. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году: Статистический сборник. – Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2018. – 125 с.
122. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: Статистический сборник. – Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2019. – 125 с.
123. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: Статистический сборник. – Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2020. – 80 с.
124. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник / П.В. Полехин, М.А. Чебуханов, А.А. Козлов и др. – Балашиха: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, 2021. – 111 с.
125. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: Статистика пожаров и их последствий. Статистический сборник / В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина, В.И. Сибирко и др. – Балашиха: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2022. – 114 с.
126. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: Информационно-аналитический сборник / В. С. Гончаренко, Т. А. Чечетина, В. И. Сибирко [и др.]. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. – 80 с.
127. 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, 2024. – 110 с.
128. Потапов, Ю.Б. Разработка математической модели распространения дымовых газов в начальной стадии пожара / Ю.Б. Потапов, К.Н. Сотникова, К.А. Скляр, С.А. Кончаков // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1 (21). – С. 136-143.
129. Пранов, Б.М. О моделях оптимального размещения ресурсов пожарной охраны / Б.М. Пранов // Опасные факторы пожара и противопожарная защита: Сб. науч. тр. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1989. – С. 197-200.
130. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах

[Электронный ресурс] / И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2008. – № 4(20). – С. 7. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14866963> (дата обращения: 13.09.2024).

131. Прохоров, В.П. Применение тонкораспыленной воды высокого давления для тушения пожаров на станциях метрополитенов / В.П. Прохоров // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: Материалы конференции. – Балашиха: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 2017. – С. 428-431.

132. Прохоров, В.П. Проблема обеспечения пожарной безопасности пассажирских перевозок в тоннелях Московского метрополитена / В.П. Прохоров, Е.С. Вагнер // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2017. – № 11-12(226-227). – С. 36-42.

133. Ребрий, В.А. Зависимость размера ущерба от времени следования на пожар / В.А. Ребрий // Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1988. – С. 35-38.

134. Роечко, В.В. Выбор маршрута и прогнозирование времени следования пожарных автомобилей к месту вызова / В.В. Роечко, В.А. Пряничников, Ю.М. Кислых // Тактика и процессы пожаротушения: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – С. 34-45.

135. Руководство по комплексному освоению пространства крупных городов / В. А. Ильичев, Г. Е. Голубев, А. В. Замираев и др. – М.: Российская академия архитектуры и строительных наук, 2004. – 211 с.

136. Русский, Е.Ю. Анализ надежности осевых вентиляторов при пожаре в тоннеле метрополитена / Е.Ю. Русский, Е.Л. Алферова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 2, № 2. – С. 45-49.

137. Русский, Е.Ю. Исследование прочности узлов вентиляторов при пожаре в однопутном тоннеле метрополитена / Е.Ю. Русский, Е.Л. Алферова // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 7(125). – С. 38-43.
138. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
139. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
140. Садыгов, А.Б. Моделирование движения воздушных потоков в подземных сооружениях метрополитена при пожаре / А.Б. Садыгов // Электронная обработка материалов. – 2012. – Т. 48, № 2. – С. 118-125.
141. Самарская, Н.А. Исследование условий труда и разработка предложений по регламентации требований безопасности при проведении работ в метрополитене / Н.А. Самарская, С.М. Ильин. – М.: Первое экономическое издательство, 2020. – 288 с. – ISBN 978-5-91292-298-5. – DOI 10.18334/9785912922985.
142. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства / Н.Н. Брушлинский, В.В. Кафидов, В.И. Козлачков и др.; под ред. Н.Н. Брушлинского – М.: Стройиздат, 1988. – 413 с.
143. Системы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров / Ю.В. Прус, И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, В.М. Климовцов – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – 102 с.
144. Солдатов, А.И. Характеристика образования веществ при неорганизованном горении полимеров / А.И. Солдатов, И.В. Кравчук // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: сборник материалов XI международной научно-практической конференции / Под редакцией Тайлакова О. В. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева. – 2015. – С. 32.
145. Соловьев, Е.Е. Анализ автоматизированных систем противопожарной защиты станций метрополитена / Е.Е. Соловьев // Молодой ученый. – 2020. – № 8(298). – С. 52-54.

146. Сологуб, О.В. О роли режимов проветривания транспортных тоннелей в обеспечении их безопасной эксплуатации / О.В. Сологуб, В.А. Умнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № S5. – С. 130-133.

147. СП 248.1325800.2016 Сооружения подземные. Правила проектирования. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2016 – 104 с.

148. Степанов, О.И. Обоснование метода поэтапного ввода сил и средств пожарных подразделений при тушении пожаров [Электронный ресурс] / О.И. Степанов, В.В. Теряев, С.В. Молинов // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2014. – № 1(53). – С. 9. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22881199> (дата обращения: 13.09.2024).

149. Степанов, О.И. Теоретические основы применения метода поэтапного ввода сил и средств пожарных подразделений [Электронный ресурс] / О.И. Степанов // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2013. – № 3(49). – С. 11. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21439106> (дата обращения: 13.09.2024).

150. Стрелец, В.М. Анализ типовых операций, обеспечивающих функционирование эргатической системы «Спасатель - чрезвычайная ситуация в метрополитене - средства ее ликвидации и защиты» / В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Т. 2, № 4(32). – С. 33-35.

151. Структура системы управления пожарно-спасательными подразделениями на начальном этапе пожаротушения / А.Н. Денисов, О.И. Степанов, В.Б. Коробко, А.В. Матюшин // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 3(73). – С. 56-63.

152. Сухорукова, Е.И. Оценка опасных факторов пожара при горении растительных полимеров / Е.И. Сухорукова, Н.И. Тарасов, Т.С. Алексеева // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2014. – № 1. – С. 308-313.

153. Сценарное исследование сложных систем: анализ методов группового управления / В. В. Кульба, Д. А. Кононов, И. В. Чернов и др. // Управление большими системами: сборник трудов. – 2010. – № 30-1. – С. 154-186.

154. Тараканов, Д.В. Многокритериальная модель анализа маршрутов движения пожарных при тушении пожаров в зданиях / Д.В. Тараканов, Б.Б. Гринченко // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 12-3. – С. 89-92.

155. Тараканов, Д.В. Функция выбора наилучшего решения при двух критериях / Д.В. Тараканов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2010. – № 1. – С. 24-27.

156. Тарасова, Д.А. К вопросу о взаимодействии подразделений пожарной охраны и скорой медицинской службы при спасении пострадавших на пожаре / Д.А. Тарасова, П.Н. Коноваленко, И.В. Багажков // 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. 339-342.

157. Тарасов-Агалаков, Н.А. Обоснование радиуса выезда пожарных частей (команд) и численности оперативных отделений пожарной охраны городов / Н.А. Тарасов-Агалаков, Н.П. Андреев // Пожарная безопасность: Сб. работ факультета инженеров противопожарной техники и безопасности Высшей школы МООП РСФСР. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1964. – Вып III. – С. 87-94.

158. Тарасов-Агалаков, Н.А. Практическая гидравлика в пожарном деле / Н.А. Тарасов-Агалаков // – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1959 – 188 с.

159. Теория управления организационными системами и другие науки об управлении организациями / В.Н. Бурков, М.В. Губко, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков // Проблемы управления. – 2012. – № 4. – С. 2-10.

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

161. Терехин, С.Н. Обеспечение работ подразделений пожарной охраны по тушению пожаров в метрополитене средствами тепловидения / С.Н. Терехин, Д.В. Николаев, К.С. Юшеров // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2018. – № 4(48). – С. 25-33.

162. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 13.09.2024).

163. Тиунов, Л.А. Токсикология окиси углерода / Л.А. Тиунов, В.В. Кустов – М.: Медицина, 1980. – 286 с.

164. Тоннели и метрополитены: учебник / В.П. Волков, С.Н. Наумов, А.Н. Пирожкова, В.Г. Храпов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1975. – 551 с.

165. Трефилов, В.А. Моделирование процесса горения многослойных полимерных материалов / В.А. Трефилов, И.С. Наумов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-4. – С. 862-866.

166. Трусов, С. И. Пожарная безопасность метрополитена / С.И. Трусов, С.А. Колодяжный, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 4(24). – С. 203-207.

167. Факторы переноса пожаров на территориях, прилегающих к объектам экономики и социальной инфраструктуры / К.С. Власов, С.В. Гундар, М.М. Данилов [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 2. – С. 41-46. – DOI 10.25257/FE.2019.2.41-46.

168. Филиппов, В.И. Воздействие теплового фактора пожара и поршневого эффекта подвижного состава на динамику воздушных потоков в транспортных тоннелях / В.И. Филиппов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 8. – С. 77-78.

169. Халтуринский, Н.А. Физические аспекты горения полимеров и механизм действия ингибиторов / Н.А. Халтуринский, Т.А. Рудакова // Химическая физика. – 2008. – № 6. – С. 73-84.

170. Хасанов, И.Р. Пожары в подземных сооружениях метрополитенов / И.Р. Хасанов, Д.В. Ушаков, А.А. Абашкин // Пожарная безопасность. – 2016. – № 4. – С. 166-174.

171. Шавков, В.В. Исследование поддержки управления безопасностью участников тушения пожаров / В.В. Шавков, А.Л. Шидловский // Вестник науки. – 2021. – Т. 2, № 10(43). – С. 75-82.

172. Шалявин, Д.Н. Алгоритм информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на объектах энергетики / Д.Н. Шалявин, Д.В. Тараканов, Б.Б. Гринченко // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – № 3(36). – С. 53-61.

173. Шароварников, А.Ф. Химия полимеров. Пожарная опасность и огнезащита полимеров / А.Ф. Шароварников, А.М. Евтеев. – М.: Закрытое акционерное общество «Издательское предприятие «Вузовская книга», 1992. – 224 с.

174. Шикин, Е.В. Математические методы и модели в управлении: Учеб. пособие – 2-е издание / Е.В. Шикин, А.Г. Чхартишвили – М.: Дело, 2002. – 440 с.

175. Щеглов, П.П. Продукты разложения и горения полимеров при пожаре: Лекция / П.П. Щеглов. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1981. – 70 с.

176. Янг, С. Системное управление организацией / С. Янг; пер. с англ. Э.А. Антонова, А.В. Горбунова, Г.И. Шепелева; под ред. С.П. Никанорова, С.А. Батасова. – М.: Советское радио, 1972. – 454 с.

177. Barsim, M.M. Performance of impulse ventilation system in an underground car park fire: Case study [Электронный ресурс] / M.M. Barsim, M.A. Bassily, H.M. El-Batsh, Y.A. Rihan, M.M. Sherif // Journal of Building Engineering – 2020. – Vol. 29. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710219315864> (дата обращения: 13.09.2024).

178. Burnett, J. Fire safety concerns for rail rapid transit systems [Электронный ресурс] / J. Burnett // Fire safety journal. - 1984. – Vol. 8. No. 1. – P. 3-7. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0379711284900481?via%3Dihub> (дата обращения: 08.10.2024).

179. Nahne, D. Full-scale tests of external rescue with firefighters in underground stations [Электронный ресурс] / D. Nahne, S. Rehm // Fire safety journal – 2022. – Vol. 128. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379711222000169?via%3Dihub> (дата обращения: 13.09.2024).

180. Kallianiotis, A. Evaluation of fire smoke control in underground space [Электронный ресурс] / A. Kallianiotis, D. Papakonstantinou, I.C. Toliass, A. Benardos // Underground Space – 2022. – Vol. 7. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246796742100074X> (дата обращения: 13.09.2024).

181. Novikov, D.A. Management in organizations: collective decision-making [Электронный ресурс] / D.A. Novikov, M.V. Gubko // Proceedings of the 16-th International Conference on Systems Engineering. – Coventry. – 2004. – Vol. 2. – P. 515-519. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/238622657_MANAGEMENT_IN_ORGANIZATIONS_COOPERATIVE_DECISION-MAKING (дата обращения: 08.10.2024).

182. Palm, A. Breathing air consumption during different firefighting methods in underground mining environment [Электронный ресурс] / A. Palm, M. Kumm, A. Storm, A. Lonnermark // Fire safety journal. – 2022. – Vol. 133. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711222001382?via%3Dihub> (дата обращения: 13.09.2024).

183. Schröder, H. Einsatztaktik für den Gruppenführer / H. Schröder. – W. Kohlhammer, 2009. – 124 p.

184. Sun, B. Adaptive modified ant colony optimization algorithm for global temperature perception of the underground tunnel fire [Электронный ресурс] / B. Sun // Case Studies in Thermal Engineering Volume – 2022. – Vol. 40. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X22007377> (дата обращения: 13.09.2024).

185. Tarakanov, D.V. Method of modification of the vector function a decision support system for fighting large fire [Электронный ресурс] / D.V. Tarakanov //

Technology of Technosphere Safety. – 2010. – No. 2(30). – P. 1-12. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15707919> (дата обращения: 08.10.2024).

186. The Metro Project. Final report. [Электронный ресурс] // Н. Ingason, М. Kumm, D. Nilson, A. Lonnermark [et al.] Sweden: Malardalen University. 2012. 118 p. – Режим доступа: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:575113/FULLTEXT05.pdf> (дата обращения: 08.10.2024).

187. Vapnik, V.N. The nature of statistical learning theory [Электронный ресурс] / V.N. Vapnik. – New York: Springer-Verlag, 2000. – 332 с. – Режим доступа: http://lib.yasu.am/open_books/416144.pdf (дата обращения: 08.10.2024).

188. Wu, X. An intelligent tunnel firefighting system and small-scale demonstration [Электронный ресурс] / X. Wu, X. Zhang, Y. Jiang, X. Huang, G.G.Q. Huang, A. Usmani // Tunnelling and Underground Space Technology – 2022. – Vol. 120. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779821004922> (дата обращения: 13.09.2024).

189. Yang, F. Fire Safety Assessment of Underground Buildings based on Grey Relational Analysis [Электронный ресурс] / F. Yang, X. Qian, P. Huang // Procedia Engineering – 2012. – Vol. 45. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812031384> (дата обращения: 13.09.2024).

190. Zhang, X. Perspectives of big experimental database and artificial intelligence in tunnel fire research [Электронный ресурс] / X. Zhang, X. Wu, Y. Park, T. Zhang, X. Huang, F. Xiao, A. Usmani // Tunnelling and Underground Space Technology – 2021. – Vol. 108. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779820306453> (дата обращения: 13.09.2024).

191. Zhang, X. Smart real-time forecast of transient tunnel fires by a dual-agent deep learning model [Электронный ресурс] / X. Zhang, X. Wu, X. Huang // Tunnelling and Underground Space Technology – 2022. – Vol. 129. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779822002711> (дата обращения: 13.09.2024).

Приложение А
(обязательное)

Объединенная схема с классификацией типовых подземных сооружений и особенности идентификации граничных условий при решении задач управления при тушении пожара в подземных сооружениях.

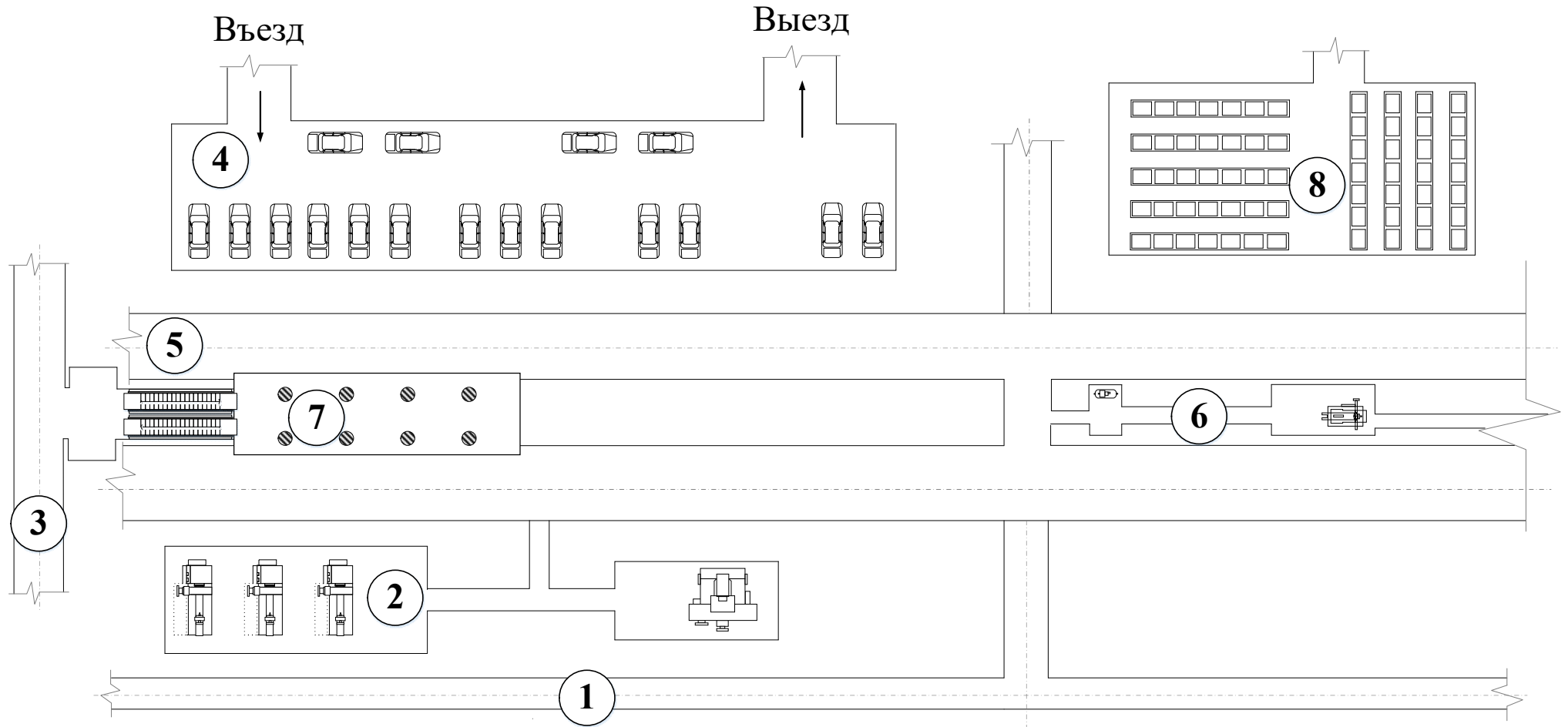


Рисунок А1 – Объединенная схема типовых ПС. 1 – коммуникации и проходные коллекторы, 2 – помещения размещения инженерных систем и оборудования, 3 - подземные переходы, 4 – подземные автостоянки и гаражи, 5 – тоннели метрополитена, 6 – вспомогательные помещения метрополитена, 7 – помещения массового пребывания людей, 8 – помещения складского хозяйства

При выработке и принятии управленческих решений существуют особенности идентификации граничных условий при решении задач управления СиС при тушении пожара в ПС, обусловленные типом объекта пожара, а также глубиной его залегания (Таблицы А1 и А2).

Таблица А1 – Идентификация граничных условий при решении задач управления СиС при тушении пожаров в ПС

№ п/п	Тип ПС	Особенности идентификации граничных условий при решении задач управления СиС при тушении пожара в ПС
1.	Коммуникации и проходные коллекторы	Особенностями ведения действий по тушению пожара в данном типе ПС будут являться: высокая протяженность маршрутов поиска очага пожара, высокая протяженность маршрутов проведения развертывания сил и средств, кабельные линии являются горючей нагрузкой повышенной опасности, при горении маслonaполненных кабелей возможны вспышки и выбросы пламени, организация связи на пожаре с работающими звеньями затруднена, поэтому целесообразно использование связанных и проводной связи, увеличенное время проведения боевого развертывания является следствием повышенной температуры окружающей среды, в связи с замкнутым и небольшим объемом данного типа ПС рост температуры окружающей среды при пожаре более стремителен.
2.	Помещения размещения инженерных систем и оборудования	Особенностями ведения действий по тушению пожара в данном типе ПС будут являться: высокая плотность горючей нагрузки, возможность присутствия ЛВЖ и ГЖ в качестве горючей нагрузки, высокая площадь данных ПС, но умеренная протяженность, наличие различного оборудования в объеме помещений, что является фактором, усложняющим конфигурацию помещения, что, в свою очередь, затрудняет работу и увеличивает время проведения разведки пожара в данном типе ПС.
3.	Подземные переходы	Особенностями ведения действий по тушению пожара в данном типе ПС будут являться: вероятность присутствия пострадавших, некоторые подземные переходы имеют сложную и разветвленную конфигурацию, что осложняет проведение разведки пожара, поиск и спасение пострадавших. Горючая нагрузка умеренная, она размещена, преимущественно, во вспомогательных помещениях и в торговых киосках.

№ п/п	Тип ПС	Особенности идентификации граничных условий при решении задач управления СиС при тушении пожара в ПС
4.	Подземные автостоянки и гаражи	Особенностями ведения действий по тушению пожара в данном типе ПС будут являться: наличие повышенной опасности горючей нагрузки, ЛВЖ и ГЖ, присутствует угроза взрыва, вероятно наличие пострадавших, также высокая площадь, наличие автотранспорта усложнят проведение разведки пожара в данном типе ПС, проведение боевого развертывания сил и средств сопряжено с необходимостью повышенного контроля и наблюдения за изменением окружающей среды.
5.	Тоннели метрополитена	Особенностями ведения действий по тушению пожара в данном типе ПС будут являться: наличие подвижного состава, вероятность наличия пострадавших, наличие дополнительных помещений, сопряженных с тоннелями, в которых может находиться очаг пожара или пути распространения пожара, высокая протяженность маршрутов поиска очага пожара, высокая протяженность маршрутов проведения развертывания сил и средств, кабельные линии являются горючей нагрузкой повышенной опасности, а также возможны сценарии изменения характеристик воздушного потока в тоннеле при пожаре, организация связи на пожаре с работающими звеньями затруднена, в качестве решения задачи организации радиосвязи возможно применение ретрансляторов радиосвязи.
6.	Вспомогательные помещения метрополитена	Особенностями ведения действий по тушению пожара в данном типе ПС будут являться: разнообразная горючая нагрузка, удаленность данных помещений от входов в непригодную для дыхания среду, вероятность наличия в данных помещениях пострадавших (персонал), высокая протяженность маршрутов поиска очага пожара, высокая протяженность маршрутов проведения развертывания сил и средств, организация связи с работающими звеньями затруднена.
7.	Помещения массового пребывания людей	Особенностями ведения действий по тушению пожара в данном типе ПС будут являться: возможное наличие пострадавших, высокая площадь тушения пожара в ПС.
8.	Помещения складского хозяйства	Особенностями ведения действий по тушению пожара в данном типе ПС будут являться: сконцентрированная горючая нагрузка, широкий спектр горючих веществ и материалов, большая площадь тушения пожара в ПС, вероятность наличия ЛВЖ и ГЖ, проведение боевого развертывания сил и средств сопряжено с необходимостью повышенного контроля и наблюдения за изменением обстановки.

Таблица А2 – Классификация ПС по заглублению

№ п/п	Наименование	Глубина залегания, м	Типовые сооружения
1.	Малозаглубленный	До 5	Пешеходные зоны и тяготеющие к ним учреждения, предприятия розничной торговли, культурно-досуговые центры и другие предприятия торгово-бытового обслуживания населения, подземные помещения многоэтажных жилых и общественных зданий, искусственные водотоки, защитные сооружения ГО
2.	Среднего заглубления	5 – 15	Транспортные тоннели различного назначения, транспортно-пересадочные узлы, стоянки автомобилей и гаражи, подземные помещения многоэтажных зданий, подсобные складские помещения, грузовые дворы, служебные коммуникации и т.п., сооружения с кратковременным пребыванием неограниченного количества людей, защитные сооружения ГО
3.	Повышенного заглубления	15 – 30	Автотранспортные тоннели, сооружения метрополитена, резервуары, сооружения предприятий промышленности и энергетики с длительным пребыванием ограниченного количества персонала
4.	Особо глубокий	Свыше 30	Глубокие инженерные коммуникации, сооружения метрополитена, специальные сооружения, эксплуатируемые без пребывания людей или при их кратковременном пребывании (резервуары, водозаборные скважины, сооружения инженерной защиты и пр.)

Приложение Б
(обязательное)

Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025611272

Поддержка принятия решений при определении сил и средств пожарно-спасательных подразделений для тушения пожара в подземных сооружениях

Правообладатели: *Данилов Михаил Михайлович (RU), Денисов Алексей Николаевич (RU), Королев Павел Сергеевич (RU), Данилов Илья Михайлович (RU)*

Авторы: *Данилов Михаил Михайлович (RU), Денисов Алексей Николаевич (RU), Данилов Илья Михайлович (RU), Королев Павел Сергеевич (RU)*

Заявка № 2024693008

Дата поступления 28 декабря 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 17 января 2025 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025683861

**Поддержка принятия решений при тушении пожаров в
подземных сооружениях на основе ранжирования
альтернатив**

Правообладатели: *Данилов Михаил Михайлович (RU), Денисов
Алексей Николаевич (RU), Королев Павел Сергеевич (RU),
Данилов Илья Михайлович (RU)*

Авторы: *Данилов Михаил Михайлович (RU), Денисов
Алексей Николаевич (RU), Королев Павел Сергеевич (RU),
Данилов Илья Михайлович (RU)*

Заявка № **2025682942**Дата поступления **27 августа 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **09 сентября 2025 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

Приложение В
(обязательное)

Акты внедрения результатов исследования

УТВЕРЖДАЮ
 Исполняющий обязанности начальника
 Главного управления МЧС России
 по Чукотскому автономному округу


 А.И. Тимофеев
 « 9 » 08 2025 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Королева Павла Сергеевича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.4. – Управление в организационных системах (технические науки) в деятельность Главного управления МЧС России по Чукотскому автономному округу

Комиссия в составе:

председателя – Хмелинина А.С., заместителя начальника Главного управления МЧС России по Чукотскому автономному округу (по Государственной противопожарной службе) – начальника отдела организации пожаротушения, подготовки и проведения аварийно-спасательных работ

и членов комиссии:

Бережного И.Н., начальника группы координации деятельности аварийно-спасательных формирований отдела организации пожаротушения, подготовки и проведения аварийно-спасательных работ,

Зяблицева Н.В., главного специалиста отдела организации пожаротушения, подготовки и проведения аварийно-спасательных работ,

подтверждает, что результаты диссертационной работы Королева Павла Сергеевича внедрены в деятельность Главного управления МЧС России по Чукотскому автономному округу при планировании действий пожарно-спасательных подразделений по тушению пожаров в подземных сооружениях, проведении тренировок и пожарно-тактических учений, в том числе совместных учений по взаимодействию пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами и эксплуатирующими объекты организаций при тушении пожаров в подземных сооружениях, а именно:

модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий пожарно-спасательных подразделений;

алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации

взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара.

Председатель комиссии:
Заместитель начальника
Главного управления (по
Государственной
противопожарной службе) –
начальник ООП, ПиПАСР



Хмелинин Александр Сергеевич

Члены комиссии:
Начальник группы координации
деятельности АСФ



Бережной Иван Николаевич

Главный специалист ООП,
ПиПАСР



Зяблицев Никита Владимирович

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по учебной работе
полковник внутренней службы
канд. ист. наук, доц.

« 24 » 06

2025 г.

В.С. Шныпко



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Королева Павла Сергеевича, представленной на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.3.4. – Управление в организационных системах
(технические науки) в учебный процесс Академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе: начальника учебно-методического центра Академии ГПС МЧС России Шевцова М.В., заместителя начальника УНК пожаротушения – начальника кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения) Ширинкина П.В., профессора кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения) Денисова А.Н. подтверждает, что результаты диссертационной работы Королева Павла Сергеевича внедрены в учебный процесс кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения) направления подготовки 38.04.04 «Государственное и муниципальное управление» по дисциплине «Управление силами и средствами при тушении пожаров»:

алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в подземных сооружениях в учебно-методическом пособии «Управление силами и средствами при тушении пожаров. Оценка эффективности»;

нерархическая модель организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в подземных сооружениях (моделирование проведения пожарно-тактического учения на объекте) и алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в подземных сооружениях в разделе «Особенности организации тушения пожаров и управления боевыми действиями при их тушении на объектах экономики, социальной инфраструктуры и прилегающей к ним территории».

Члены комиссии:

Начальник учебно-методического центра
Академии ГПС МЧС России
полковник внутренней службы
канд. техн. наук

« 24 » 06 2025 г.

Максим Викторович Шевцов

Заместитель начальника УНК
пожаротушения – начальник кафедры
пожарной тактики и службы (в составе
УНК пожаротушения)
полковник внутренней службы
канд. техн. наук, доц.

« 24 » 06 2025 г.

Павел Владимирович Ширинкин

Профессор кафедры пожарной тактики и
службы (в составе УНК пожаротушения)
д-р. техн. наук, проф.

« 24 » 06 2025 г.

Алексей Николаевич Денисов

УТВЕРЖДАЮ
 Заместитель начальника
 Главного управления МЧС России
 по Кемеровской области – Кузбассу
 (по Государственной противопожарной службе)
 полковник внутренней службы
 Тихомиров Владимир Борисович



20.25 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Королева Павла Сергеевича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.4. – Управление в организационных системах (технические науки) в деятельность Главного управления МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу

Комиссия в составе председателя – полковника внутренней службы Павленко Алексея Владимировича, заместителя начальника Главного управления МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу (по антикризисному управлению) и членов комиссии – полковника внутренней службы Овчинникова Александра Викторовича, заместителя начальника Главного управления – начальника управления надзорной деятельности и профилактической работы Главного управления МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу, полковника внутренней службы Ласнова Василия Владимировича, начальника управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу, подтверждает, что результаты диссертационной работы Королева Павла Сергеевича внедрены в деятельность Главного управления МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу при проведении пожарно-тактических учений и взаимодействии пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и службами эксплуатирующих объекты организаций при тушении пожаров в подземных сооружениях, а именно:

иерархическая модель организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в подземных сооружениях;

алгоритм поддержки принятия управленческих решений при организации взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с аварийными службами города и эксплуатирующих объекты организаций на месте пожара в подземных сооружениях.

Председатель комиссии:
 заместитель начальника Главного управления
 МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу
 (по антикризисному управлению)
 полковник внутренней службы


 А.В. Павленко

Члены комиссии:
 заместитель начальника Главного управления –
 начальник управления надзорной деятельности и
 профилактической работы Главного управления
 МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу
 полковник внутренней службы


 А.В. Овчинников

начальник управления организации пожаротушения
 и проведения аварийно-спасательных работ
 Главного управления МЧС России по Кемеровской
 области – Кузбассу
 полковник внутренней службы


 В.В. Ласнов

УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор ООО
 «МНИЦ С И ПБ»
 Ер. Техн. наук, профессор
 Еремينا Т. Ю.
 2025 г.
 М.П.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
 Королева Павла Сергеевича, представленной на соискание ученой
 степени кандидата технических наук по специальности 2.3.4. –
 Управление в организационных системах (технические науки) в
 деятельности ООО «МНИЦ С И ПБ»

Комиссия в составе председателя – Терехова Александра Сергеевича и членов комиссии – Сухотиной Марии Александровны и Малышева Арсения Александровича подтверждает, что результаты диссертационной работы Королева Павла Сергеевича используются в деятельности организации для проведения обоснования мероприятий по обеспечению безопасности подразделений пожарной охраны при ликвидации пожара в подземных сооружениях, а именно:

модель поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в подземных сооружениях на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив и планирования действий пожарно-спасательных подразделений;

алгоритм поддержки принятия управленческих решений на основе ранжирования условий выбора управленческих альтернатив при тушении пожаров в подземных сооружениях.

Председатель комиссии:



А. С. Терехов

Члены комиссии:



М. А. Сухотина



А. А. Малышев