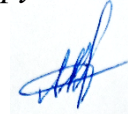


МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

На правах рукописи



Михайлов Кирилл Андреевич

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПО ПРИМЕНЕНИЮ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ПРИ ТУШЕНИИ
ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Тараканов Денис Вячеславович

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	10
1.1. Анализ обстановки с пожарами в зданиях текстильных производств	10
1.2. Анализ процесса организации тушения пожаров в зданиях текстильных производств.....	15
1.3. Анализ методов и механизмов для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.....	27
1.4. Обзор программных средств для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях.....	32
1.5. Анализ применения технических средств мониторинга пожара в зданиях.....	40
1.6. Анализ процесса организации поиска пожаров в зданиях текстильных производств.....	44
1.7. Выводы по первой главе.....	49
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	51
2.1. Формализация задачи построения модели для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.....	51
2.2. Модель поиска очага пожара в зданиях текстильных производств	56
2.3. Моделирование процесса движения пожарных подразделений в зданиях текстильных производств.....	68
2.4. Алгоритм и программная реализация модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств.....	79
2.5. Выводы по второй главе.....	88
ГЛАВА 3. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ .	89

3.1. Описание организационной системы и модели для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств	90
3.2. Анализ модели для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств	96
3.3. Задача синтеза управлений.....	105
3.4. Исследование устойчивости решений	106
3.5. Идентификация и имитационное моделирование организационной системы.....	108
3.6. Внедрение результатов (обучение управленческого персонала)	115
3.7. Выводы по третьей главе.....	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	124
ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВИДЕТЕЛЬСТВА О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ БАЗ ДАННЫХ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ.....	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ЛИСТИНГ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ В. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ..	161

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Согласно официальным статистическим данным по пожарам ежегодно в Российской Федерации (РФ) регистрируется более 100 тысяч пожаров в зданиях. Прямой материальный ущерб от пожаров составляет миллиарды рублей, а количество человеческих жертв от пожаров – около восьми тысяч в год. Обстановка с пожарами в РФ определяет необходимость постоянного совершенствования способов и методов борьбы с ними. Одним из направлений повышения эффективности борьбы с пожарами в зданиях является совершенствование организационной системы управления пожарными подразделениями путем внедрения новых видов ресурсов – технических средств мониторинга. Принятие решений на пожаре зависит от характера получаемой информации, что напрямую влияет на качество управления пожарными подразделениями, обеспечивая необходимую эффективность от внедрения технических средств мониторинга.

На текстильных предприятиях преобладает производство хлопчатобумажных изделий. Технология производства обуславливает строгое поддержание в зданиях искусственного микроклимата (температурно-влажностного режима). Горючая нагрузка (хлопок, лен) обуславливает повышенную пожарную опасность зданий текстильных производств. При горении хлопчатобумажных изделий выделяется большое количество дыма, пожарным подразделениям необходимо вести боевые действия по тушению пожара, определять решающее направление, в том числе выполнять задачу по поиску очага пожара в условиях задымления.

Здания текстильных производств оборудованы различными техническими системами мониторинга пожара, в том числе системы пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Как правило, в зданиях текстильных производств установлены дымовые извещатели линейного типа, тем самым не представляется возможным применить метод поиска пожара по сети точечных извещателей.

Тактика тушения пожаров в зданиях текстильных производств зависит от уровня профессиональной подготовки пожарных подразделений, оснащения (вида оборудования, вида ресурсов), от организации на начальном этапе действий первых прибывших на пожар подразделений. Поэтому совершенствование деятельности пожарных подразделений на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств является актуальным направлением исследования.

Степень разработанности. Исследования автора опирались на теоретические и практические результаты отечественных и зарубежных учёных: в области теории управления организационными системами – В.Н. Буркова [15–17], М.В. Губко [32, 54], Д.А. Новикова [15–17, 32, 54, 80, 81], А.Г. Чхартишвили [80], А.В. Щепкина [6, 16], О. Hart [157] и др.; в области разработки систем поддержки принятия решений и управления оперативными подразделениями – Н.Н. Брушлинского [10, 12, 95], С.Ю. Бутузова [27], К.С. Власова [22], А.Н. Денисова [139], В.Б. Коробко [59], А.В. Матюшина [3, 56, 58], Е.А. Мешалкина [62, 63], В.А. Минаева [64], А.В. Мокшанцева [38, 135, 136, 141], А.А. Порошина [3], Ю.В. Пруса [134], В.А. Седнева [109, 110], В.Л. Семикова [95, 111], С.В. Соколова [10, 12, 95], Д.В. Тараканова [4, 38, 59, 120–129], А.А. Таранцева [130, 131], Н.Г. Топольского [38, 136, 138, 140], А.В. Федорова [144], Р.Ш. Хабибулина [1, 39], А.Н. Членова [148, 149], J.M. Marakas [159], D.J. Power [160] и др.

Однако теоретические и практические вопросы распределения ресурсов в виде технических средств мониторинга – тепловизоров, камер коротковолнового инфракрасного диапазона – при планировании и организации поиска очага пожара в зданиях текстильных производств мало изучены. Поэтому решаемая в диссертационной работе научная задача состоит в разработке модели и алгоритма поддержки принятия решений по распределению ресурсов на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств.

Объект исследования – процесс предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств, **предмет исследования** – процедуры принятия решений по выбору технических средств мониторинга для поиска очага пожара в зданиях текстильных производств.

Цель диссертационной работы – совершенствование технологии управления ресурсами пожарных подразделений на основе процедур принятия решений по применению технических средств мониторинга при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ организационной системы управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.

2. Разработать модель и алгоритм для принятия решений по применению технических средств мониторинга пожарными подразделениями при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств.

3. Разработать алгоритмическую структуру и программную реализацию процедуры принятия решений по определению ресурсов пожарных подразделений при предварительном планировании действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств.

4. Разработать практико-ориентированную технологию управления ресурсами при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.

Научная новизна. В диссертационной работе впервые получены следующие научные результаты:

– модель для принятия решений при определении ресурсов в процессе поиска очага пожара в зданиях текстильных производств, отличающаяся от существующих учетом динамики производительности поиска на основе изменяющейся видимости в дыму;

– алгоритм принятия управленческих решений при тушении пожаров в зданиях текстильных производств, отличающийся от существующих возможностью при заданных видах ресурсов провести наилучший выбор для реализации задачи по поиску очага пожара в зданиях текстильных производств;

– функциональная структура программного модуля для поддержки принятия решений по использованию ресурсов при тушении пожаров в зданиях текстильных производств, позволяющий реализовать процедуру принятия решений по определению ресурсов пожарных подразделений при предварительном планировании действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теоретических основ применения технических средств мониторинга при пожаре в зданиях, использовании математического аппарата многокритериальной оптимизации для реализации процедур по распределению ресурсов (технических средств мониторинга) пожарных подразделений, разработаны модель и алгоритм принятия решений по применению технических средств мониторинга при тушении пожаров в зданиях текстильных производств. Выведены новые аналитические зависимости для определения вероятности обнаружения пожара в зданиях текстильных производств с учетом динамики видимости при различной горючей нагрузке.

Практическая значимость работы заключается в реализации предложенной модели и алгоритма в программном модуле для поддержки принятия решений при тушении пожаров в зданиях текстильных производств, позволяющем решить ряд актуальных задач на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств:

– составление плана пожаротушения здания текстильного производства, а именно определение ранга пожара на объекте на основе показателей вероятности обнаружения очага пожара, необходимого количества пожарных подразделений для обнаружения и тушения пожара в зданиях текстильных производств;

– распределение ресурсов пожарных подразделений на основе определения вероятностей обнаружения и тушения пожара в зданиях текстильных производств.

Предложены рекомендации по применению результатов исследования для решения практических задач по планированию действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования являются методы системного анализа, методы теории принятия

решений, методы многокритериальной оптимизации, методы математического моделирования, методы теории управления организационными системами.

На защиту выносятся:

- модель для поддержки принятия решений при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств;
- алгоритм принятия решений по применению ресурсов пожарными подразделениями при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств;
- программный модуль для поддержки принятия решений по использованию ресурсов при тушении пожаров в зданиях текстильных производств;
- практические рекомендации по организации планированию действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированного математического аппарата, корректным использованием исходных данных, согласованностью полученных результатов с известными результатами работ других исследователей.

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на международных научных конференциях: Международной научно-технической конференции «Системы безопасности» (г. Москва, 2016 г., 2022–2023 гг.), Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (г. Москва, 2018–2019 гг., 2022 г., 2024 г.), Школе молодых ученых и специалистов МЧС России (г. Москва, 2018 г.), XXII Международной научно-практической конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (г. Москва, 2019 г.), XX Международной конференции «Информатика: проблемы, методы, технологии» (г. Воронеж, 2020 г.).

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы используются:

– в Главном управлении МЧС России по г. Москве – практические рекомендации по применению технических средств мониторинга коротковолнового инфракрасного диапазона пожарными подразделениями;

– в научной деятельности Академии Государственной противопожарной службы МЧС России в ходе выполнения научно-исследовательской работы на тему: «Поддержка принятия управленческих решений по спасению людей в чрезвычайных ситуациях с применением инфракрасных технологий» (регистрационный номер НИОКТР 121071300050-2);

– в учебном процессе Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при изучении дисциплин «Информационные технологии в государственном и муниципальном управлении», «Информатика в техносферной безопасности», преподаваемых на кафедре информационных технологий.

Реализация результатов исследования подтверждается актами внедрения (Приложение В).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 18 работ, из них 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК России, 2 – в изданиях, входящих в международные системы цитирования, 2 монографии в соавторстве, 7 работ в других научных изданиях, получены свидетельства Роспатента о государственной регистрации баз данных и программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. В совместных публикациях [5, 42, 65, 71, 73, 75, 105, 112, 137, 142] результаты, связанные с анализом текущей ситуации в исследуемой области, разработкой математических моделей, алгоритмов управления для лица, принимающего решение в системе управления пожарными подразделениями при поиске пожара в здании, выполнены автором самостоятельно. В разработанной программе для ЭВМ [72] автором определены основные функции и требования к программе.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 162 наименований, 3 приложений. Общий объем диссертации составляет 165 страниц, содержит 63 рисунка и 22 таблицы.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Экономическая обстановка в РФ увеличивает потребность в отечественном производстве материалов текстильной промышленности. Тем самым предопределяется поддержание на высоком уровне системы обеспечения пожарной безопасности данных объектов, одним из составляющих которой является совокупность сил и средств (в том числе и пожарные подразделения).

1.1. Анализ обстановки с пожарами в зданиях текстильных производств

Большинство современных зданий текстильных производств, построенных с 2010 года, представляют собой одноэтажные бесфонарные здания – полностью либо частично лишенные естественного освещения и аэрации, тем самым поиск очага пожара в них по внешним признакам не представляется возможным.

На текстильных предприятиях преобладает производство хлопчатобумажных изделий. Технология производства обуславливает строгое поддержание в зданиях искусственного микроклимата (температурно-влажностного режима). Горючая нагрузка (хлопок, лен) обуславливает повышенную пожарную опасность зданий текстильных производств.

По официальным данным ВНИИПО МЧС России [102] был выполнен анализ количества пожаров в зданиях, взятых на статистический учет (на примере зданий текстильных производств), за 2010–2022 гг. По результатам анализа можно сделать вывод, что ежегодно среднее количество пожаров в зданиях текстильных производств находится в диапазоне от 10 до 31 (рисунок 1.1).

Таким образом с вероятностью 0,95 можно утверждать, что пожары в зданиях текстильных производств будут и тушить их нужно качественно.

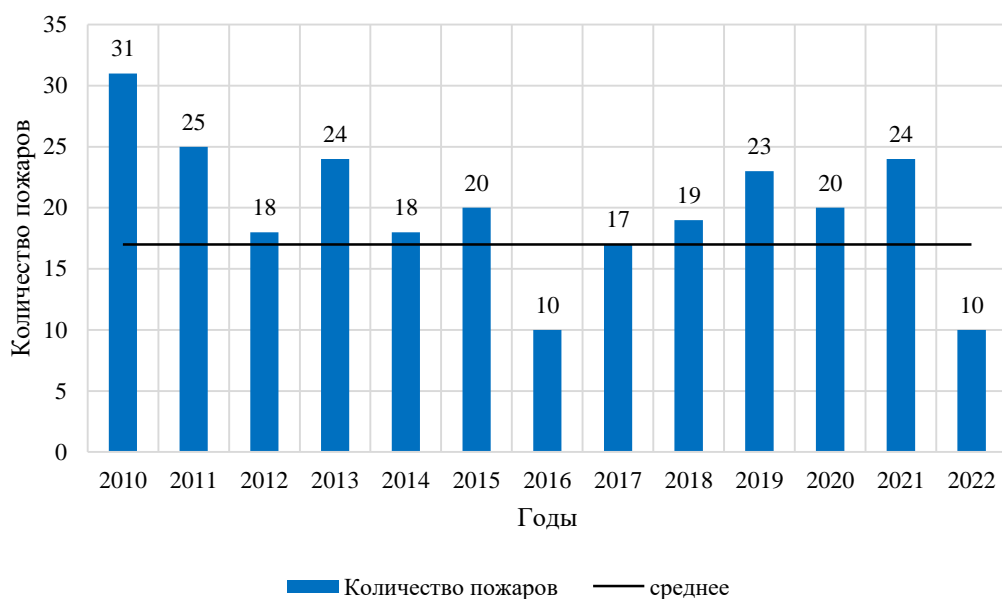


Рисунок 1.1 – Динамика количества пожаров в зданиях текстильных производств за период 2010–2022 гг.

На рисунке 1.2 представлен график ежегодного материального ущерба от пожаров в зданиях текстильных производств за период 2010–2022 гг. Совокупный материальный ущерб за указанный период составил более 178 млн руб.

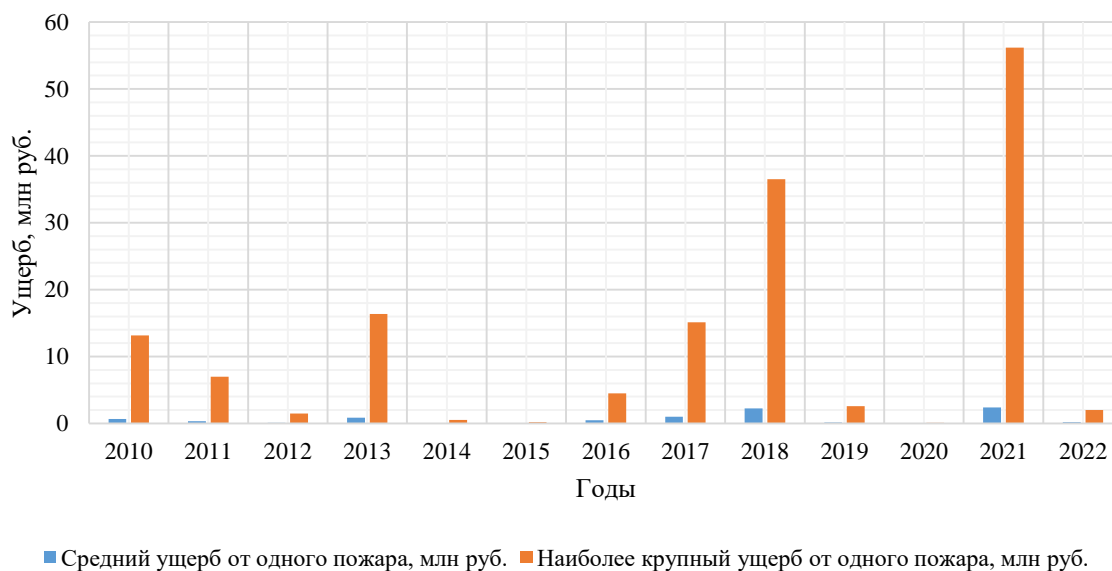


Рисунок 1.2 – Динамика материального ущерба от пожаров в зданиях текстильных производств за период 2010–2022 гг.

На рисунке 1.3 показано эмпирическое распределение количества пожарных автомобилей типа автоцистерна (АЦ), выезжавших на тушение пожаров в зданиях текстильных производств за период 2010–2022 гг.

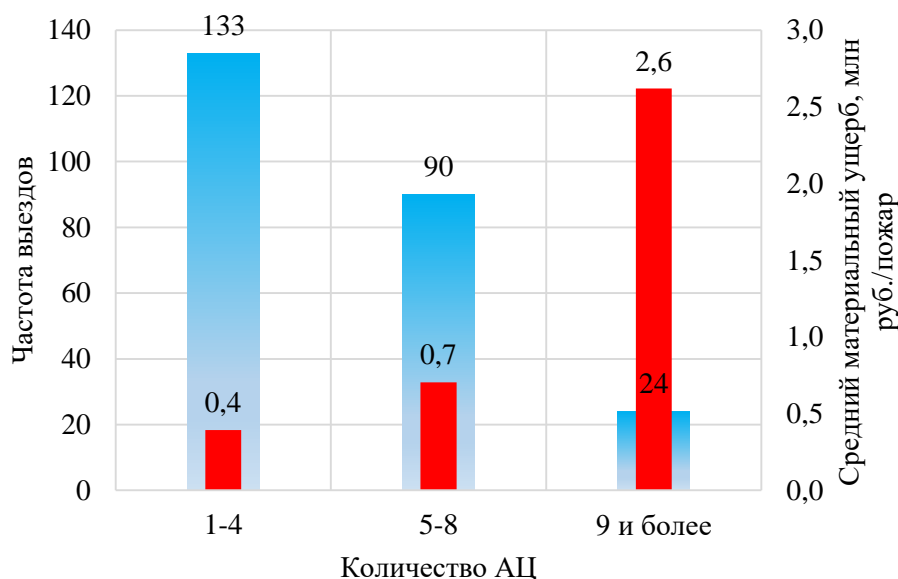


Рисунок 1.3 – Соотношение количества АЦ и среднего материального ущерба от пожара в зданиях текстильных производств

Исходя из графика, видим, что в большинстве выездов на тушение пожара в зданиях текстильных производств привлекалось от 1 до 4 пожарных автомобилей типа АЦ со средним материальным ущербом 0,4 млн руб./пожар.

На рисунке 1.4 приведен график распределения пожаров в зданиях текстильных производств, на которых пожарные подразделения работали в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (СИЗОД), в совокупности со средним материальным ущербом от одного пожара за период 2010–2022 гг.

На рисунке 1.5 приведен график, отображающий процентное соотношение пожаров, на которых использованы СИЗОД, к общему количеству пожаров в зданиях текстильных производств. Согласно проведенному анализу в среднем на более чем 60% пожарах оперативными подразделениями применялись СИЗОД.

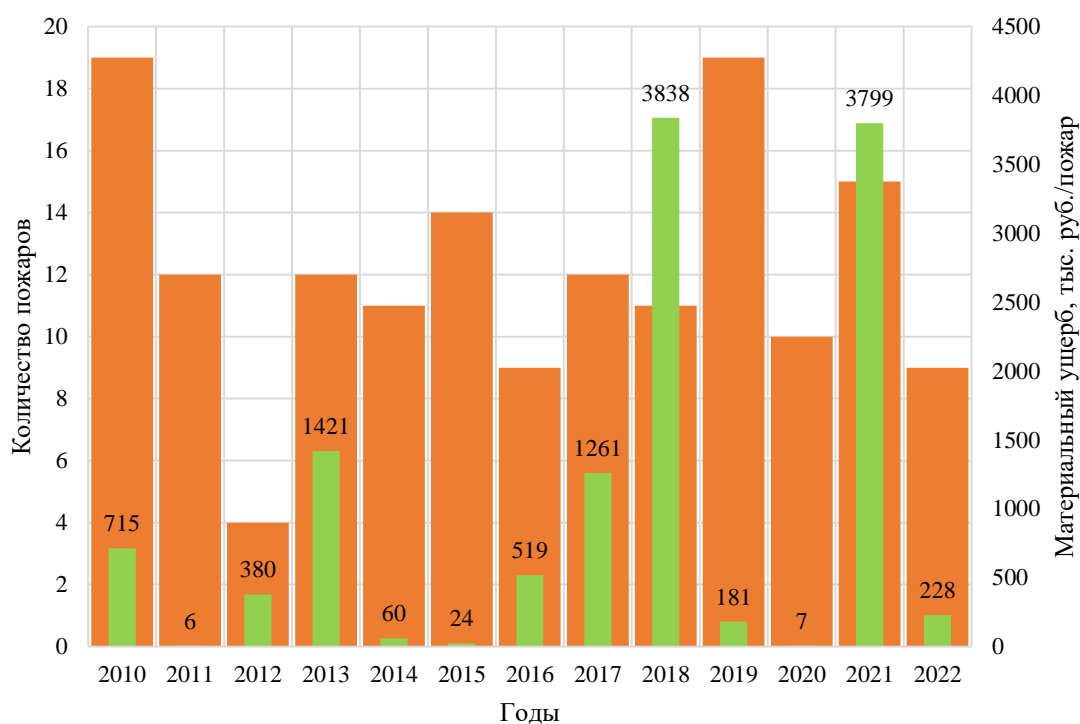


Рисунок 1.4 – Распределение материального ущерба от пожаров в зданиях текстильных производств, на которых применены СИЗОД, за период 2010–2022 гг.

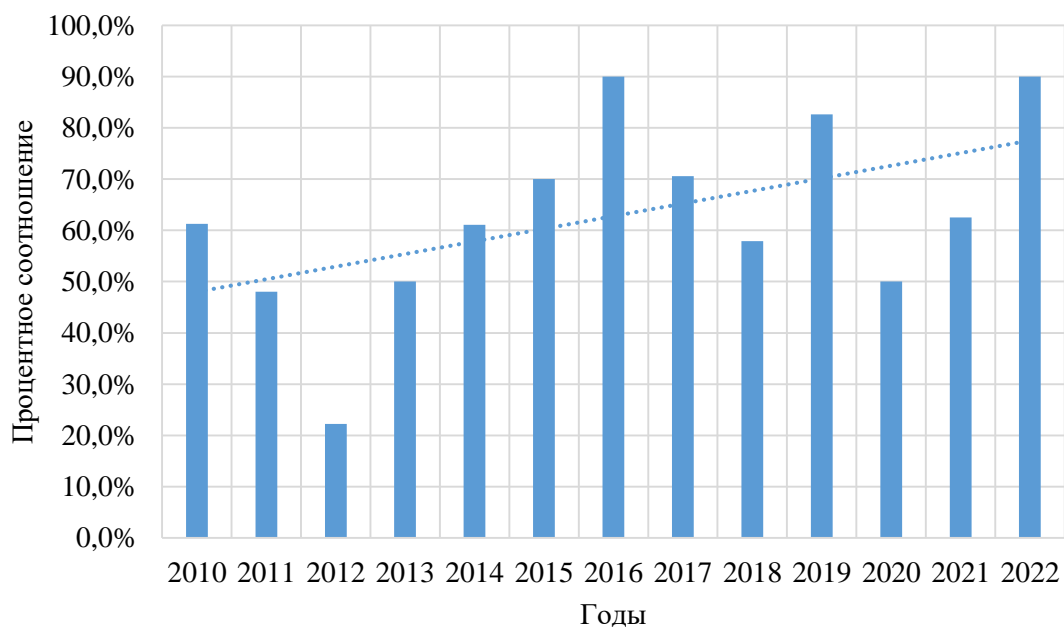


Рисунок 1.5 – Распределение пожаров в зданиях текстильных производств, на которых применены СИЗОД, за период 2010–2022 гг.

Проведен анализ времени тушения пожаров в совокупности со средним материальным ущербом от одного пожара в зданиях текстильных производств за период 2010–2022 гг. На основе проанализированных данных построен график распределения времени тушения пожара в зданиях текстильных производств за период 2010–2022 гг. (рисунок 1.6).

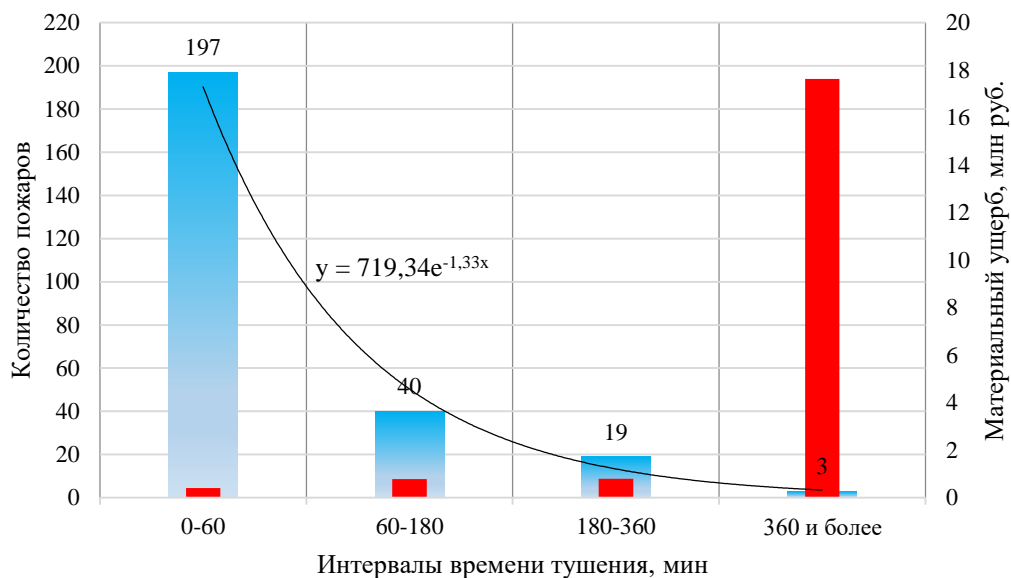


Рисунок 1.6 – Соотношение времени тушения и среднего материального ущерба от пожара в зданиях текстильных производств за период 2010–2022 гг.

На графике видно, что подавляющее большинство пожаров потушено в интервал времени от 0 до 60 минут, при этом средний материальный ущерб от одного пожара составил 0,4 млн руб./пожар.

Также, исходя из графика, можно сделать вывод, что средний материальный ущерб от одного пожара в зданиях текстильных производств тем выше, чем дольше время его тушения. Таким образом, для обеспечения функционирования системы пожарной безопасности текстильных производств необходимо сокращать время тушения пожара, повышая уровень профессиональной подготовки личного состава, используя современные технические средства (новые виды ресурсов), улучшающие качество информационного обеспечения на пожаре.

1.2. Анализ процесса организации тушения пожаров в зданиях текстильных производств

Введем используемые в диссертационной работе термины и определения.

Теория управления организационными системами (ТУОС) – это научное направление, опирающееся на методологию [8, 78] и подходы кибернетики [19, 79], системного анализа [25, 96] и широко использующее теоретико-игровое моделирование наряду с методами оптимизации и исследования операций для разработки эффективных инструментов управления организациями различной природы и масштаба – от небольшой фирмы до корпорации, от муниципального образования до государства в целом. В диссертационной работе совершенствуются и разрабатываются процедуры управления силами и средствами пожарной части.

Оптимальное управление – это допустимое управление, обладающее максимальной эффективностью [81]. В диссертационной работе управлением организационной системой является решение задачи распределения ресурсов (тепловизоров, камер коротковолнового инфракрасного диапазона (КИД)) с учетом максимизации вероятностей тушения и обнаружения пожара в зданиях.

Прямая задача управления – задача нахождения оптимального управления [81].

Обратная задача управления – поиск множества допустимых управлений, переводящих управляемую систему в заданное состояние [81].

Динамическая система – любой объект или процесс, для которого четко определено состояние как набор определенных величин в конкретный момент времени и установлен закон, который описывает изменение этого состояния во времени [77].

Ресурсы системы – это любые элементы, которые используются для достижения целей системы (в контексте диссертационной работы ресурсами выступают пожарные подразделения и их оснащение: дыхательные аппараты и технические средства мониторинга – тепловизоры, камеры КИД). Ресурсы могут быть использованы в происходящих в системе процессах (в процессе поиска очага и тушения пожара в здании), влиять на ее производительность, эффективность и

стоимость. Оптимальное использование ресурсов и их распределение позволяет системе достигать целевого состояния с минимальными затратами [9, 57].

Моделирование – это метод исследования объектов познания на их моделях, построение моделей реально существующих предметов и явлений [81].

Математическая модель – это формализованное представление системы, которое выражает ее работу через математические уравнения и зависимости. Она может быть применена для анализа и оптимизации системы и прогноза ее состояния в различных ситуациях [37].

Формальная модель – это разновидность математической модели, которая применяет формальные математические методы и языки для описания и анализа системы [152].

Целевая функция – это функция, которая принимает значения на множестве возможных действий и решений агентов (например, людей или организаций). Она показывает, какие предпочтения у субъекта управления. Для достижения наилучшего результата от своих действий субъект управления стремится максимизировать или минимизировать эту функцию [81].

Эффективность управления – в ТУОС – гарантированное значение целевой функции центра на множестве решений игры агентов [81].

Рассмотрим пожарно-спасательный гарнизон (ПСГ) как организационную систему (ОС), в которой субъектом управления выступает пожарно-спасательный отряд (ПСО), а объектом (элементами) – пожарно-спасательные части, подчиняющиеся ПСО. Внешняя среда – обстановка на пожаре. Внутренняя среда – взаимодействие между пожарными подразделениями и пожаром.

Система управления на пожаре с позиции теории управления организационными системами [15, 81] включает в себя:

а) состав ОС – пожарные подразделения – группы разведки пожара (состоят из 1, 2 или 3 звеньев газодымозащитной службы (ГДЗС));

б) структура ОС – связи: группа разведки ↔ постовой на посту безопасности ↔ руководитель тушения пожара (РТП) ↔ ЦППС (центральный пункт пожарной связи);

в) допустимые множества – площадь поиска и объем работы за время t поиска (тактические возможности подразделений);

г) предпочтения участников ОС – максимизация целевых функций (вероятностей тушения p_t и обнаружения p_o пожаров в зданиях);

д) информированность участников ОС – обстановка в здании зависит от условий задымления – параметра видимости → выбор ресурсов (оборудования);

е) порядок функционирования – в процессе поиска и тушения пожаров в зданиях (условия задымления, наличие других опасных факторов пожара (ОФП)).

ОС функционирует в двух режимах – нормальный и особый. При нормальном режиме система справляется с возникшим деструктивным событием (пожаром) пожарным подразделением (пожарно-спасательной частью, объектовой пожарной частью и др.), в районе выезда которого возник пожар. При особом режиме подразделение, в районе которого возник пожар, не справляется с задачей тушения пожара собственными силами, поэтому необходимо привлечение дополнительных сил и средств пожарно-спасательного гарнизона (вызов пожарных подразделений по повышенному рангу пожара из других районов выезда).

Целевой функцией ПСГ как ОС является поддержание боеспособности пожарных подразделений или способности их к выполнению функций по подготовке к спасению людей и тушению пожаров.

Задача боеспособности пожарных подразделений определена Боевым уставом подразделений пожарной охраны, определяющим порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (Приказ МЧС России № 444 от 16.10.2017 г.) [86]. Согласно статье 4 федерального закона № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» основной задачей подразделений ПО является «... организация и осуществление тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» [84].

Устав подразделений пожарной охраны (Приказ МЧС России от 20.10.2017 г. № 452 [94]) определяет «... порядок организации и несения караульной службы...», организуемой «... для обеспечения готовности ... подразделений к тушению пожаров..., профессиональной подготовки личного состава» (п. 2 Приказа). В п. 8

Положения о пожарно-спасательных гарнизонах (Приказ МЧС России № 467 от 25.10.2017 г.) гарнизонной службе предписывается «...обеспечение постоянной готовности сил и средств гарнизона к тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ и других неотложных работ, в том числе при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций...» [89]. В соответствии с этим на ряд должностных лиц ПСГ – начальника гарнизона (п. 16 и 17), оперативного дежурного по гарнизону (ст. 20, 21, 22), начальника пожарно-спасательного отряда, начальника пожарно-спасательной части и начальника караула – возлагается ответственность за поддержание высокой боеспособности подразделений пожарной охраны ПСГ.

Согласно статье [14] «... боеспособность подразделения ПО к выполнению задачи может быть оценена готовностью:

- 1) выполнить на дежурстве необходимые профилактические и регламентные работы по пожарной технике;
- 2) прибыть к месту вызова по тревоге за минимальное время;
- 3) провести разведку на пожаре и развернуть пожарную технику;
- 4) произвести спасение людей в случае угрозы их жизни и эвакуацию имущества;
- 5) полностью ликвидировать пожар».

Этим и определяются задачи совершенствования профессиональной подготовки подразделений ПО с целью повышения ее эффективности. Разработка модели или оценка эффективности любой системы (например, объектовой пожарной части) требует прежде всего анализа условий ее функционирования.

Условия функционирования пожарных частей ПСГ характеризуются рядом особенностей. Наиболее важной из них является случайный (вероятностный) характер вызовов на пожары и продолжительность их тушения. Частота вызовов описывается распределением Пуассона, а продолжительность тушения пожаров – показательным законом распределения [7]. Продолжительность обслуживания пожарной техники после пожара характеризует восстановление боеспособности пожарной части.

Обратим внимание, что функционирование пожарной части (боеготовность) рассматривается в контексте понятия цикла ее использования [14]. Цикл может включать следующие этапы, согласно документу [86]: выезд и следование на пожар, действия по тушению пожара, возвращение в часть (место постоянной дислокации) и восстановление боеготовности части (обслуживание техники и оборудования). Из рассмотренного следует, что пожарная часть может находиться в одном из трех состояний: режиме дежурства – вероятность P_1 , режиме обслуживания пожара – вероятность P_2 , режиме восстановления боеготовности – вероятность P_3 (рисунок 1.7).

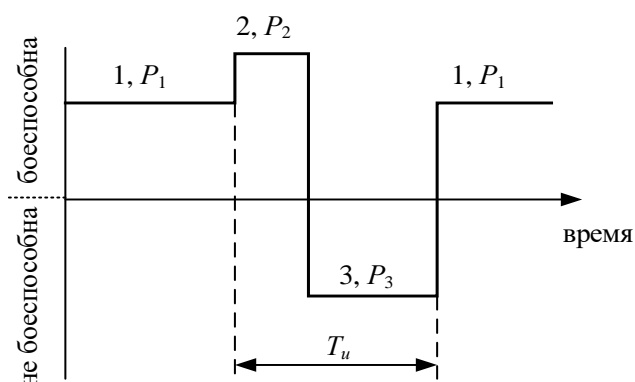


Рисунок 1.7 – Цикл использования пожарной части

Количество циклов использования пожарной части в течение суток принимается равным количеству вызовов. По временной характеристике их продолжительность $T_{и}$ будет различной, так как каждый пожар (вызов) уникален. После оценки среднего количества выездов и продолжительности тушения пожаров, а также трудоемкости обслуживания пожарной техники при восстановлении боеготовности пожарной части можно определить вероятности P_1 , P_2 и P_3 состояния частей в каждом из режимов. Так, при одном цикле в сутки $T_{муи} = 1$ ч и обслуживании пожарной техники в соответствии с действующими нормативами вероятности будут составлять $P_1 = 0,916$; $P_2 = 0,056$; $P_3 = 0,028$. Таким образом, второй важной особенностью функционирования пожарных частей является то, что они продолжительное время находятся в режиме дежурства. Боевая же работа производится в течение нескольких десятков минут или часов (исключая крупные пожары).

Вероятность выполнения задачи ПЧ зависит от многих факторов, проявляющихся в каждом из режимов. В [14] авторами сделана попытка в общем виде оценить факторы, влияющие на боеспособность пожарных частей. Рассмотрим их подробнее.

Пожар как случайное деструктивное событие подчиняется вероятностным (стохастическим) оценкам [11, 13]. Поэтому боеспособность пожарных частей в общем виде может быть представлена схемой (рисунок 1.8).

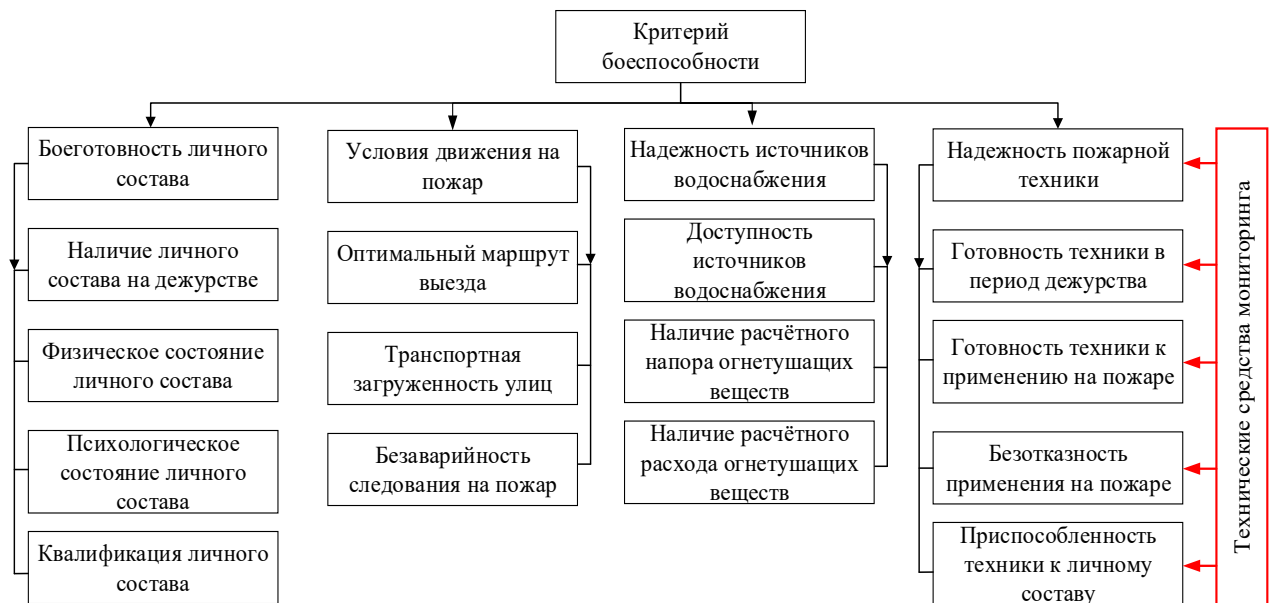


Рисунок 1.8 – Схема боеспособности пожарных частей

Боеспособность пожарных частей можно достаточно корректно формализовать (с учетом многомерной оптимизации критериев) следующим образом:

$$W_{n.n} = P_{n.m} R_{л.с} P_{сл} P_v, \quad (1.1)$$

где $W_{n.n}$ – критерий боеспособности пожарного подразделения, в районе выезда которого произойдет деструктивное событие (вероятность выполнения функций и задач, определенных документами [86, 94]);

$P_{n.m}$ – критерий работоспособности пожарной техники (вероятность того, что пожарная техника выполнит задачи в соответствии с паспортными тактико-техническими характеристиками);

$R_{л.с}$ – критерий боеготовности личного состава (вероятность выполнения функций и задач личным составом пожарных подразделений, определенных документами [86, 94]);

$P_{сл}$ – критерий надежности следования (условий движения пожарных автомобилей) к месту вызова (вероятность того, что подразделения придут к месту вызова в установленное время);

$P_в$ – критерий надежности источников водоснабжения (вероятность того, что водоисточники будут обладать потребным расходом и напором) для машин с собственными достаточными запасами огнетушащих средств $P_в = 1$.

На основе анализа составляющих выражения (1.1) возможно сделать следующие выводы:

– во-первых, количественная оценка критерия боеспособности является результатом произведения четырех критериев. Для того чтобы получить высокое значение критерия (например, $W_{н.н} = 0,95$, то есть, вероятность риска, что подразделение не выполнит своих задач, равна 5%), необходимо, чтобы каждый из сомножителей в зависимости (1.2) для случая пяти сомножителей имел значение 0,99, а для случая четырех сомножителей – 0,982, при этом принято $R_{л.с} = P_{сл} = P_в = P_{n.m} = 0,99$ и $R_{л.с} = P_{сл} = P_{n.m} = 0,982$; $P_в = 1$, хотя в сущности они могут быть различными;

– во-вторых, все критерии являются равнозначными, если допустить, что техника (включая источники водоснабжения и средства мониторинга) будет абсолютно надежной ($P_{n.m} = 1$), личный состав на 100% готов к выполнению предусмотренных документами [86, 94] задач ($R_{л.с} = 1$), то при большом радиусе выезда и неудовлетворительном состоянии дорог пожарные подразделения в своем районе выезда либо с большим трудом потушат пожар, либо вовсе не смогут выполнить возложенных на них задач;

– в-третьих, если любой из сомножителей равен нулю (к примеру, машины не могут выехать из гаража из-за технических неисправностей, то есть $P_{n.m} = 0$, или вышли из строя источники водоснабжения, то есть $P_v = 0$), то боеспособность данного пожарного подразделения не будет реализована ($W_{n.n} = 0$). В этом случае к месту пожара должно быть выслано подразделение из ближайшего смежного района выезда.

Таким образом, для того чтобы потушить пожар с наименьшим материальным ущербом, возможны следующие действия:

– постоянное совершенствование профессионализма личного состава подразделений – повышение уровня профессиональной подготовки и боеспособности (например, выполнение упражнений в рамках профессиональной подготовки [93]);

– использование современного оборудования (ресурсов);

– наращивание (резервирование) сил и средств по повышенному рангу (согласно расписанию выездов подразделений ПО).

При тушении пожаров в зданиях необходимо также учитывать его как вероятностный процесс. При этом, как отмечено ранее, его неотъемлемой характеристикой является расчетная продолжительность пожара [7]. Величина указанного параметра обусловлена комплексом факторов, что в целом не позволяет однозначно определить ее значение. Коллективом под руководством Брушлинского Н.Н. предпринята попытка формализовать данную величину через понятие риска R_T , связанного с тем, что за заданное время τ_T пожар потушить не удастся.

Получено следующее соотношение для расчетной продолжительности тушения пожара t_H [7] (выражение 1.2):

$$t_H = \bar{\tau}_T \ln \frac{1}{\varepsilon}, \quad (1.2)$$

где $\bar{\tau}_T$ – средняя продолжительность тушения пожара данного типа;

ε – заданное критическое значение.

Расчетная продолжительность тушения пожара t_n является одним из ключевых факторов, определяющих экономическую целесообразность противопожарного водоснабжения. Именно продолжительность тушения пожара обуславливает объем неприкосновенного запаса воды (огнетушащего вещества) и, как следствие, способ ее хранения [7].

В нормативах по противопожарному водоснабжению (п. 5.17 СП 8.13130.2020) указывается, что «... Продолжительность тушения пожара должна приниматься 3 ч. Для зданий I и II степеней огнестойкости с негорючими несущими конструкциями и утеплителем с помещениями категорий Г и Д по пожарной и взрывопожарной опасности – 2 ч.» [116]. Этот норматив важен для организации тушения пожаров на объектах, так как от него зависит объем неприкосновенного запаса воды.

Исходя из анализа, проведенного в [7], «... увеличение расчетной продолжительности тушения пожара уменьшает уровень риска R_T того, что его не удастся потушить, и может оказывать влияние на уменьшение убытков от пожаров, но требует дополнительных капиталовложений на организацию противопожарного водоснабжения. Уменьшение нормативного времени тушения пожара увеличивает этот риск и может повлечь за собой увеличение убытков от пожаров, но позволит снизить капитальные затраты на противопожарное водоснабжение».

В статье [104] авторами предложена вероятностно-стохастическая модель оценки надежности тушения пожара личным составом добровольной ПО от внутреннего противопожарного водопровода в здании. В исследовании установлена связь между надежностью тушения пожара и такими факторами, как математическое ожидание времени начала тушения и другими входными параметрами.

На основе анализа источника [61] можно выделить следующие факторы (проблемы) и пути решения при возникновении пожара в зданиях (на примере зданий текстильных производств). Результаты приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Факторы и действия пожарных подразделений в зданиях текстильных производств

Факторы	Действия пожарных подразделений
– распространение пожара с высокой скоростью по строительным конструкциям, галереям и транспортерам, вентиляционным системам и пневмотранспорту из-за большого количества пыли, а также по готовой продукции и производственным отходам в разрыхленном состоянии [61]	– вести разведку пожара в нескольких направлениях звеньями ГДЗС, выставлять посты безопасности с организацией связи со звеньями ГДЗС; – использовать средства пенного пожаротушения в системах вентиляции, монорельсового и пневмотранспорта; – обеспечивать управление газообменом помещения с помощью дымовых люков, кондиционеров и вентиляции без рециркуляции воздуха [61]
– переход пожара в соседние помещения по вентиляционным системам, шахтам грузовых подъемников [61]	– определить состояние огнепреградительных клапанов в вентиляционных каналах; – вводить стволы на защиту ниже- и вышерасположенных этажей, смежных помещений, чердак и подвал; – использовать средства пенного пожаротушения в системах вентиляции, монорельсового и пневмотранспорта; – подавать распыленные струи воды сверху в горящие вертикальные вентиляционные каналы [61]
– взрывы в вентиляционных устройствах и помещениях фильтров, где возможно накопление пыли [61]	– определить совместно с персоналом объекта необходимость и целесообразность полной или частичной остановки производства, меры, принятые по ликвидации распространения горения, эвакуации людей и готовой продукции [61]
– наличие скрытого горения перекрытий, пропитанных смазочным маслом, в зданиях старой постройки [61]	– вводить стволы на защиту ниже- и вышерасположенных этажей, смежных помещений, чердак и подвал; – проводить тушение в пустотах перекрытий, прежде всего в местах узлов и опор несущих конструкций, проводя работы по вскрытию; – проводить контрольные вскрытия пустот на основе консультаций персонала предприятия [61]
– высокая плотность задымления и значительный рост пожара в начальной стадии развития [61]	– определить состояние стационарных систем пожаротушения, включить установки для защиты проемов, вводить стволы от внутренних пожарных кранов; – определить состояние дымовых люков, аварийной вентиляции и возможность их использования для снижения задымленности помещений и снижения температуры – обеспечивать управление газообменом помещения с помощью дымовых люков и вентиляции без рециркуляции воздуха [61]
– обрушение подвесных потолков [61]	– принять меры по своевременному удалению излишне проливаемой воды [61]
– наличие сероводорода и едкого натра в красильно-отделочном производстве, а также присутствие радиоактивных изотопов в	– определить совместно с персоналом объекта необходимость и целесообразность полной или частичной остановки производства, меры, принятые по ликвидации распространения горения, эвакуации людей и готовой продукции;

Окончание таблицы 1.1

управлении технологическим процессом [61]	– определить состояние стационарных систем пожаротушения, включить установки для защиты проемов, вводить стволы от внутренних пожарных кранов; – проводить тушение пожара в красильно-отделочном производстве, используя средства защиты органов дыхания и кожного покрова [61]
– трудность удаления дыма из зданий бесфонарного типа [61]	– определить состояние дымовых люков, аварийной вентиляции и возможность их использования для снижения задымленности помещений и снижения температуры; – обеспечивать управление газообменом помещения с помощью дымовых люков, кондиционеров и вентиляции без рециркуляции воздуха [61]

Для анализа приведем сравнительную характеристику способов обнаружения пожара и обстановки при проведении поиска в зданиях текстильных производств (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Способы обнаружения пожара в зданиях текстильных производств

Способы обнаружения	Преимущества	Недостатки
поиск по камерам стационарной системы видеонаблюдения объекта (при наличии доступа)	быстрое определение очага пожара в здании	выход из строя системы видеонаблюдения при пожаре; дым (продукты горения) поднимается в припотолочное пространство и перекрывает обзор
визуальный поиск (через органы чувств)	обнаружение очага пожара в здании поэтапно – обследование каждого помещения	с развитием пожара ограничивается видимость в дыму пожарных подразделений
поиск с применением технических носимых средств мониторинга (тепловизоров, камер коротковолнового инфракрасного диапазона)	оптическая плотность дыма не уменьшает дальность видимости пожарных подразделений, позволяют определить скрытые очаги пожара в зданиях	увеличение времени приведения в готовность на месте пожара

Анализ применения технических средств мониторинга пожара подробнее приведен в разделе 1.5 настоящей диссертационной работы.

Далее приведем подходы к управлению силами и средствами при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.

Первоочередной задачей пожарных подразделений по прибытии на место пожара является обеспечение безопасности людей в цехах, организации работ по спасению, быстрой ликвидации очагов открытого горения и локализации пожара по всем направлениям, системам и коммуникациям [98].

В связи с множеством возможных путей распространения огня разведку в зданиях проводят по нескольким направлениям одновременно. Для оценки ситуации в зданиях без естественного освещения приходится преодолевать расстояния до 300–400 метров и более. Действия при тушении пожаров в зданиях текстильных производств проводят в условиях сильного задымления, высоких температур, ограниченной видимости и наличия препятствий, прохождение этого пути представляет собой значительную сложность. По этой причине в больших по площади помещениях цехов разведку осуществляют группами разведки, состоящих из нескольких звеньев ГДЗС, разделяя помещение на секторы и определяя кратчайший маршрут для каждой группы.

Если автоматические системы пожаротушения уже справились с открытыми очагами горения, то необходимо их отключить, так как спринклерные системы, дренчеры и подобные установки неэффективны при тушении скрытых очагов возгорания. Более того, они лишь затрудняют действия подразделений ПО при вскрытии конструкций и тушении пожара. Вода, попадающая на перекрытия (особенно в старых зданиях), создает дополнительную нагрузку и может привести к обрушению конструкций.

При организации разведки и тушения пожаров в зданиях необходимо предусмотреть резервные звенья ГДЗС.

В процессе разведки пожара важно правильно определить подходящие огнетушащие вещества, интенсивность их подачи в зависимости от горючей нагрузки в зданиях. Также необходимо обеспечить защиту личного состава и соседних помещений от ОФП – теплового воздействия.

В процессе осуществления боевых действий по тушению пожаров значительную часть времени занимает вскрытие и разборка конструкций зданий. С организационной точки зрения руководитель тушения пожара (РТП) принимает

решение по повышению номера (ранга) пожара и тем самым привлекает дополнительные силы и средства для выполнения предназначенных задач. В процессе вскрытия необходимо постоянно осуществлять мониторинг за состоянием несущих элементов здания и заранее спланировать маршруты отхода подразделений в случае обрушения или обвала здания. Приступать к разборке конструкций необходимо только при поданном стволе на тушение пожара. Для обеспечения безопасности личного состава при тушении пожара важно соблюдать правила охраны труда [91].

Для тушения пожаров на предприятиях текстильной промышленности, особенно в зданиях хлопчатобумажного и льняного производства, принимаются незамедлительные меры по устранению чрезмерного разлива воды, так как это может послужить фактором обрушения здания, особенно старых деревянных цехов.

В целях успешной и эффективной организации тушения пожаров в зданиях в рамках профессиональной подготовки личного состава ПО [90] проводятся пожарно-тактические учения и решаются пожарно-тактические задачи.

В документах предварительного планирования действий ПО (планы тушения пожаров) должен быть включен «специальный раздел по организации спасательных работ с учетом использования помещений безопасности, кратчайших переходов и подземных туннелей»; «... должны быть тщательно отработаны вопросы удаления дыма и снижения температуры путем регулирования дымовых шахт и люков над зоной горения, а также использования дымососов большой производительности» [98].

1.3. Анализ методов и механизмов для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств

Организационная система управления силами и средствами при пожаре в зданиях – это система, которая включает организованные группы людей (пожарные подразделения) и средства (техника специальное оборудование, в том числе средства мониторинга – ресурсы), выполняющие общую задачу с целью

минимизации ущерба от пожара в зданиях посредством спасения пострадавших и тушения пожара и ликвидации его последствий.

Согласно теории управления организационными системами [15, 81] выделяются следующие функции управления: планирование, организация (как процесс), стимулирование и контроль, которые, в свою очередь, характеризуются механизмами управления.

Для формализации некоторых механизмов функционирования организационными системами (в том числе организационной системой управления силами и средствами при пожаре в зданиях) существует множество методов (способов). Рассмотрим управление организационными системами на примере «классических» методов решения задач распределения ресурсов [80, 150].

В [6] основное внимание уделяется фундаментальным принципам и методам создания и использования бизнес-симуляционных игр, особенно в контексте компьютерной реализации. Авторами предложена единая структура представления этих игр, описано несколько игр и даны рекомендации по их применению. Также в работе рассматривается использование деловых игр в организации и управлении производством, рассматриваются вопросы отбора проектов, экспертизы и финансовых аспектов различных программ.

В [15] представлена общая модель управления организационными системами и обсуждаются различные механизмы контроля, такие как планирование, стимулирование, управление информацией и оптимальные структуры управления.

В [17] рассмотрены основы теории активных систем (раздела теории управления), которая фокусируется на изучении свойств социально-экономических систем и том, как они функционируют в зависимости от деятельности участников.

В [16] основное внимание уделяется разработке и исследованию оптимизационных, теоретико-игровых и имитационных моделей управления экологическими и экономическими системами.

В [32] приводится обзор теории игр касательно к управлению организационными системами. В работе изложены фундаментальные концепции и

результаты применения теории игр в моделях управления организационными системами.

В статье [157] рассмотрены вопросы распределения полномочий по принятию решений внутри иерархий и их влияния на оптимальную структуру организаций. Предполагается, что иерархия определяет полномочия по принятию решений, и исследования сосредоточены на анализе оптимальной иерархической структуры в пределах одной организации.

В монографии [80] обсуждаются современные математические подходы к моделированию рефлексивных процессов в управлении, при этом особое внимание уделяется рефлексивным играм, описывающим взаимодействие субъектов управления; исследован анализ поведения фантомных агентов, информационных и рефлексивных структур и предложено информационное равновесие как решение игры; подчеркнута важность информации и рефлексивного управления в различных системах (организационных, экономических, социальных и др.).

Наиболее простые игровые задачи поиска исследованы в монографии [2]. Некоторые частные результаты теории игр поиска рассмотрены в [97], а их обзор представлен в монографии [46].

В научном издании [80] рассмотрен процесс поиска с позиции теории игр как рефлексивных игр поиска. Игры поиска рассматривались на примере двух взаимодействующих агентов (игроков), которые являются подвижными точками в ограниченном с одной стороны «коридоре». При этом «... уклоняющийся игрок выбирает точку, где он «прячется», ищущий игрок выбирает свою скорость. Каждый из игроков имеет свое представление о представлениях оппонента и т. д. Оказывается, что максимальный целесообразный ранг рефлексии ищущего игрока равен трем, а уклоняющегося – двум» [80].

Игры поиска неподвижных объектов достаточно подробно рассмотрены в монографии [2].

Процесс поиска очага пожара в здании на начальном этапе его развития можно рассмотреть с позиций игры поиска неподвижного объекта. В качестве ищущего игрока выступает группа разведки (1–2 звена ГДЗС), а в качестве

спрятанного объекта O – очаг пожара. Ищущий игрок стремится найти O за минимальное время (решение данной задачи оригинальным способом предложено во второй главе диссертации). Минимизация времени обнаружения пожара может быть достигнута благодаря использованию ресурсов (современных технических средств – тепловизоров, камер КИД).

Процедура распределения ресурсов является одним из этапов процесса принятия решений субъектом управления на пожаре – РТП. В процессе принятия решения отбирается наилучший (оптимальный) вариант. При этом на месте пожара опытный РТП довольно быстро отсеивает неоптимальные варианты из множества возможных решений. Далее из оставшегося множества (как правило, состоящего из 2–3 вариантов) путем сравнения ожидаемого результата процесса тушения пожара (времени обнаружения пожара, времени тушения, распределению оборудования (ресурсов) и др.) выбирает наилучший (оптимальный) вариант.

Итак, в [150] решение задачи распределения ресурсов рассмотрено для простейшей двухуровневой системы, состоящей из субъекта управления (Центра) и объектов управления (однотипных Элементов – Потребителей).

В механизме прямых приоритетов каждому объекту управления – Потребителю – присваивается некий приоритет. С учетом этого субъект управления – Центр – распределяет весь ресурс без остатка между всеми Потребителями [150].

В механизме обратных приоритетов предполагается, что при уменьшении потребности элементов в ресурсе повышается эффективность его использования. Следовательно, при подаче маленькой или очень большой заявки Потребитель получает незначительный ресурс [150].

Конкурсный механизм актуален, когда нужно сохранить объемы заявок, так как Потребителям необходимы ресурсы для конкретных проектов. В таких случаях Центр проводит конкурс, где побудители получают весь необходимый ресурс, а проигравшие – ничего. Потребители предоставляют свои запросы и показатели эффекта Центру, который вычисляет показатель эффективности каждого. Ресурсы распределяются, начиная с самого эффективного, и до тех пор, пока Центр может

удовлетворить их все. Когда ресурса не хватает на следующий запрос, этот Потребитель и последующие не получают ничего [150].

Существуют механизмы открытого управления, цель которых – стимулировать Потребителей сообщать свои реальные потребности при подаче заявок. Один из таких механизмов предполагает последовательное распределение ресурсов. На первом этапе ресурсы делятся поровну между всеми Потребителями. Если заявки Потребителей не превышают определенного порога, они полностью удовлетворяются и их количество уменьшается. На следующем этапе ресурсы снова делятся поровну между оставшимися Потребителями и далее. Такой механизм позволяет разделить потребителей на приоритетных и неприоритетных, обеспечивая точное понимание реальных потребностей каждого. При таком распределении ресурсов информация о запросах Потребителей остается достоверной, и Центр имеет возможность рационально распределить свои ресурсы [150].

В диссертации решается задача управления организационной системой на примере решения задачи распределения ресурсов (пожарных подразделений, их оснащения: дыхательными аппаратами, групповым фонарем, тепловизором, камерой КИД) таким образом, чтобы выполнялись следующие условия в процессе поиска очага и тушения пожара – вероятность обнаружения и вероятность тушения пожара первым подразделением были максимальными ($p_t \rightarrow \max$ и $p_o \rightarrow \max$).

Вероятность тушения пожара в зависимости от нормативного расхода воды приведена в [60]. Эти данные взяты для формирования шкалы вероятностей тушения пожара в здании. Такие же границы предлагается использовать для формирования шкалы вероятности обнаружения пожара.

Вероятность обнаружения пожара рассматривалась в модели поиска очага пожара Топольским Н.Г., Таракановым Д.В. и Михайловым К.А. [142]. Однако в этой модели поиска очага пожара не учитывалась горючая нагрузка в зданиях, которая определяет динамику производительности поиска группами разведки через изменение видимости в дыму.

На основе вероятностей обнаружения и тушения пожаров в зданиях будет возможным предположить какой вид ресурса необходимо использовать на пожаре.

В диссертационной работе распределение ресурсов (технических средств мониторинга) будет строиться на основе вероятностных характеристик при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств.

1.4. Обзор программных средств для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях

Государством постоянно проводится целенаправленная работа по укреплению сил и средств (СиС) обнаружения и тушения пожаров. Наметилась положительная тенденция к снижению основных показателей риска пожаров для населения и объектов экономики, однако в настоящее время информационное, техническое и технологическое обеспечение служб экстренного реагирования не позволяет добиться устойчивого снижения основных показателей риска пожаров и, соответственно, вывести обеспечение пожарной безопасности в РФ на качественно новый уровень.

Таким образом, в концепции общественной безопасности РФ [47] определены 3 основных направления развития реагирования на пожары оперативных подразделений ПО, а именно: информационное, техническое и технологическое. С точки зрения управления оперативными подразделениями, данные направления представляется возможным рассматривать лишь на основе системного анализа, так как изменения в одном из направлений непременно ведет к изменениям и в двух других. Внедрение современных средств сбора информации, необходимой для принятия решений при управлении оперативными подразделениями ПО, то есть, техническое развитие средств пожарной автоматики, мобильных средств мониторинга обуславливает увеличение объема информации для принятия решений, что влечет изменения в технологическом процессе проведения поиска очага пожара в зданиях (в особенности, в условиях задымления).

Рассмотрим программные продукты, созданные для поддержки принятия решений при тушении пожаров в зданиях различного назначения, которые могут

быть использованы для обучения личного состава пожарных подразделений в рамках профессиональной подготовки, а также для сокращения времени разработки и помощи в составлении документов предварительного планирования.

В 2013 году разработана программа «Система моделирования развития и тушения пожаров в зданиях» [129]. Она предназначена для разработки компьютерных документов предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях. Программа позволяет создавать трехмерные модели зданий и при заданных параметрах горючей нагрузки рассчитывать и визуализировать динамику интегральных параметров опасных факторов пожара; динамику параметров развития пожара; необходимые условия локализации и ликвидации пожара.

В 2013 году разработана программа «Расчет параметров тушения пожаров при разных геометрических формах его развития на момент прибытия первых пожарных подразделений» [146]. Она «...позволяет опередить путь, пройденный фронтом пламени на объектах пожара, на момент прибытия первого подразделения ПО в зависимости от: удаленности объекта пожара, скорости движения мобильных средств пожаротушения, времени обнаружения пожара на объекте, времени сообщения о пожаре, времени сбора личного состава, времени развертывания СиС, а также линейной скорости развития пожара» [146]. В программе имеется возможность выбора формы геометрического развития пожара и расчета его площади. От выбора направления введения приборов тушения осуществляется расчет площадей тушения по фронту или по периметру пожара.

В 2014 году разработана программа «Совмещенный график» [33]. Программа предназначена для оценки динамики наращивания фактического расхода огнетушащих веществ, продолжительности основных этапов развития и тушения пожара пожарными подразделениями (время свободного развития пожара, продолжительность локализации и ликвидации пожара). На основе введённых данных осуществляется построение совмещенного графика

изменения площади пожара, площади тушения, требуемого и фактического расходов воды на тушение во времени.

В 2014 году разработана программа «Оценка ОТД» [21]. Программа предназначена для моделирования оперативно-тактических действий пожарных подразделений на этапе предварительного планирования тушения пожара. Моделирование возможно проводить с учётом 17 основных граничных условий (температура воздуха, скорость ветра, тип и уклон местности, высота снежного покрова, погодные условия, возраст, уровень физподготовки, срок службы, использование боевой и специальной одежды, тип средств защиты органов дыхания, перемещение дополнительного оборудования, сопровождение людей, передвигающихся самостоятельно, вынос пострадавших) и одного дополнительного пользовательского, а также постоянных конструктивно-технических и переменных факторов.

В 2015 году разработан программный продукт «Программа для разработки электронной карточки тушения пожара в зданиях» [24]. Программа предназначена для создания документов предварительного планирования действий по тушению пожаров, их сохранения, редактирования и использования на пожаре, а также при отработке действий пожарных подразделений на учениях и занятиях. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: работу с автоматизированными геоинформационными системами; проектирование зданий в режиме 2D и 3D; сохранение проекта в виде файла; проектирование элементов систем внутреннего и наружного противопожарного водоснабжения; разработку элементов эвакуационных систем; отключение и включение элементов по слоям; импорт карточки в текстовый документ.

В 2015 году разработана программа «Виртуальный тактический симулятор ликвидации пожаров в зданиях объектов социальной сферы» [108]. Программа позволяет разрабатывать сценарии возникновения и развития пожара с учетом последовательности сосредоточения СИС пожарных подразделений. Программа предназначена для тактической подготовки пожарных и позволяет

прорабатывать решение практических задач пожаротушения: поиск пострадавших в зданиях с использованием звеньев ГДЗС; спасание людей с использованием пожарной техники и физической силы пожарных; подачу огнетушащих веществ на тушение пожара внутри здания с использованием ручных пожарных стволов.

В 2015 году разработан программный продукт «Программа для оперативного прогнозирования динамики пожара в здании по данным мониторинга температурных полей» [126]. Программа позволяет рассчитывать необходимый ассортимент СИС пожарных подразделений для тушения пожара внутри здания, а также определять временные затраты на реализацию действий пожарных при подаче огнетушащих веществ. Результаты расчета динамики пожара выводятся в виде графиков зависимости параметров пожара от времени с отображением текущих и прогнозных значений.

В 2016 году разработана программа «Автоматизация задачи управления ресурсами гарнизона пожарной охраны» [48]. Программа позволяет соотнести ресурсы пожарно-спасательного гарнизона, дать прогнозную оценку результатов функционирования и определить коэффициенты боеготовности пожарных подразделений. Реализация программы позволила повысить обоснованность принятия управленческих решений в интересах планирования ресурсов гарнизона пожарной охраны.

В 2016 году разработана «Программа для моделирования работы системы поддержки управления ликвидацией пожаров в зданиях» [125]. Программа позволяет пожарным подразделениям отрабатывать действия по тушению пожара в здании на основе моделирования и получения информации о динамике пожара. На основе данных о динамике развития пожара принимаются решения по вероятному расположению очага пожара в здании и выбору оптимального маршрута для пожарных для ликвидации очага.

В 2016 году разработан программный продукт «Расчет NRS» [36], позволяющий выводить схемы развертывания СИС пожарно-спасательных подразделений (ПСП) с указанием параметров. Данный продукт предназначен для

информационно-аналитической поддержки ПСП при тушении пожаров на различных объектах и территориях.

В 2016 году разработан программный продукт «Расчет сил и средств для пожаротушения в зданиях с низкой устойчивостью при пожаре» [119] для информационно-аналитического сопровождения функционирования системы управления пожарными подразделениями при тушении пожаров и аварийно-спасательных работах в зданиях жилого сектора. Программа обеспечивает следующие функции: работа в адресном и безадресном режимах; работа с оператором в диалоговом окне: объект (возможного) пожара; место его расположения; расчет сил и средств по введенным оператором данным; информация о процессе распространения опасных факторов пожара и процессе пожаротушения, соответствующая сценарию развития пожара; передача информации дежурно-диспетчерским службам; распечатка выводимой информации; сохранение расчета в памяти ЭВМ.

В 2016 году разработана «Программа для компьютерного моделирования и визуализации действий пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров в зданиях и сооружениях» [49]. В программе предусмотрены возможности моделирования последовательных и параллельных структур реализации оперативно-тактических действий ПСП. Программное средство предназначено для разработки замыслов пожарно-тактических учений с использованием новых компьютерных технологий и для оценки полученных результатов в ходе учений и подведения их итогов.

В 2017 году разработана программа «Расчет NRS(L)» [35], позволяющая выводить схемы развертывания СиС ПСП с указанием параметров, таких как фактический расход, необходимый напор на насосе пожарного автомобиля и количество рукавов от водоисточника до места пожара. Данный продукт предназначен для информационно-аналитической поддержки ПСП при тушении пожаров на различных объектах и территориях, где необходимы большие расходы огнетушащих веществ.

В 2017 году разработана программа «Электронный помощник в решении пожарно-тактических задач» [147]. В программе заложены функции по проведению расчета СиС при тушении пожаров в зданиях и сооружениях, расчета параметров пожара до и после момента введения сил и средств подразделениями ПО, расчеты параметров работы личного состава ГДЗС в непригодной для дыхания среде и многие другие. Программа предназначена для помощи будущим РТП в обучении личного состава для повышения уровня профессиональной подготовки.

В 2019 году разработано программное средство «Расчет поправочных коэффициентов для времени выполнения нормативов по пожарно-строевой подготовке и отдельных аварийно-спасательных работ «Норматив 2.0» [23]. В программном средстве заложены функции по автоматизированному определению поправочных коэффициентов для упражнений. Программа предназначена для обучения и повышения уровня профессиональной подготовки личного состава. Помимо того, «...возможно использование программы при разработке документов предварительного планирования боевых действий пожарных подразделений для оценки параметров времени и трудоемкости выполняемых работ» [23].

В 2021 году разработана программа «Карта пожарного: Менеджер данных» [51]. Она «...предназначена для ведения базы данных пожарно-тактической информации в районе выезда пожарного подразделения – сведений об источниках наружного противопожарного водоснабжения, зданиях и сооружениях, документах предварительного планирования боевых действий по тушению пожаров. Функциональные возможности программы: добавление, изменение, удаление и визуализация сведений об объектах, представляющих интерес при тушении пожаров, расположенных в районе выезда пожарного подразделения» [51].

В 2021 году разработана программа «Карта пожарного: Мобильное приложение» [52]. Она «...предназначена для доступа к сведениям об источниках наружного противопожарного водоснабжения, зданиях и

сооружениях, документах предварительного планирования боевых действий по тушению пожаров, при помощи мобильных устройств. Функциональные возможности: визуализация сведений об объектах, представляющих интерес при тушении пожаров, расположенных в районе выезда пожарного подразделения» [52].

В 2021 году разработана программа «Программный модуль определения безопасных маршрутов движения внутри здания при возникновении пожара» [151]. Она «...предназначена для поиска безопасных и непересекающихся маршрутов движения внутри здания при возникновении пожара для эвакуирующихся из здания людей и ПСП, следующих к очагу пожара (или иному месту внутри здания) при возникновении пожара. Программа позволяет определить безопасные маршруты движения внутри здания для ситуации, при которой возник пожар, люди эвакуируются по путям эвакуации, к этому моменту уже прибыли ПСП и им необходимо организовать первичные оперативно-тактические действия (спасание людей и ограничение/локализация/ликвидация очага пожара)» [151].

В 2021 году разработана программа «Анализ организации пожаротушения в программной среде Python («Пожаротушение – Python»)» [20]. В ней реализованы функции по статистической обработке данных о пожарах, построении на основе их анализа математических зависимостей. На основе полученных результатов разрабатываются управленческие решения для совершенствования деятельности ПСП, совершенствования профессиональной подготовки пожарных.

В 2021 году разработана программа «Программный комплекс распределения ресурсов пожарных подразделений при одновременных вызовах, построенный на основе машинообучаемой транспортной модели» [18]. Программа предназначена для оптимального распределения ресурсов пожарных подразделений по вызовам на пожар. Программный комплекс позволяет обучать транспортную модель (обратная задача) и оптимально распределять СиС по обученной модели в новых ситуациях.

В 2022 году разработана программа «Пожарный калькулятор» [118]. Программа предназначена для определения тактических возможностей пожарных подразделений по тушению пожаров. «Пожарный калькулятор» возможно использовать как при обучении личного состава в рамках профессиональной подготовки, так и применять руководителем на месте тушения пожара при принятии управленческих решений.

В 2022 году разработана программа «АИГС ГраФиС: Модуль расчета площади тушения пожара» [50]. Программа предназначена для поддержки руководителей пожарной охраны при составлении и анализе компьютерных моделей в АИГС ГраФиС-Тактик. Функциональные возможности: расчет формы и размера площади тушения пожаров.

В 2022 году разработана база данных (БД) «Информационные ресурсы временных параметров реагирования пожарных подразделений с применением единой инфокоммуникационной сети» [45]. БД содержит информацию о временных показателях работы пожарных подразделений с применением инфокоммуникационной сети. Совокупность данных объединена по видам выполняемых действий (обработка заявки о пожаре диспетчером, принятие решений о высылке подразделения, маршрутизация следования к месту вызова, идентификация характеристик объекта, информационное сопровождение) с делением на пять уровней надежности принятия решений 0,8, 0,9, 0,95, 0,99 и 0,999. БД позволяет оперативно получать структурированную информацию о временных показателях, характеризующих действия пожарных подразделений по реагированию на пожар с применением инфокоммуникационной сети. БД позволяет на этапе планирования определять вероятность временных показателей действий по реагированию на пожары и надежность принятия решений для каждого вида выполняемых работ.

В 2022 году разработана БД «Информационные ресурсы для поддержки принятия управленческих решений при организации пожаротушения» [120]. БД содержит информацию об относительной важности действий по тушению крупных пожаров. Совокупность содержащихся данных объединена для

формирования балльных шкал значений показателей действий пожарных подразделений на участках (секторах) тушения крупных пожаров. На основе данных, содержащихся в БД, возможно определить относительную важность действий пожарных подразделений на участках и выполнить их ранжирование для принятия решения по распределению прибывающих СИС пожарных подразделений.

По итогам анализа программных средств выявлено, что в разработанных программных продуктах отсутствует функция по определению вероятности обнаружения пожара в зданиях текстильных производств звеньями ГДЗС с учетом вида ресурсов (тепловизоров, камер КИД).

1.5. Анализ применения технических средств мониторинга пожара в зданиях

В концепции управления пожарными подразделениями при выполнении задач по тушению пожаров в зданиях под мониторингом пожара понимается «...процесс непрерывного сбора данных о динамике пожара, включая обработку, анализ, представление (визуализацию, аудиолизацию) данных с целью обеспечения системы управления действиями по тушению пожара, а также других потребителей результатов мониторинга полной и дифференцированной по иерархии управления информацией о возникновении и прогнозе развития пожара» [106].

В настоящее время существует большое количество различных технических средств мониторинга и обнаружения пожара. По типу они могут быть стационарными (т. е. в составе автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности [138], а именно в автоматизированной системе обнаружения пожара) и мобильными, т. е. носимыми (к ним можно отнести тепловизоры, средства фото- и видеомониторинга на основе коротковолнового инфракрасного диапазона).

На основе анализа источника [98] построена схема применения средств мониторинга пожарными подразделениями при выполнении действий по тушению пожаров в зданиях (рисунок 1.9).

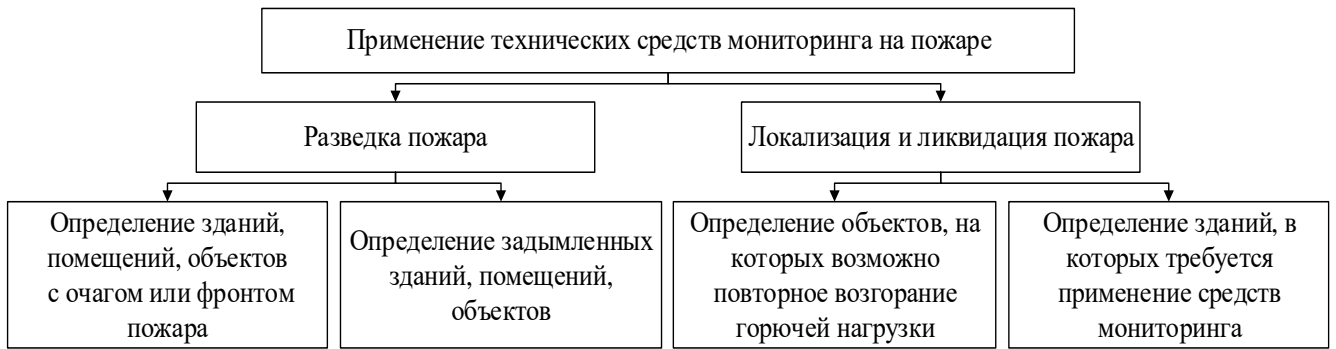


Рисунок 1.9 – Схема применения средств мониторинга на пожаре

Проведен анализ электромагнитного спектра диапазона оптического излучения. На основе источников определено, что коротковолновый инфракрасный диапазон (КИД) – это инфракрасное излучение со значением длины волны в диапазоне от 0,7 до 2,5 мкм [112, 156]. В средствах визуализации на основе КИД используются сенсоры на основе арсенида индия-галлия (InGaAr). КИД близок к видимому диапазону, где фотоны либо отражаются, либо поглощаются объектами [112, 153–155, 158]. Это, в свою очередь, позволяет обеспечивать широкий динамический диапазон, который дает возможность воспроизвести изображение с высоким разрешением. Средства визуализации на основе КИД [55, 112, 145, 156, 161, 162] могут иметь сравнительно невысокие массово-габаритные характеристики и сравнительно высокие показатели энергоэффективности, при этом выполняя требуемые функции.

В работах [40, 42, 85, 137] предлагается использование коротковолновых инфракрасных модулей, модулей ближней радиолокации в функциональных подсистемах автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности по осуществлению мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров. Разработаны программный комплекс мониторинга территории потенциально опасных объектов и система информационной поддержки принятия решений, реализующие процесс мониторинга пожара в здании с использованием инфракрасных технологий [76].

В работе [44] проведен обзор тепловизоров, используемых пожарными подразделениями, сформулированы требования к пожарным тепловизорам и

предложена классификация пожарных ручных тепловизоров на основе их назначения и применения.

В работах [5, 105] проведено исследование мобильных технических средств мониторинга (тепловизоров и камер КИД) для обнаружения очага пожара при работе пожарных подразделений в условиях задымления. Результаты обработки экспериментальных данных по определению дальности видимости средствами мониторинга с помощью методов факторного анализа опубликованы в [75].

На основе результатов экспериментального исследования по определению дальности видимости средствами мониторинга выдвинуты две гипотезы:

1) нулевая гипотеза H_0 : при отсутствии задымления отличий в дальности видимости между средствами мониторинга нет или отличия не существенны;

2) альтернативная гипотеза H_1 : при отсутствии задымления отличия в дальности видимости между средствами мониторинга существенны.

На основе анализа результатов экспериментального исследования, которые изложены в [75], сделан вывод, что фактор – оптическая плотность дыма – существенно влияет на дальность видимости, так как получены соотношения критериев Фишера $F_{крит} < F$ для каждого из технических средств мониторинга (тепловизора, камеры КИД).

В соответствии с разработанной моделью [142] получена следующая формула для определения дальности D видимости в дыму:

$$D = D^* + (D_0 - D^*)(\exp(-\mu)), \quad (1.3)$$

где D – дальность видимости группы разведки пожара, м;

D^* – начальная видимость в дыму, м;

D_0 – видимость в дыму с применением технических средств мониторинга, м;

μ – оптическая плотность дыма, Нп/м.

Далее проведена цифровая обработка экспериментальных данных с доверительной вероятностью 0,95 для построения зависимости дальности видимости средствами мониторинга от значения оптической плотности дыма.

Значения дальности видимости D будут характеризоваться кортежем:

$$\langle D(\text{inf}), D_{\text{cp}}, D(\text{sup}) \rangle, \quad (1.4)$$

где $D(\text{inf})$ – нижняя граница дальности видимости (infimum) при доверительной вероятности 0,95;

D_{cp} – среднее значение дальности видимости;

$D(\text{sup})$ – верхняя граница дальности видимости (supremum) при доверительной вероятности 0,95.

На рисунке 1.10 приведен график зависимости дальности видимости от оптической плотности дыма, построенный на основе результатов экспериментального исследования [5, 105].

По графику можно сделать вывод, что дальность видимости средством мониторинга подчиняется интегральному закону распределения, т. е. зависит от параметра оптическая плотность дыма. Полученные в ходе экспериментального исследования [5, 105] данные находятся в пределах доверительного интервала теоретической модели, что говорит о хорошей сходимости результатов и подтверждения принятой модели.

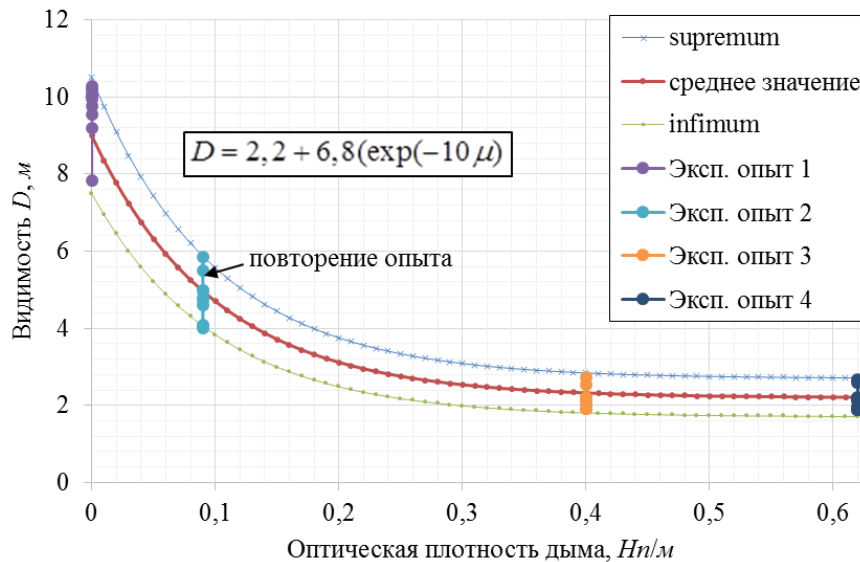


Рисунок 1.10 – Динамика дальности видимости в дыму камерой видимого диапазона

В работе [70] автором проведено планирование двухфакторного эксперимента для управления ходом экспериментального исследования при оценке влияния условий информационного обеспечения и степени видимости в дыму на

процесс поиска очага пожара в здании, определено минимальное количество повторений опытов, достаточных для получения однородных данных. Построена линейная двухфакторная регрессионная модель с эффектом взаимодействия факторов. Получены вариационные оценки коэффициентов исследуемых факторов и проведен статистический анализ значимости факторов модели, на основе критерия Пирсона выполнена оценка адекватности модели.

1.6. Анализ процесса организации поиска пожаров в зданиях текстильных производств

Цель метода заключается в изучении, отображении и обеспечении технологии процесса поиска причин, оказывающих влияние на принятие управленческих решений пожарными подразделениями при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств.

Назначение метода заключается в получении достоверной информации, необходимой для принятия управленческих решений ПСП при работе на пожарах в зданиях текстильных производств.

Разработана и построена причинно-следственная диаграмма Исикавы [41] для определения причин, оказывающих влияние на процесс организации поиска очага пожара в зданиях текстильных производств (рисунок 1.11).

При анализе исследовались следующие факторы, оказывающие влияние на процесс поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара в зданиях текстильных производств:

- пожарный-спасатель;
- способы поиска очага пожара;
- средства мониторинга и обнаружения пожара;
- окружающая среда;
- объект защиты;
- управление.

Результаты проведенного анализа позволили определить взаимосвязь между факторами и сопоставить их относительную важность по следующим ключевым причинам:

1. Пожарный-спасатель.
2. Способы поиска очага пожара:
 - 2.1. Поиск очага пожара с использованием специальных приборов:
 - 2.1.1. Инфракрасные.
3. Приборы мониторинга и обнаружения:
 - 3.1. Вывод качественного изображения.
4. Окружающая среда:
 - 4.1. Диапазон температур:
 - Влияние на пожарных-спасателей.
 - 4.2. Площадь поиска.
 - 4.3. Задымленность.
5. Объекты защиты:
 - 5.1. Здания текстильных производств.
6. Управление.

Результаты анализа процесса поиска очага пожара в зданиях текстильных производств показали, что необходима разработка моделей, алгоритмов и программ для поддержки принятия решений при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств. Совокупность моделей, алгоритмов и программ позволит решать ряд важных задач как на этапе предварительного планирования действий при тушении пожаров, так и непосредственно при тушении пожара в зданиях: вести поиск очага пожара в зданиях текстильных производств с использованием технических средств мониторинга КИД, определять действия пожарных подразделений на начальном этапе тушения пожара в зданиях текстильных производств, идентифицировать объекты в условиях задымления с применением технических средств мониторинга на основе КИД.

Проанализирована схема оценки тактических возможностей подразделений ПО при тушении пожаров, предложенная Подгрушным А.В. [99, 100]. На рисунке 1.12 приведена доработанная схема определения тактических возможностей пожарных подразделений с учетом параметра дальности видимости при выполнении действий по тушению пожаров в зданиях.



Рисунок 1.12 – Схема определения тактических возможностей пожарных подразделений при тушении пожаров в зданиях

На схеме (рисунок 1.12) приняты следующие обозначения: $N_{чел}$ – количество участников тушения пожара; $N_{ств}$ – количество поданных стволов; $N_{тех}$ – количество работающей техники; Q – расход воды, подаваемой на тушение, л/с; S_n – площадь пожара на момент его обнаружения, m^2 ; $t_{своб}$ – время свободного развития пожара, с; $V_{лок}$ и $V_{ликв}$ – соответственно скорость тушения в периоды локализации и ликвидации пожара; $t_{лок}$ и $t_{ликв}$ – соответственно время локализации и ликвидации пожара, с; $S_{туш}$ – площадь тушения пожара, m^2 ; U – производительность поиска очага пожара, $m^2/мин$; D – дальность видимости, м; τ – время поиска очага пожара, мин; TB – показатель уровня реализации тактических возможностей подразделения; E_t – критерий эффективности действий пожарных подразделений.

На схеме (рисунок 1.12) пунктиром выделен блок, предлагаемый Терехневым В.В., Подгрушным А.В., Таракановым Д.В., Михайловым К.А. для учета в критерии эффективности пожарных подразделений параметра дальности видимости D . Соответственно, здесь учитывается информационное обеспечение групп разведки пожара, состоящее в наличии технических средств мониторинга КИД, данные по экспериментальному исследованию которых подробно приведены в работе [75].

1.7. Выводы по первой главе

В первой главе на основе анализа организационной системы при тушении пожаров в зданиях текстильных производств получены следующие результаты.

1. Выполнен анализ пожаров в зданиях текстильных производств, который показал, что пожары на данных объектах являются сложными для тушения и наносят значительный материальный и экологический ущерб.

Здания текстильных производств оборудованы техническими системами мониторинга пожара, в том числе системы пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Согласно анализу, в большинстве зданий текстильных производств установлены дымовые извещатели линейного типа, тем самым не представляется возможным применить метод поиска очага пожара по сети точечных извещателей.

Согласно анализу, на текстильных предприятиях преобладает производство хлопчатобумажных изделий, что обуславливает повышенную пожарную опасность зданий и поддержание в них искусственного микроклимата. При горении хлопчатобумажных изделий выделяется большое количество дыма, пожарным подразделениям необходимо вести боевые действия по тушению пожара, а также выполнять задачу по поиску очага пожара в условиях задымления в зданиях, что требует привлечения дополнительных ресурсов и механизмов управления ресурсами в части их обоснованного выбора.

2. Рассмотрены методы и механизмы управления ресурсами, которые применимы для организационной системы управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств. Выбрана вероятностно-статистическая теоретическая основа для разработки оптимизационной модели принятия решений. Выбор обоснован путем анализа модели функционирования (боеспособности) пожарных подразделений. Для практического применения модели и решения трудоемких вычислительных задач необходима ее программная реализация.

4. Выполнен анализ технических средств мониторинга пожара в зданиях текстильных производств. Анализ показал, что для применения пожарными подразделениями наиболее перспективными являются технические средства

мониторинга, такие как тепловизоры и камеры коротковолнового инфракрасного диапазона.

5. Выполнен системный анализ процесса организации тушения пожаров в зданиях текстильных производств. Анализ показал, что для снижения ожидаемой площади пожара в зданиях, материального ущерба от пожаров, времени обнаружения и тушения пожаров в зданиях текстильных производств необходимо комплексно рассмотреть процесс поиска очага пожара оперативными подразделениями, оснащенными техническими средствами мониторинга.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Во второй главе диссертации разработаны модель и алгоритм для решения задач управления ресурсами при предварительном планировании действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств.

С этой целью проведен анализ следующих составляющих: показатель тактических возможностей по поиску очага пожара в зданиях текстильных производств звеньями ГДЗС, общий объем работы по поиску очага пожара в зданиях текстильных производств и вероятностная оценка успеха при выполнении объема работы. Анализ позволил предложить математическую модель поиска очага пожара для принятия решений по распределению ресурсов при тушении пожаров в зданиях текстильных производств звеньями ГДЗС. Основным достоинством рассматриваемой модели является учет динамики производительности поиска при снижении видимости в дыму в результате горения различной горючей нагрузки, характерной для зданий текстильных производств.

2.1. Формализация задачи построения модели для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств

Авторы научной статьи [112] отмечают, что «специфика работы пожарных подразделений при тушении пожаров в зданиях определяет ряд факторов, усложняющих данный процесс. Во многих практических случаях, рискуя собственной жизнью, пожарные подразделения (звенья ГДЗС) проводят работы под воздействием опасных факторов пожара (ОФП). Отсутствие достаточных условий видимости при тушении пожара является одновременно фактором, снижающим эффективность действий, и фактором, определяющим особые

психологические условия, в которых пожарным приходится принимать ответственные решения.

В свою очередь обстановка с пожарами в Российской Федерации определяет необходимость постоянного повышения уровня готовности к борьбе с ними. Одним из направлений повышения эффективности действий по тушению пожаров, проводимых участниками тушения пожаров (УТП) в условиях воздействия ОФП в зданиях, является совершенствование информационного обеспечения. Однако, информация, являясь одним из важнейших видов ресурсов для эффективного проведения действий по тушению пожара, в случае ее избыточности или противоречивости может привести к снижению оперативности принимаемых УТП решений, что в условиях воздействия на них ОФП крайне нежелательно. Поэтому любые дополнительные средства информационного обеспечения действий по тушению пожара, приводящие к увеличению объема информации, должны быть критически оценены с точки зрения эффективности их применения. В практике совершенствования информационного обеспечения действий по тушению пожара сформированы процедуры оценки действий по тушению пожара на основе показателей тактических возможностей пожарных подразделений. В контексте работы под пожарными подразделениями понимаются группы разведки пожара, состоящие из 1, 2 или 3 звеньев ГДЗС».

Тактические возможности пожарных подразделений зависят от многих факторов, которые приведены в виде схемы на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема «факторы – тактические возможности» [112]

В статье [112], отмечено, что «целью исследования является определение тактических возможностей групп разведки пожара на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств с использованием ресурсов (группового фонаря, тепловизора или камеры КИД).

Для достижения поставленной цели необходимо модифицировать показатель тактических возможностей пожарных подразделений, представляющий собой вероятность обнаружения пожара в здании, на предмет его использования при предварительном планировании действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств» [112].

При использовании средств мониторинга КИД в условиях задымления группы разведки пожара могут:

- своевременно обнаружить, локализовать и ликвидировать пожар;
- своевременно обнаружить и спасти пострадавших, которые находятся под воздействием ОФП.

Для решения поставленной задачи проведено моделирование процесса поиска очага пожара для дальнейшего определения тактических возможностей групп разведки пожара в зданиях текстильных производств с использованием различных видов ресурсов: группового фонаря, тепловизора или камеры КИД.

Использование технических средств мониторинга на основе КИД позволяет повысить тактические возможности подразделений ПО при поиске очага пожара в здании звеньями ГДЗС, так как необходимо обследовать значительную площадь зданий в условиях задымления [123]. Поэтому в практике использования технических средств мониторинга используются вероятностные модели на основе понятия «надежность разведки очага пожара». Надежность разведки очага пожара определяется в зависимости от оснащённости и количественного состава групп разведки пожара в здании.

В основе модели для оценки надежности разведки очага пожара в здании находятся показатели процесса: производительность поиска, площадь поиска и время поиска.

Производительность поиска U очага пожара в здании определяется по формуле [30]:

$$U = V_{\text{об}} ((m-1)d + 2D), \quad (2.1)$$

где $V_{\text{об}}$ – скорость движения звена ГДЗС, м/мин; m – количество звеньев ГДЗС; d – эффективное расстояние между звеньями ГДЗС в группе разведки, м; D – дальность видимости группы разведки пожара, м.

При использовании технических средств мониторинга на основе КИД пожарными в составе звеньев ГДЗС в (2.1) улучшатся условия видимости и увеличится скорость движения звена, что повышает производительность поиска звеньев ГДЗС [112].

Графическое представление производительности поиска (U , $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$) очага пожара в здании в виде прямоугольников [112] приведено на рисунке 2.2.

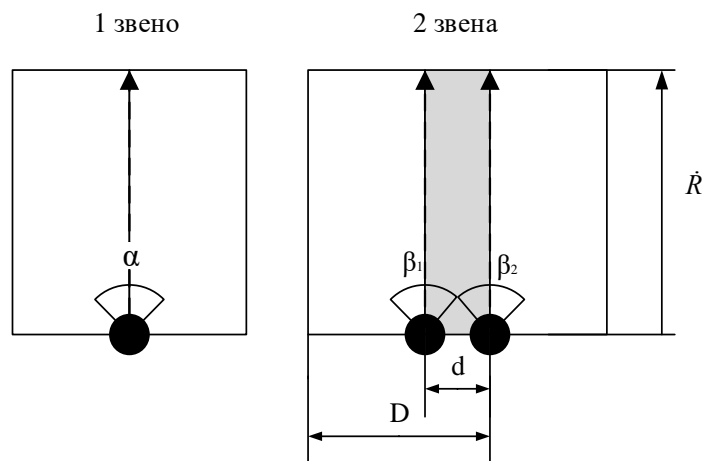


Рисунок 2.2 – Графическая интерпретация производительности поиска [112]

На рисунке 2.2 использованы следующие обозначения: \hat{R} – направление движения группы разведки в составе звеньев ГДЗС при поиске очага пожара; α , β_1 , β_2 – соответственно углы обзора звеньев ГДЗС при поиске очага пожара.

Площадь обследуемой зоны $S_{\text{ГДЗС}}$ (м^2) поиска очага пожара звеном ГДЗС в процессе разведки пожара за время τ оценивается соотношением:

$$S_{\text{ГДЗС}} = U \cdot \tau. \quad (2.2)$$

Вероятность обнаружения очага пожара p – надежность разведки очага пожара (выражение 2.3) при статичных условиях поиска очага:

$$p = 1 - \exp\left(-\frac{U\tau}{S}\right). \quad (2.3)$$

Тогда величину $q = 1 - p$ (вероятность неудачи при обнаружении очага пожара) определяют по формуле:

$$q = \exp\left(-\frac{U\tau}{S}\right) \quad (2.4)$$

Путем преобразования выражения (2.4) получим наилучшее время τ проведения разведки очага пожара на площади S группой разведки в составе m звеньев ГДЗС с производительностью поиска (U , м²·мин⁻¹):

$$\tau = \frac{S}{U} \ln\left(\frac{1}{1-p}\right). \quad (2.5)$$

Одним из основных недостатков данной модели является статичный характер условий поиска, что в некоторых случаях проведения разведки является обоснованным (видимость в процессе пожара изменяется незначительно), но в некоторых случаях не обоснованным, когда видимость существенно изменяется именно в процессе поиска. Такая ситуация с динамикой видимости наблюдается при развитии пожаров на объектах текстильных производств, где в одних помещениях горячая нагрузка при возникновении пожара в короткие сроки приводит к минимальной видимости, в других помещениях горячая нагрузка определяет плавное ухудшение условий видимости в процессе развития пожара. Поэтому теоретической задачей является совершенствование вероятностной модели для оценки надежности разведки пожара в здании путем учета динамики видимости и, как следствие, динамики производительности поиска групп разведки. Для этого выполним детальный анализ модели и предложим ее более общий вид, позволяющий учитывать динамику видимости в процессе разведки пожара в зданиях текстильных производств. Стоит отметить, что условия развития пожара в зданиях текстильных производств по динамике пожара могут совпадать и с другими объектами защиты, что определяет возможность использования полученного научного результата в общем виде.

2.2. Модель поиска очага пожара в зданиях текстильных производств

При тушении пожаров в зданиях текстильных производств необходимо вести боевые действия в условиях ограниченной видимости, что влияет на эффективность проводимых мероприятий. Одним из направлений повышения эффективности является совершенствование информационного обеспечения пожарно-спасательных подразделений [28, 70, 74, 113, 143]. Примером является использование новых видов ресурсов (тепловизоров и камер коротковолнового инфракрасного диапазона) непосредственно пожарными при поиске очага пожара в зданиях [105, 112]. Однако далеко не все подразделения ПО оснащены этими видами ресурсов.

В свою очередь планирование действий по тушению пожара в зданиях должно учитывать фактическую оснащенность подразделений и их готовность к использованию ресурсов [34]. При этом в ходе планирования осуществляется прогноз различных параметров работы пожарно-спасательных подразделений:

- возможная площадь пожара на момент его обнаружения $S_{п}$ [43, 53];
- время разведки в непригодной для дыхания среде [26, 31];
- время локализации $t_{лок}$ и ликвидации пожара $t_{ликв}$ [117];
- вероятность обнаружения очага пожара p_o [105];
- и другие.

Поэтому для поддержки принятия решений на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров необходимо разработать модель поиска очага пожара в зданиях на основе вероятности p_o обнаружения очага пожара в зданиях с учетом динамики производительности U поиска групп разведки.

Рассмотрим модель поиска пожара в зданиях, основанную на трех составляющих:

- 1 – показатель тактических возможностей по поиску очага пожара в здании m звеньями ГДЗС;
- 2 – общий объем работы по поиску очага пожара в здании;
- 3 – вероятностная оценка успеха при выполнении объема работы.

Фронт поиска очага пожара (F) определяется в зависимости от количественного состава группы разведки (m), эффективного расстояния между звеньями ГДЗС в группе разведки (d) и дальности видимости каждого из звеньев (D). В общем случае стоит отделять видимость с каждой из сторон группы разведки в отдельности, тогда дополнительно рассмотрим (D_R) и (D_L), дальность видимости слева (L – left) и дальность видимости справа (R – right). Тогда фронт поиска очага пожара (F) будем определять по формуле:

$$F = (m - 1) d + D_L + D_R, \quad (2.7)$$

где D_R и D_L – видимость слева и справа относительно центра группы разведки, м.

Так, на рисунке 2.3 фронт поиска очага пожара (F) представляет собой отрезок (AQ), и его направление соответствует оси аппликат (Oz).

Производительность поиска группой в составе m звеньев ГДЗС при поиске очага пожара (U) представляет собой произведение фронта поиска (F) и произведение скорости движения (V) группы разведки определяется по формуле:

$$U = ((m - 1) d + D_L + D_R) V. \quad (2.8)$$

Представим на рисунке 2.4 площадь разведки пожара при постоянной производительности поиска группой разведки (U). Производительностью в начале будет площадь фигуры $ABCQ$, и в момент времени (τ) – это площадь фигуры $KIET$.

Тогда путь группы при поиске очага пожара в здании (L) будет представлять собой произведение скорости движения группы разведки (V) и времени поиска очага (τ) по формулам $L = V \cdot \tau$, соответственно на рисунке 2.4 это фигура ($AKIB$). На рисунке 2.4 скорость движения группы разведки к очагу пожара (V) представляет собой отрезок (AB), и его направление соответствует оси абсцисс (Ox), а время поиска очага пожара – отрезок (AK), и его направление соответствует оси ординат (Oy).

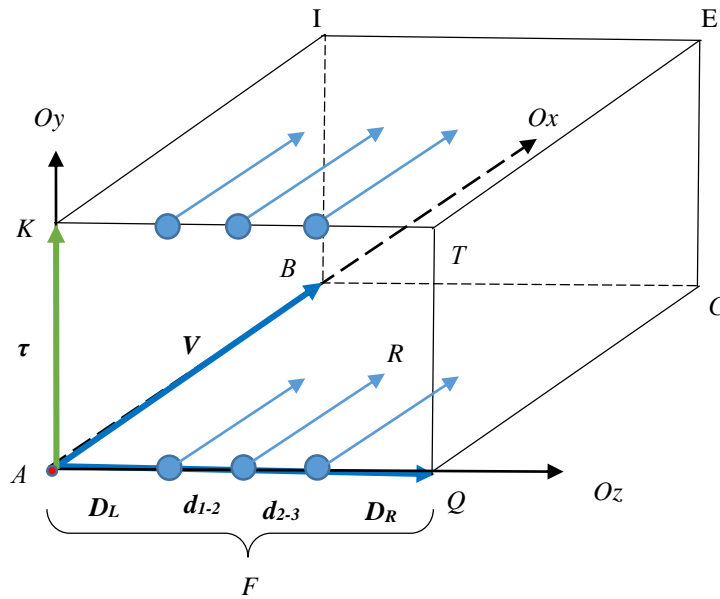


Рисунок 2.4 – Площадь разведки пожара при постоянной производительности поиска группой разведки

Тогда площадь, пройденная группой разведки за время (τ), представляет собой произведение производительности поиска группы разведки (U) на время (τ) или, что эквивалентно произведению пути, пройденного группой разведки (L), на фронт поиска (F) и записывается формулой:

$$S = ((m-1)d + D_L + D_R)V\tau. \quad (2.9)$$

На рисунке 2.4 площадь поиска группы разведки (S) – это объем фигуры ($AKIBCEIQ$).

Для учета динамики производительности поиска U группой разведки пожара в здании примем зависимость производительности поиска от искомой вероятности неудачи q :

$$U = U_0 + (U^* - U_0)q, \quad (2.10)$$

где U_0 – минимальное (при видимости, стремящейся к 0) значение производительности поиска очага пожара в здании группами разведки, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$;

U^* – максимальное (начальное) значение производительности поиска очага пожара, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$.

Для наглядности покажем изменение (динамику) производительности поиска во времени на рисунке 2.5.

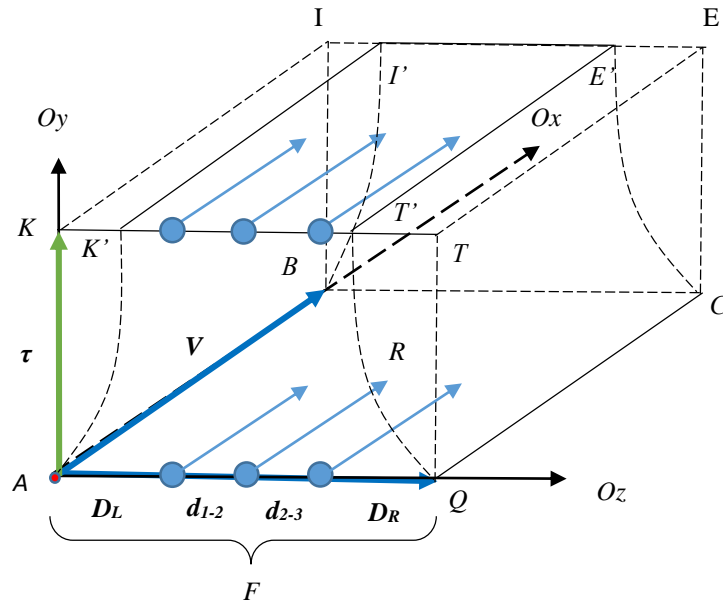


Рисунок 2.5 – Площадь разведки пожара при динамической производительности поиска группой разведки

Получили: максимальное (начальное) значение производительности поиска очага пожара – это площадь фигуры $(ABCQ)$, а минимальное значение производительности поиска очага пожара в здании группами разведки – площадь фигуры $(K'I'E'T')$.

Таким образом, вероятность неудачи при обнаружении очага пожара в здании пожарными подразделениями представляет собой дифференциальное уравнение:

$$S \frac{dq}{d\tau} = -U_0 q - U^* q^2 + U_0 q^2, \quad (2.11)$$

где S – расчетная площадь поиска очага пожара, m^2 ; q – вероятность неудачи при обнаружении очага пожара; U_0 – минимальное (при видимости, стремящейся к 0) значение производительности поиска очага пожара в здании группами разведки, $m^2 \cdot \text{мин}^{-1}$; U^* – максимальное (начальное) значение производительности поиска очага пожара, $m^2 \cdot \text{мин}^{-1}$.

Решим уравнение (2.11) при начальных условиях: $\tau = 0$; $q_0 = 1$.

1 способ решения. Выполним следующие преобразования над (2.11):

$$\frac{dq}{d\tau} = -\frac{U_0}{S} \left(\frac{U_0}{U_0} q + \frac{U^*}{U_0} q^2 - q^2 \right); \quad (2.12)$$

$$\frac{dq}{d\tau} = -\frac{U_0}{S} \left(q + q^2 \left(\frac{U^*}{U_0} - 1 \right) \right). \quad (2.13)$$

Пусть $b = \frac{U^*}{U_0} - 1$, $b > 0$, тогда выражение (2.13) будет иметь вид:

$$\frac{dq}{d\tau} = -\frac{U_0}{S} (q + bq^2). \quad (2.14)$$

Разделим переменные:

$$\frac{dq}{(q + bq^2)} = -\frac{U_0}{S} d\tau. \quad (2.15)$$

Правая часть уравнения равна соответственно:

$$-\int_0^\tau \frac{U_0}{S} d\tau = -\frac{U_0 \tau}{S} + 0 = -\frac{U_0 \tau}{S}. \quad (2.16)$$

Левая часть уравнения является табличным интегралом вида:

$$\int \frac{dq}{Aq^2 + Bq + C} = \frac{1}{D} \cdot \ln \left(\frac{2Aq + B - D}{2Aq + B + D} \right) + Const, \quad (2.17)$$

здесь D – дискриминант квадратного уравнения $D = \sqrt{B^2 - 4AC}$.

В рассматриваемом случае $A = b$; $B = 1$; $C = 0$, тогда $D = B = 1$, и интеграл примет вид с учетом границ интегрирования от q_0 до q , тогда:

$$\int_{q_0}^q \frac{dq}{bq^2 + q} = \ln \left(\frac{bq}{bq + 1} \right) - \ln \left(\frac{bq_0}{bq_0 + 1} \right). \quad (2.18)$$

Окончательно получим:

$$\int_{q_0}^q \frac{dq}{bq^2 + q} = \ln \left(\frac{q(bq_0 + 1)}{q_0(bq + 1)} \right). \quad (2.19)$$

В итоге уравнение (2.15) будет иметь вид:

$$\ln \left(\frac{q(bq_0 + 1)}{q_0(bq + 1)} \right) = -\frac{U_0 \tau}{S}. \quad (2.20)$$

В правой части уравнения (2.20) числитель дроби $U_0\tau = S_0$ представляет собой площадь, которую может обследовать группа разведки пожара за время τ , при минимальной производительности поиска ($U_0, \text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$), а знаменатель – все та же площадь, на которой необходимо отыскать очаг пожара.

Пропотенцируем левую и правую часть уравнения (2.20), получим:

$$\frac{q(bq_0 + 1)}{q_0(bq + 1)} = \exp\left(-\frac{U_0\tau}{S}\right). \quad (2.21)$$

Для удобства запишем результат следующим образом:

$$\frac{q}{bq + 1} = \left(\frac{q_0}{bq_0 + 1}\right) \cdot \exp\left(-\frac{U_0\tau}{S}\right). \quad (2.22)$$

Обозначим $K = \exp\left(\frac{U_0 \cdot \tau}{S}\right)$ и с учетом того, что $q_0 = 1$, получим уравнение:

$$\frac{q}{bq + 1} = \frac{1}{K(b + 1)}. \quad (2.23)$$

Выполним над уравнением (2.23) ряд элементарных математических преобразований, получим:

$$q = \frac{bq}{K(b + 1)} + \frac{1}{K(b + 1)}. \quad (2.24)$$

Избавимся от дроби в левой части уравнения:

$$q - \frac{bq}{K(b + 1)} = \frac{1}{K(b + 1)}. \quad (2.25)$$

Вынесем искомую функцию q за скобку:

$$q \left(\frac{K(b + 1) - b}{K(b + 1)} \right) = \frac{1}{K(b + 1)}. \quad (2.26)$$

Окончательно получим аналитическое решение уравнения для надежности поиска очага пожара (2.11):

$$q = \frac{1}{K + bK - b}. \quad (2.27)$$

Теперь найдем аналитическое выражение для определения вероятности обнаружения очага пожара ($p = 1 - q$):

$$p = 1 - \frac{1}{K + bK - b}. \quad (2.28)$$

Тогда динамику производительности поиска U от времени с учетом (2.27) по формуле (2.10) можно записать следующим образом:

$$U = U_0 \left(1 + \frac{1}{K + bK - b} \right). \quad (2.29)$$

Используя элементарные математические преобразования, получим:

$$U = U_0 \left(\frac{K(1+b)}{K(1+b) - b} \right). \quad (2.30)$$

2 способ решения.

Решим уравнение (2.11) вторым способом. Выполним следующие преобразования:

$$\frac{dq}{d\tau} = -\frac{U_0}{S} \left(q + q^2 \left(\frac{U^*}{U_0} - 1 \right) \right). \quad (2.31)$$

Пусть $b = \frac{U^*}{U_0} - 1$, $b > 0$, тогда выражение (2.31) будет иметь вид:

$$\frac{dq}{d\tau} = -\frac{U_0}{S} (q + bq^2). \quad (2.32)$$

Далее выполним некоторые преобразования и получим:

$$\frac{dq}{d\tau} + \frac{U_0}{S} q + \frac{U_0}{S} bq^2 = 0. \quad (2.33)$$

Выполним следующие замены переменных: $q = y$, $\frac{dq}{d\tau} = y'$, $\tau = x$, $\frac{U_0}{S} = z$, получим

однородное дифференциальное уравнение вида:

$$y' + zy + bzy^2 = 0. \quad (2.34)$$

Решением данного уравнения будет:

$$y = \frac{1}{C \exp(zx) - b}. \quad (2.35)$$

С учетом начальных условий $\tau = 0$; $q_0 = 1$; $p_0 = 0$ запишем $x = 0$, $y = 1$ и решим уравнение (2.35) относительно C . Получили, что $C = 1 + b$, и соответственно

$$y = \frac{1}{\exp(zx) + b \exp(zx) - b}. \quad (2.36)$$

Произведем обратную замену переменных y , z , x , и выражение 2.36 примет следующий вид:

$$q = \frac{1}{\exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right) + b \exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right) - b}, \quad (2.37)$$

Выразим $K = \exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right)$,

$$q = \frac{1}{K + bK - b}. \quad (2.38)$$

Тогда производительность поиска U с учетом (2.38) можно записать следующим образом:

$$U = U_0 \left(\frac{K(1+b)}{K(1+b) - b} \right). \quad (2.39)$$

Получили аналогичные решения дифференциального уравнения (2.11) двумя способами для определения вероятностей обнаружения очага пожара (надежности разведки очага пожара в зданиях).

Таким образом, получено аналитическое решение и разработана модель для оценки надежности разведки пожара в здании при условии, что производительность поиска будет функцией от видимости, то есть убывает во времени от максимального значения до минимального. В случае применения данной модели для поиска очага пожара, меняющей оптические свойства, стоит учитывать, что коэффициент b может быть определен исходя из границ изменения производительности поиска от U^* до U_0 :

$$b = \frac{U^*}{U_0} - 1, \quad (2.40)$$

то есть, на практике необходимо выяснить значение U^* и U_0 .

Коэффициент b показывает степень изменения производительности поиска за время поиска и поэтому может быть использован для разработки способов классификации условий поиска в зависимости от динамики условий видимости. Далее разработаем классификацию по коэффициенту b , который учитывает динамику производительности поиска в зданиях текстильных производств (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Классификация условий поиска с использованием коэффициента b

Соотношение производительностей поиска	$U_0 = 0,9U^*$	$U^* = 0,75U_0$	$U^* = 0,5U_0$	$U^* = 0,1U_0$	$U^* > 0,1U_0$
Коэффициент b	$b \leq 0,11$	$0,11 < b \leq 0,33$	$0,33 < b \leq 1$	$1 < b \leq 9$	$b > 9$
Уровень					
	незначительный	слабый	средний	высокий	очень высокий

Теперь рассмотрим частный случай модели (2.11) при следующих параметрах: $U^* = U_0$, $b = 0$. Тогда дифференциальное уравнение

$$S \frac{dq}{d\tau} = -U_0q - U^*q^2 + U_0q^2 \text{ преобразуется в } S \frac{dq}{d\tau} = -U_0q - bU_0q^2, \text{ а с учетом, что } b = 0,$$

будет записано следующим образом:

$$S \frac{dq}{d\tau} = -U_0q. \quad (2.41)$$

Дополнительными соотношениями для решения системы уравнений (2.41) выступают начальные условия интегрирования: $\tau = 0$; $q_0 = 1$.

Разделим переменные и проинтегрируем полученное уравнение:

$$\frac{dq}{q} = \frac{U_0 d\tau}{S} \rightarrow \int_{q_0}^q \frac{dq}{q} = -\frac{U_0}{S} \int_0^\tau d\tau \rightarrow \ln \frac{q}{q_0} = -\frac{U_0}{S} \tau. \quad (2.42)$$

Выполним преобразования над полученным уравнением (2.42)

$$q = q_0 \exp\left(-\frac{U_0}{S} \tau\right). \quad (2.43)$$

Так как, исходя из начальных условий $q_0 = 1$, то окончательно получим:

$$q = \exp\left(-\frac{U_0}{S} \tau\right), \quad (2.44)$$

Решение 2.44 соответствует исходной модели надежности разведки пожара в здании.

Аналогичный вывод можно получить если в выражение для оценки q (2.37) подставить значение $b = 0$:

$$q = \frac{1}{\exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right) + 0 \cdot \exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right) - 0} = \frac{1}{\exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right)} = \exp\left(-\frac{U_0}{S} \tau\right). \quad (2.45)$$

Исходя из полученных соотношений (2.43), делаем вывод, что разработанная модель поиска пожара в зданиях является более общим видом существующей модели. Другими словами, существующая модель поиска пожара является частным случаем общей модели. Для подтверждения этого приведем сравнение общей и частной моделей поиска пожара в здании (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Сравнение общей и частной моделей разведки очага пожара в здании

	Общая модель $U^* > U_0$ ($b > 0$)	Частная модель $U^* = U_0$ ($b = 0$)
Начальные условия	$\tau = 0, q(0) = 1$	
Дифференциальное уравнение	$S \frac{dq}{d\tau} = -U_0 q - b U_0 q^2$	$S \frac{dq}{d\tau} = -U_0 q$
Вероятность неудачи при обнаружении очага пожара	$q = \frac{1}{\exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right) + b \exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right) - b}$	$q = \frac{1}{\exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right)} = \exp\left(-\frac{U_0}{S} \tau\right)$
Вероятность обнаружения очага пожара	$p = 1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right) + b \exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right) - b}$	$p = 1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right)} = 1 - \exp\left(-\frac{U_0}{S} \tau\right)$
Производительность поиска очага пожара	$U = U_0 \left(\frac{K(1+b)}{K(1+b)-b} \right)$, при $K = \exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right)$	$U = U_0$

Таким образом получили более общую модель поиска очага пожара в зданиях, в ней учтен динамический характер производительности поиска U группой разведки пожара. Разработанная динамическая модель является основой для разработки процедур поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в зданиях, принципиальная схема процедуры приведена на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Структурная схема поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров в зданиях

Однако, для разработки процедур поддержки принятия решений и технологии управления пожарными подразделениями, необходимо сформулировать перечень исходных и справочных данных для конкретного

объекта защиты – здания текстильных производств. Поэтому выполним моделирование процесса поиска очага пожара в различных условиях его динамики, определяемыми возможностями групп разведки, горючей нагрузкой и ограждающими конструкциями.

2.3. Моделирование процесса движения пожарных подразделений в зданиях текстильных производств

В разделе приведем расчетные параметры для установления зависимости скорости движения и производительности поиска очага пожара звеньями ГДЗС от видимости в дыму в зданиях текстильных производств при горении различной горючей нагрузки.

Скорость движения пожарных подразделений (звеньев ГДЗС) V в условиях ограниченной видимости возможно определить по результатам исследования Соковнина А.И. [114], а с учетом веса пожарно-технического вооружения возможно определить по справочнику РТП Терехова В.В. [133].

Формула для определения времени боевого развертывания на участке движения имеет вид [133]:

$$\tau_{\text{б.р.}} = k(0,32AL(\beta_1 + \beta_2\beta_3) + \tau_{\text{в}}), \quad (2.46)$$

где: k – коэффициент, учитывающий влияние неучтенных факторов;

L – расстояние, преодолеваемое пожарными, м (при расчетах будем принимать 30 м);

$\tau_{\text{в}}$ – среднее время установки пожарной машины на водоисточник, с;

β_1, β_2 , – коэффициенты, учитывающие долю расстояния, преодолеваемую пожарными без пожарно-технического вооружения (ПТВ) и с ПТВ соответственно, определяются по 2.47 и 2.48, взятых из Справочника РТП [133];

$$\beta_1 = 0, \beta_2 = 1 \text{ при } A \leq 1, \quad (2.47)$$

$$\beta_1 = (A-1)/(2A), \beta_2 = 1 - \beta_1 \text{ при } A > 1, \quad (2.48)$$

β_3 – коэффициент, учитывающий влияние массы пожарно-технического вооружения (таблицы 9.10 и 16.1 Справочника РТП [133]) – рисунок 2.7;

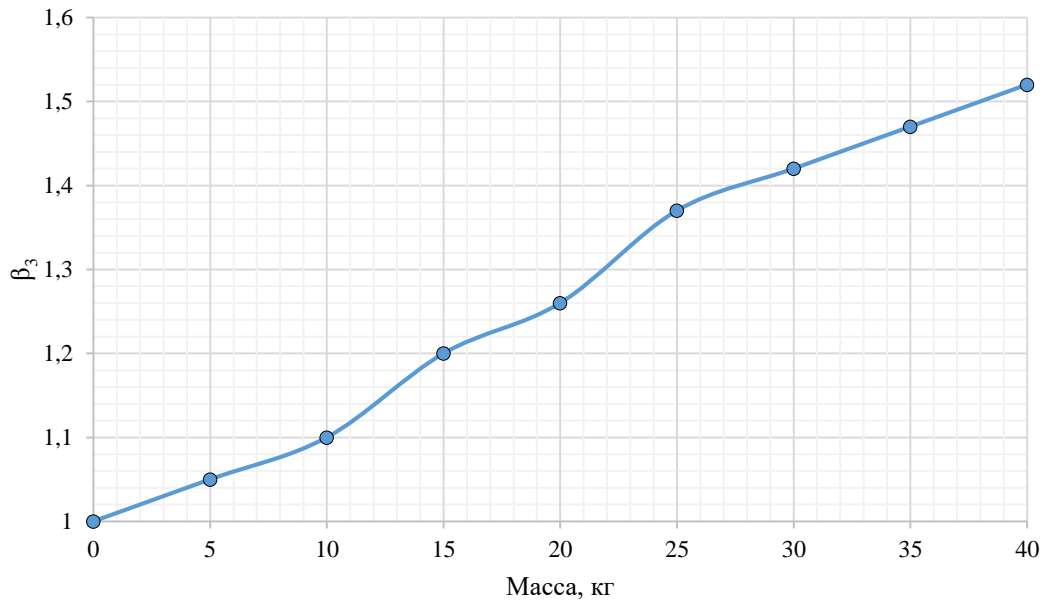


Рисунок 2.7 – Зависимость коэффициента β_3 , учитывающего влияние массы ПТВ

A – коэффициент, учитывающий, сколько раз в среднем пожарный преодолевает расстояние от пожарной машины до позиции ствола. Коэффициент A зависит от расстояния L и количества звеньев ГДЗС и имеет следующий вид (выражение 16.7 из справочника РТП [133]):

$$A = \frac{1}{N_{зв}} \left(1 + \frac{L}{l_{зв}} \right) - 1 + 0,5 \frac{l_{зв}}{L} (N_{зв} - 1), \quad (2.49)$$

где $N_{зв}$ – количество звеньев ГДЗС;

$l_{зв}$ – возможность звена ГДЗС по прокладке пожарных рукавов, м (таблица 16.3 Справочника РТП [133]).

При получении $A < 1$ принимается $A = 1$, так как минимум 1 звено ГДЗС преодолевает расстояние L .

Таким образом, проанализировав и обобщив результаты исследований [114, 133], получены выражения для оценки скорости движения V пожарных подразделений в зависимости от видимости D без учета веса (2.50):

$$V = 15 \ln D + 15, \text{ при } D \geq 1 \text{ м}, \quad (2.50)$$

и с учетом веса ПТВ (2.51):

$$V = 9 \ln D + 9, \text{ при } D \geq 1 \text{ м}. \quad (2.51)$$

Построим график зависимости скорости движения от видимости по полученной формуле и по результатам исследования Соковнина А.И., Терехова В.В. (рисунок 2.8).

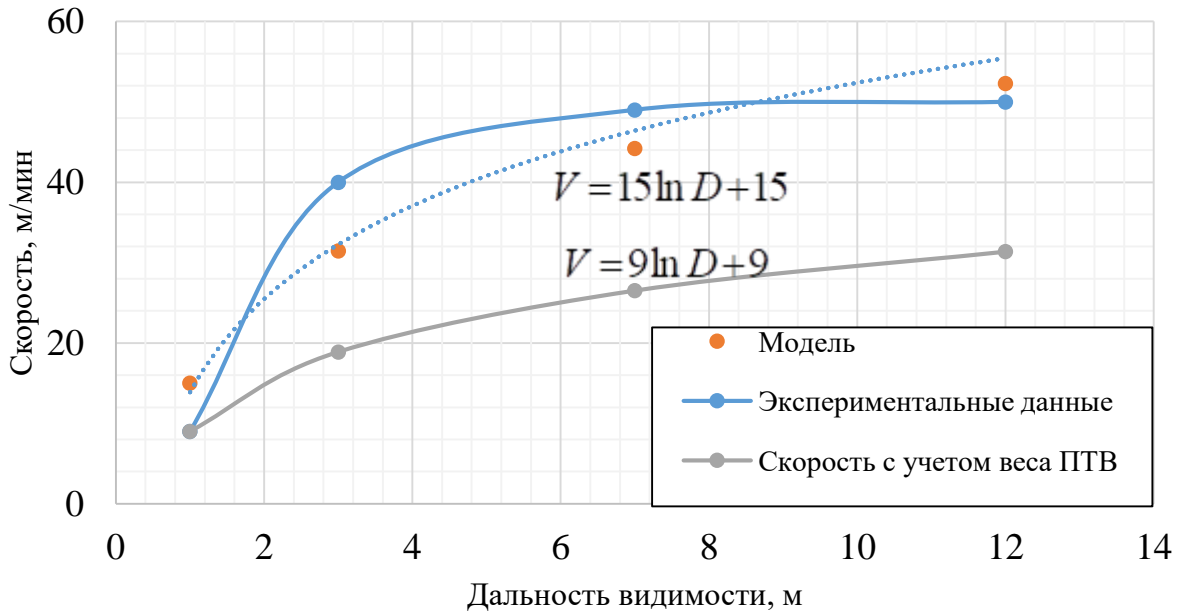


Рисунок 2.8 – Зависимость средней скорости движения звеньев ГДЗС от условий видимости

В таблице 2.3 приведены справочные данные и расчетные параметры для установления зависимости скорости движения пожарных подразделений с учетом массы ПТВ (СИЗОД, напорные прорезиненные рукава и др.) и коэффициента $\varphi = 0,95$ (для стен из металлоконструкций). Расчетный параметр – видимость, рассчитывается на основе формул из ГОСТ 12.1.004–91 [29], по выражению, полученному в исследовании авторами Таракановым Д.В. и др. [74]:

$$\Omega^* = \frac{\eta(1-\varphi)Q_{HP} \ln(1,05\alpha E)}{C_p \rho_0 T_0 D_m}, \text{ м}, \quad (2.52)$$

где Q_{HP} – низшая теплота сгорания материала, кДж·кг⁻¹;

C_p – удельная изобарная теплоемкость дымовой среды, кДж·кг⁻¹·К⁻¹ ($C_p = 1$ кДж·кг⁻¹·К⁻¹);

φ – коэффициент тепловых потерь;

η – коэффициент полноты горения ($\eta=0,87$);

α – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации ($\alpha=0,3$);

E – начальная освещенность, лк [115];

ρ_0 – начальная плотность дымовой среды, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ($\rho_0=1,21 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$);

T_0 – начальная температура дымовой среды, К ($T_0=293 \text{ К}$);

D_m – дымообразующая способность материала, $\text{Нп}\cdot\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$,

Ω_0 – начальная видимость в помещении, м ($\Omega_0=20 \text{ м}$) [29].

Согласно существующим методикам [87, 88] в случае отсутствия информации по начальной освещенности E , лк внутри здания можно принять равным значению в 50 лк. Однако рассматривая требования в нормах освещенности в таблице 7.2 СП 52.13330.2016 [115], можно сделать вывод, что значение степени освещенности на путях эвакуации на промышленных объектах может варьироваться в пределах от 100 до 750 лк и выше [29]. По итогам в расчетах принято минимально возможное значение освещенности $E = 100 \text{ лк}$.

Средняя теплота сгорания горючей нагрузки $Q_{\text{н.ср}}^{\text{p}}$, МДж/кг, для приведенной горючей нагрузки (хлопок + лен) рассчитана согласно ГОСТ 12.1.004–91 [29].

Таблица 2.3 – Справочные данные и расчетные параметры горючей нагрузки при установлении зависимости «видимость – скорость движения» (стены из металлоконструкций)

Вид горючего материала	Справочные данные		Расчетные параметры			Константа модели
			Видимость	Скорость движения с учетом массы ПТВ	Производительность поиска	
	$Q_{\text{НР}}, \text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$	$D_m, \text{Нп}\cdot\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$	$D, \text{м}$	$V, \text{м}/\text{мин}$	$U, \text{м}^2/\text{мин}$	b
Хлопок	16400	0,60	11,57*	29,70	594,40	0,01
Лен	15700	3,37	1,97	15,10	59,49	9,09
Хлопок + Лен (0,9+0,1)	16330	0,88	7,88	27,60	434,66	0,38

Окончание таблицы 2.3

Хлопок + Лен (0,8+0,2)	16260	1,15	5,96	25,10	298,83	1,01
Хлопок + Лен (0,7+0,3)	16190	1,43	4,79	23,10	221,30	1,72
Хлопок + Лен (0,6+0,4)	16120	1,71	4,00	21,50	171,84	2,50
Хлопок + Лен (0,5+0,5)	16050	1,98	3,42	20,10	137,28	3,33
Хлопок + Лен (0,4+0,6)	15980	2,26	2,99	18,86	112,78	4,35
Хлопок + Лен (0,3+0,7)	15910	2,54	2,65	17,77	94,18	5,26
Хлопок + Лен (0,2+0,8)	15840	2,82	2,38	16,80	79,97	6,67
Хлопок + Лен (0,1+0,9)	15770	3,09	2,16	15,93	68,82	7,69
*Примечание. Для случаев, когда дальность видимости больше 10 м, в расчетах принято $D = 10$ м.						

В таблице 2.4 приведены справочные данные и расчетные параметры для установления зависимости скорости V движения пожарных подразделений, при этом видимость взята с учетом полученных результатов экспериментального исследования [5, 105] и коэффициента $\varphi = 0,9$ (для стен из сэндвич-панелей) [107].

Таблица 2.4 – Справочные данные и расчетные параметры горючей нагрузки при установлении зависимости «видимость – скорость движения» (стены из сэндвич-панелей)

Вид горючего материала	Справочные данные		Расчетные параметры			Константа модели
			Видимость	Скорость движения с учетом массы ПТВ	Производительность поиска	
	Q_{HP} , кДж·кг ⁻¹	D_m , Нп·м ² ·кг ⁻¹	D , м	V , м/мин	U , м ² /мин	
Хлопок	16400	0,60	26,30*	29,72	594,4	0,01
Лен	15700	3,37	4,48	22,50	201,6	1,96
Хлопок + Лен (0,9+0,1)	16330	0,88	17,91*	29,72	594,4	0,01
Хлопок + Лен (0,8+0,2)	16260	1,15	13,56*	29,72	594,4	0,01
Хлопок + Лен (0,7+0,3)	16190	1,43	10,88*	29,72	594,4	0,01
Хлопок + Лен (0,6+0,4)	16120	1,71	9,08	28,85	523,9	0,15
Хлопок + Лен (0,5+0,5)	16050	1,98	7,78	27,46	427,3	0,40
Хлопок + Лен (0,4+0,6)	15980	2,26	6,80	26,25	357,0	0,68
Хлопок + Лен (0,3+0,7)	15910	2,54	6,03	25,17	303,6	0,98
Хлопок + Лен (0,2+0,8)	15840	2,82	5,41	24,19	261,7	1,30
Хлопок + Лен (0,1+0,9)	15770	3,09	4,91	23,32	229,0	1,61

*Примечание. Для случаев, когда дальность видимости больше 10 м, в расчетах принято $D = 10$ м.

Справочные данные для горючей нагрузки (таблицы 2.3 и 2.4), характерной для текстильных производств, необходимы для сравнения моделей поиска очага пожара в зданиях текстильных производств.

Теперь составим таблицу 2.5 для сравнения полученных коэффициентов b и распределим согласно классификации по таблице 2.2.

Таблица 2.5 – Сравнение коэффициентов b для разных ограждающих конструкций

Вид горючего материала	Коэффициент b	
	стены из металлоконструкций	стены из сэндвич-панелей
Хлопок	0,01	0,01
Хлопок + Лен (0,9+0,1)	0,38	0,01
Хлопок + Лен (0,8+0,2)	1,01	0,01
Хлопок + Лен (0,7+0,3)	1,72	0,01
Хлопок + Лен (0,6+0,4)	2,50	0,15
Хлопок + Лен (0,5+0,5)	3,33	0,40
Хлопок + Лен (0,4+0,6)	4,35	0,68
Хлопок + Лен (0,3+0,7)	5,26	0,98
Хлопок + Лен (0,2+0,8)	6,67	1,30
Хлопок + Лен (0,1+0,9)	7,69	1,61
Лен	9,09	1,96

По данным таблицы 2.5 построим график (рисунок 2.9).

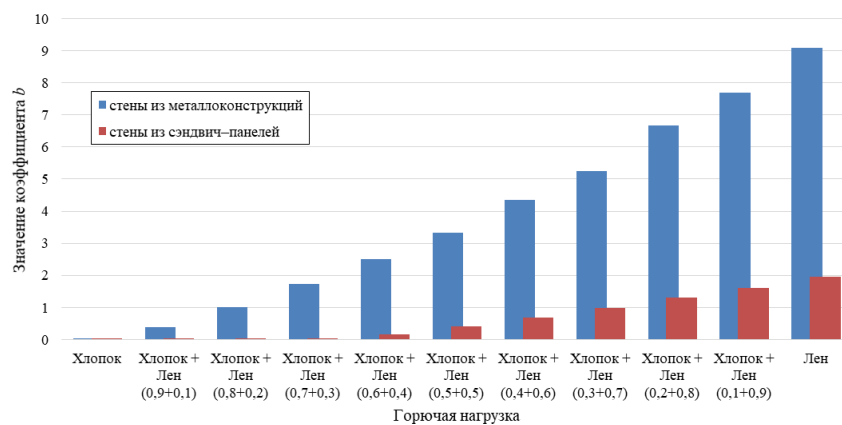


Рисунок 2.9 – Сравнительный график значений коэффициента b для разных ограждающих конструкций

По графику (рисунок 2.9) можно сделать вывод, что значение коэффициента b , учитывающего динамику производительности поиска, зависит от материала ограждающих конструкций зданий текстильных производств.

Далее проведем сравнение моделей поиска очага пожара в зданиях текстильных производств. По данным таблицы 2.4 построим графики динамики вероятности обнаружения очага пожара и производительности поиска очага пожара при горючей нагрузке, характерной для зданий текстильных производств, на площади $S = 1350 \text{ м}^2$ (контролируемая площадь извещателей дымовых линейных двухкомпонентных). Графики по горючей нагрузке – хлопок приведены на рисунках 2.10–2.11.

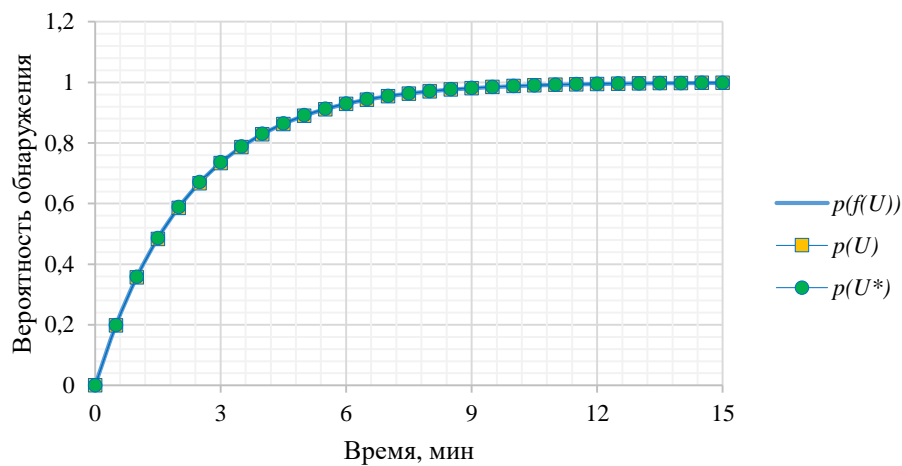


Рисунок 2.10 – Динамика вероятностей обнаружения очага пожара (горючая нагрузка – хлопок)

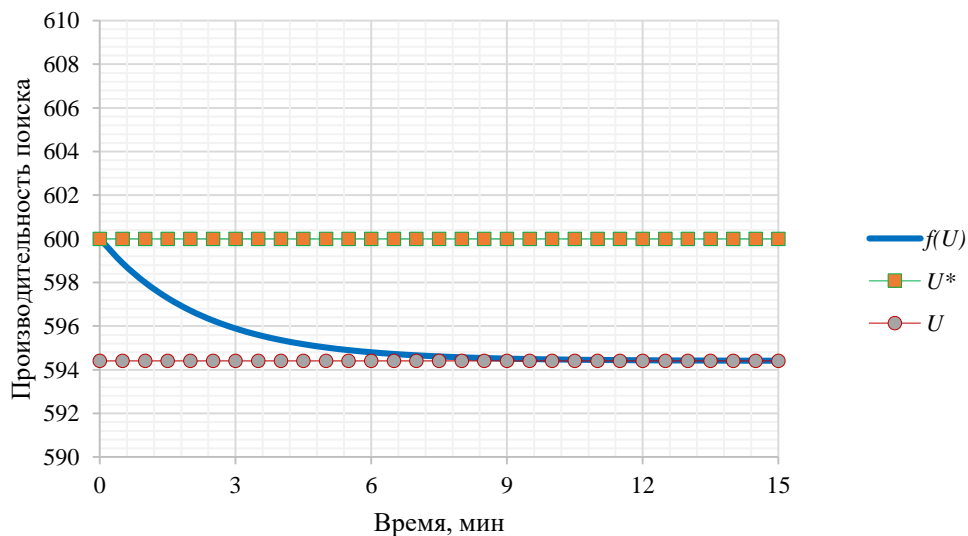


Рисунок 2.11 – Динамика производительности поиска очага пожара (горючая нагрузка – хлопок)

По построенным графикам (рисунки 2.10–2.11) видим, что при горючей нагрузке – хлопок производительность поиска группами разведки пожара практически не снижается, различия между общей и частной моделями поиска пожара при определении вероятности обнаружения и производительности поиска несущественны (около 1% между начальным и конечным значением производительности U).

Графики по горючей нагрузке – лен приведены на рисунках 2.12–2.13.

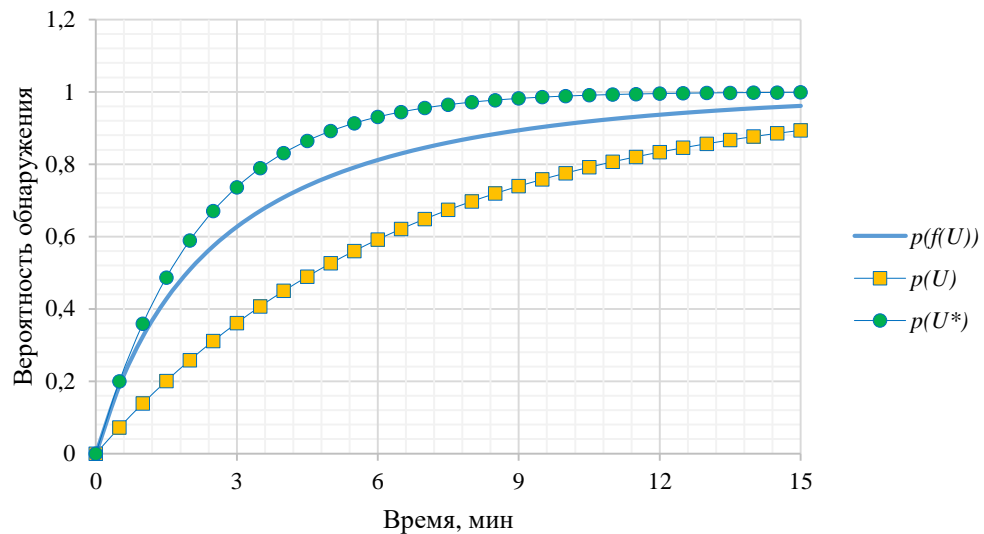


Рисунок 2.12 – Динамика вероятностей обнаружения очага пожара (горючая нагрузка – лен)

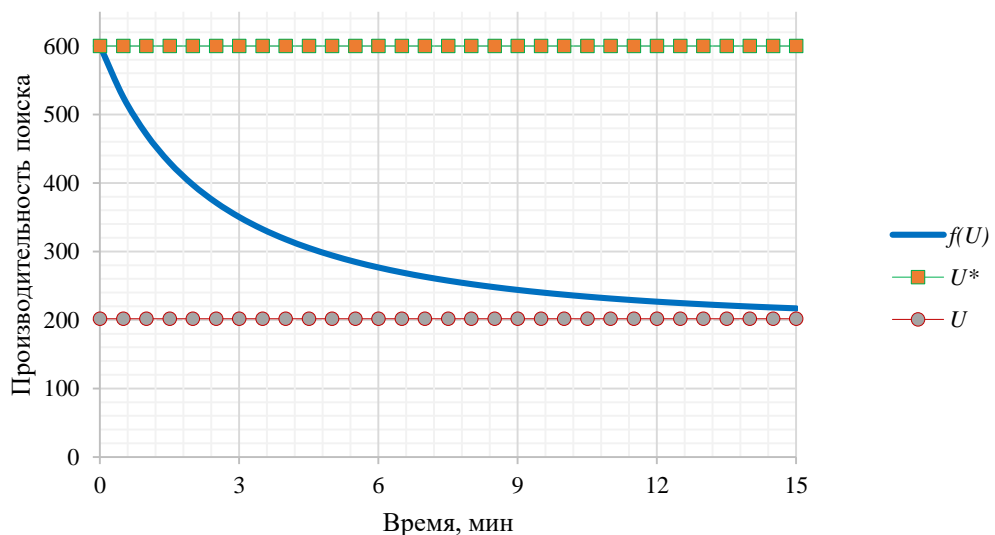


Рисунок 2.13 – Динамика производительности поиска очага пожара (горючая нагрузка – лен)

Для горючей нагрузки в зданиях текстильных производств в виде льна (рисунки 2.12–2.13) производительность поиска динамична и уменьшается со временем развития пожара, различие между общей и частной моделями поиска пожара при определении вероятности обнаружения и производительности поиска U существенно (около 67% между начальным и конечным значением производительности U).

В таблицах 2.6 и 2.7 приведены результаты сравнения моделей поиска очага пожара при различной горючей нагрузке в зданиях текстильных производств ($S = 1350 \text{ м}^2$).

Таблица 2.6 – Сравнение моделей поиска очага пожара (стены из металлоконструкций)

Горючая нагрузка		хлопок			лен		
Вероятность обнаружения		$p = 0,85$	$p = 0,90$	$p = 0,95$	$p = 0,85$	$p = 0,90$	$p = 0,95$
Частная модель	τ_{\max} , МИН	4,3	5,2	6,8	4,3	5,2	6,8
	τ_{\min} , МИН	4,3	5,2	6,8	43,0	52,0	68,0
Общая модель	τ , МИН	4,3	5,2	6,8	10,2	14,5	24,0
Расхождение	$ \tau - \tau_{\max} $, МИН	0	0	0	5,9	9,3	17,2
	$ \tau - \tau_{\min} $, МИН	0	0	0	32,8	37,5	44,0

Таблица 2.7 – Сравнение моделей поиска очага пожара (стены из сэндвич- панелей)

Горючая нагрузка		хлопок			лен		
Вероятность обнаружения		$p = 0,85$	$p = 0,85$	$p = 0,90$	$p = 0,95$	$p = 0,85$	$p = 0,90$
Частная модель	τ_{\max} , МИН	4,3	5,2	6,8	4,3	5,2	6,8
	τ_{\min} , МИН	4,3	5,2	6,8	12,8	15,5	20,0
Общая модель	τ , МИН	4,3	5,2	6,8	7,2	9,4	13,5
Расхождение	$ \tau - \tau_{\max} $, МИН	0	0	0	2,9	4,2	6,7
	$ \tau - \tau_{\min} $, МИН	0	0	0	5,6	6,1	6,5

Визуализация данных, представленных в таблицах 2.6 и 2.7, приведена на рисунках 2.14 и 2.15 соответственно.

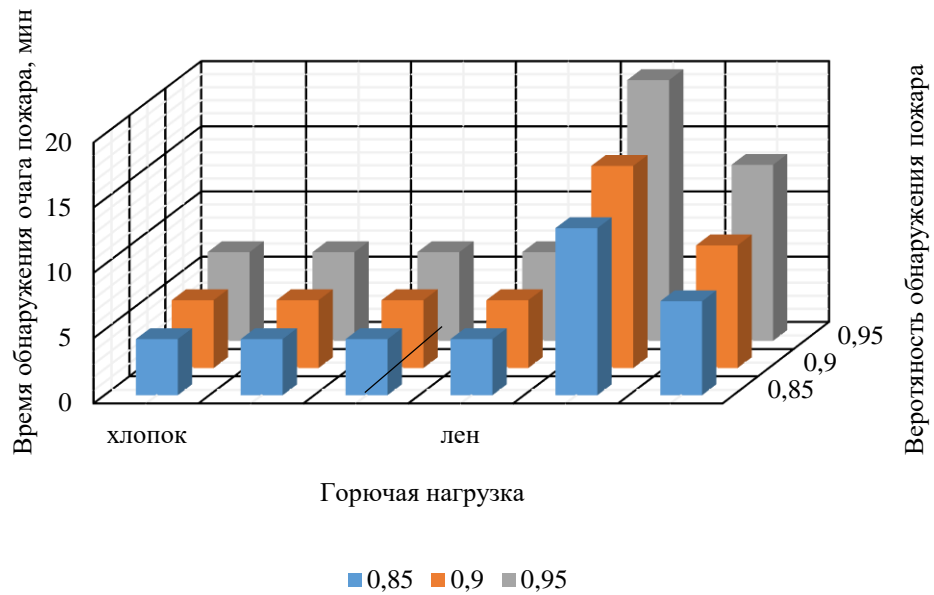


Рисунок 2.14 – Визуализация полученных данных по моделям поиска очага пожара (стены из сэндвич-панелей)

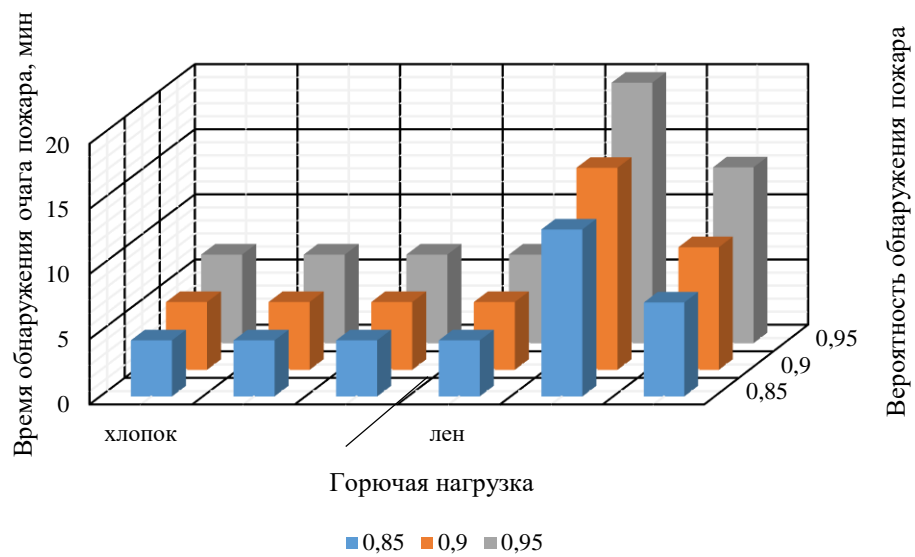


Рисунок 2.15 – Визуализация полученных данных по моделям поиска очага пожара (стены из металлоконструкций)

2.4. Алгоритм и программная реализация модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств

Для практического применения разработанной модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств произведена алгоритмизация и выполнена программная реализация модели в виде программного модуля [72].

Обобщенный алгоритм работы программного модуля представлен на рисунке 2.16.



Рисунок 2.16 – Обобщенный алгоритм работы программного модуля

Программный модуль представляет собой совокупность трех блоков I, II и III. Каждый блок реализует определенную задачу: в первом блоке выполняется функция по определению допустимого времени поиска очага пожара в здании, во втором блоке выполняется определение вероятности обнаружения пожара в здании, в третьем блоке определяется вероятность тушения пожара в здании прибывшими подразделениями пожарной охраны. Блок I программного модуля работает по алгоритму, блок-схема которого представлена на рисунке 2.17.

На основе данных по типу дыхательного аппарата (СИЗОД), давления сжатого воздуха в баллоне СИЗОД и степени тяжести работ на пожаре (расход

воздушной смеси СИЗОД) определяется допустимое время поиска очага пожара в здании.

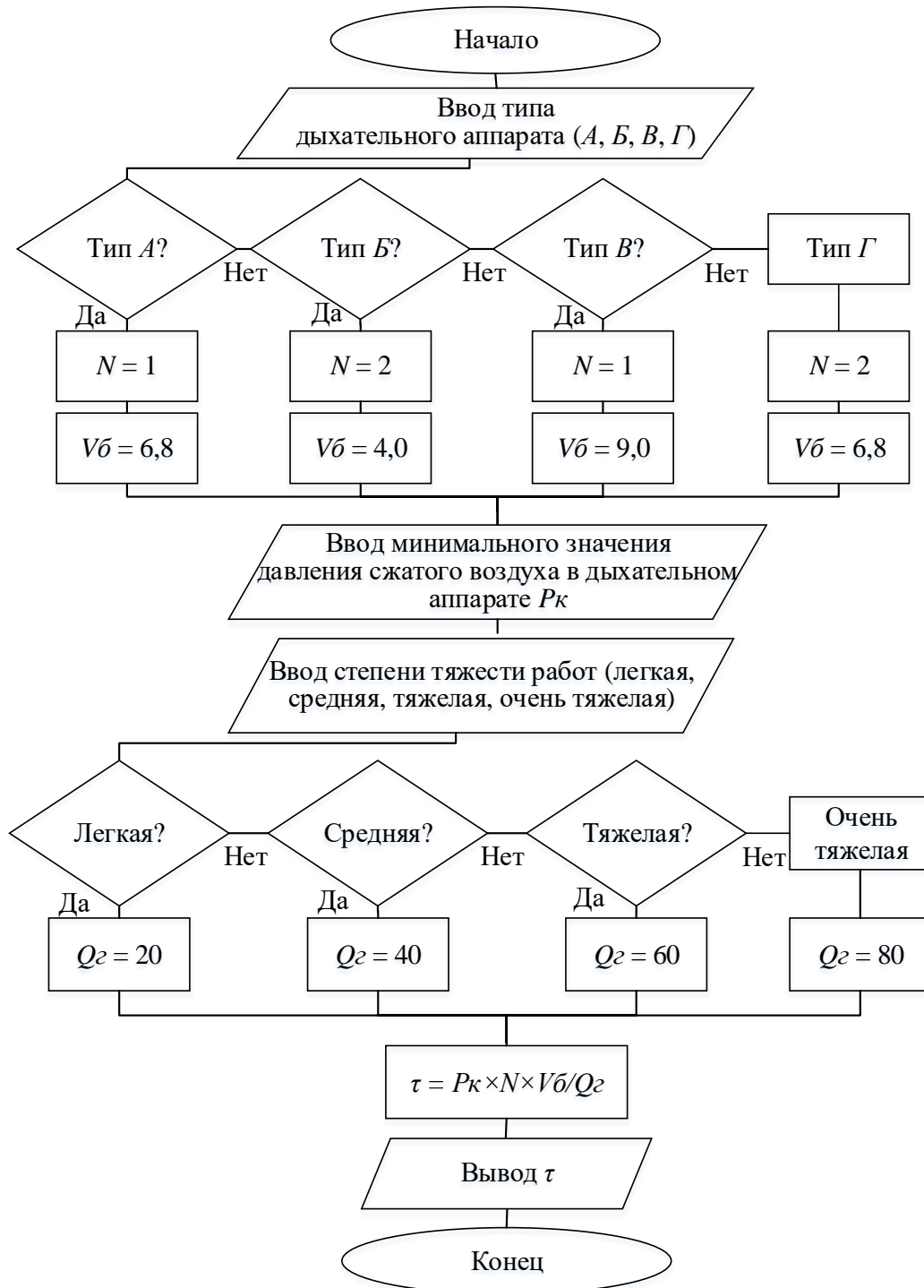


Рисунок 2.17 – Блок-схема алгоритма определения допустимого времени поиска очага пожара в здании

Блок II программного модуля работает по алгоритму, блок-схема которого представлена на рисунке 2.18.

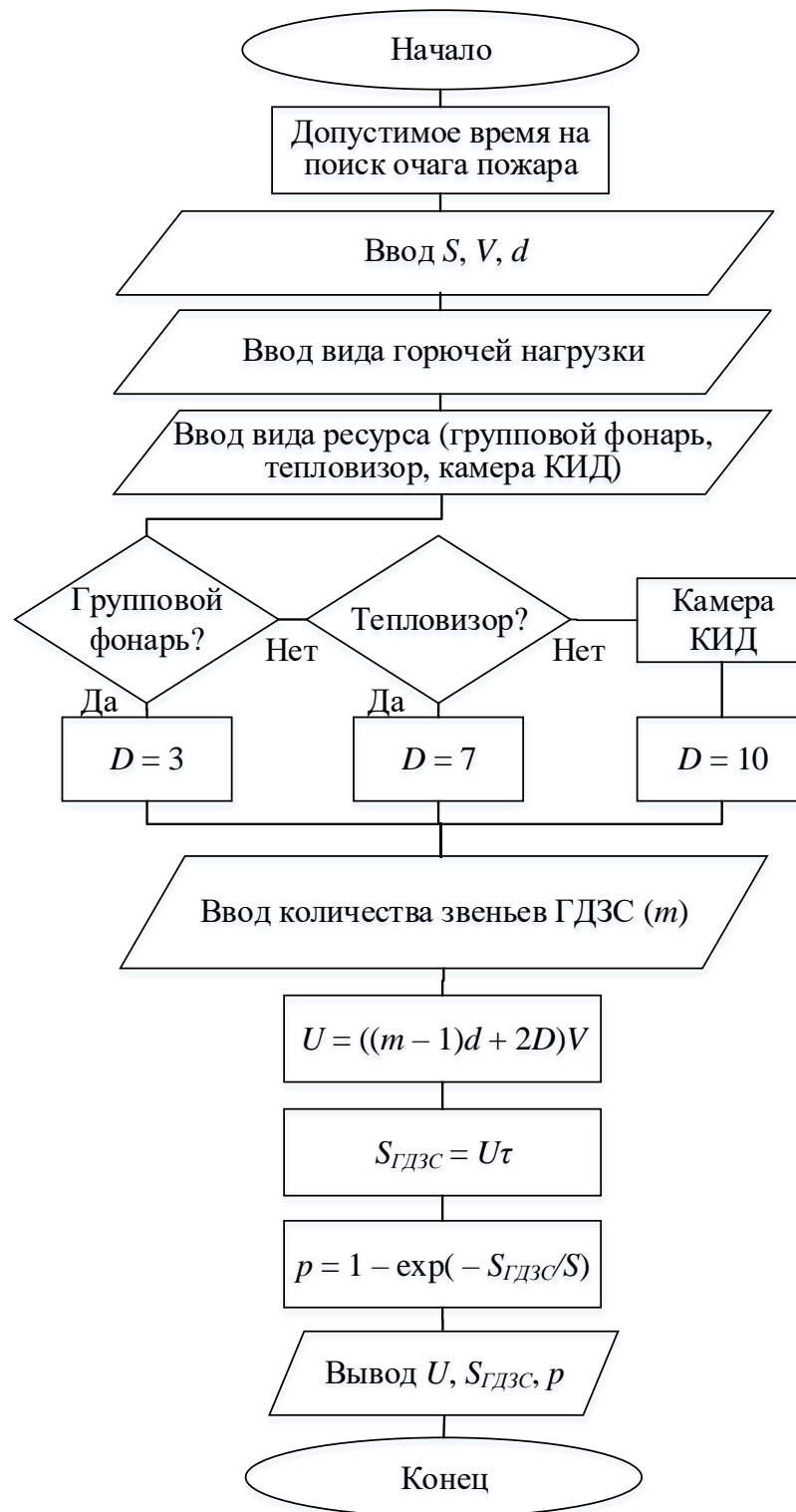


Рисунок 2.18 – Блок-схема алгоритма определения вероятности обнаружения пожара в здании

На основе данных по времени поиска очага пожара в здании (τ), площади поиска ($S_{ГДЗС}$), скорости движения звеньев ГДЗС (V), эффективного расстояния между звеньями (d), вида ресурса (влияет на видимость D), количества звеньев ГДЗС (m) определяется вероятность обнаружения пожара в здании.

Блок III программного модуля работает по алгоритму, блок-схема которого представлена на рисунке 2.19.

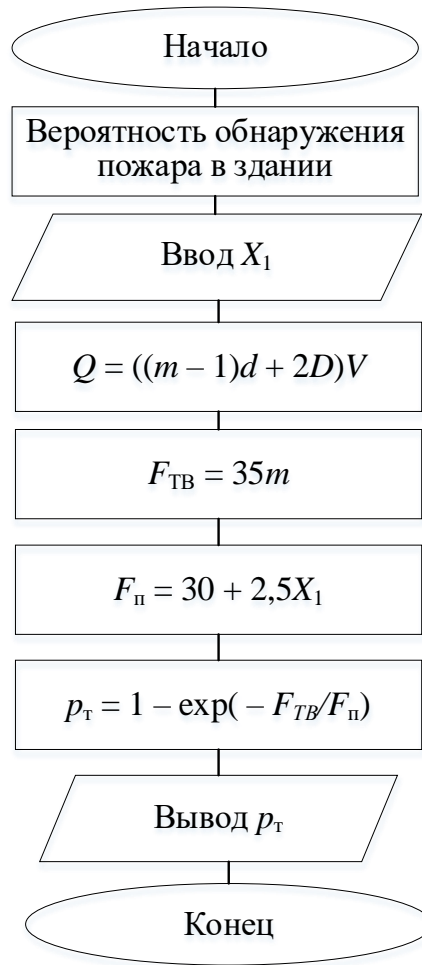


Рисунок 2.19 – Блок-схема алгоритма вероятности тушения пожара в здании

На основе исходных данных в блоках I, II, площади пожара на момент его обнаружения, площади тушения пожара определяется вероятность тушения пожара в здании.

Далее описан порядок работы в программном модуле [72], разработанном для практического применения пожарными подразделениями разработанной модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств.

1. Выбираем тип дыхательного аппарата, находящегося на вооружении в пожарно-спасательном подразделении (рисунок 2.20).

Параметры работы групп разведки

Тип дыхательного аппарата: **Выбрать** (Дых. аппарат А, Дых. аппарат Б, Дых. аппарат В, Дых. аппарат Г)

Количество баллонов:

Объем сжатого воздуха: л

Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: кг*с/см²

Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: л/мин

Расчет времени на разведку

Допустимое время на поиск очага пожара: мин

Оценка достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки

Расчетная площадь поиска группами разведки: кв. м

Скорость движения группы разведки: м/мин

Расстояние между звеньями: м

Дальность видимости: м

Количество звеньев ГДЗС в группе разведки:

Производительность поиска группой разведки: м²/мин

Возможная площадь поиска группой разведки: кв. м

Вероятность обнаружения пожара:

Определение вероятности тушения пожара

Вид горючей нагрузки:

Параметры тушения пожара

Расход огнетушащих веществ: л/с

Ожидаемая площадь тушения группами разведки: кв. м

Площадь пожара на момент его обнаружения: кв. м

Вероятность тушения пожара:

Вычислить

Сброс

Выход

Рисунок 2.20 – Выбор типа дыхательного аппарата

2. При помощи ползунка устанавливаем давление воздуха в дыхательном аппарате газодымозащитника на момент входа в задымленную зону (рисунок 2.21).

Параметры работы групп разведки

Тип дыхательного аппарата:

Количество баллонов:

Объем сжатого воздуха: л

Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: кг*с/см²

Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: л/мин

Расчет времени на разведку

Допустимое время на поиск очага пожара: мин

Оценка достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки

Расчетная площадь поиска группами разведки: кв. м

Скорость движения группы разведки: м/мин

Расстояние между звеньями: м

Дальность видимости: м

Количество звеньев ГДЗС в группе разведки:

Производительность поиска группой разведки: м²/мин

Возможная площадь поиска группой разведки: кв. м

Вероятность обнаружения пожара:

Определение вероятности тушения пожара

Вид горючей нагрузки:

Параметры тушения пожара

Расход огнетушащих веществ: л/с

Ожидаемая площадь тушения группами разведки: кв. м

Площадь пожара на момент его обнаружения: кв. м

Вероятность тушения пожара:

Вычислить

Сброс

Выход

Рисунок 2.21 – Установка давления воздуха на момент входа в задымленную зону

3. Выбираем потребление воздуха газодымозащитником по степени тяжести предстоящих работ (рисунок 2.22).

Параметры работы групп разведки

Тип дыхательного аппарата: Дых. аппарат А | Количество баллонов: 1 | Объем сжатого воздуха: 6,8 л

Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: 280 кг/см²

3 Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: **Выбрать** л/мин

Расчет времени на разведку

Допустимое время на поиск очага пожара: [] мин

Оценка достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки

Расчетная площадь поиска группами разведки: [Выбрать] кв. м | Количество звеньев ГДЗС в группе разведки: [Выбрать]

Скорость движения группы разведки: [Выбрать] м/мин | Производительность поиска группой разведки: [] м²/мин

Расстояние между звеньями: [Выбрать] м | Возможная площадь поиска группой разведки: [] кв. м

Дальность видимости: [Выбрать] м | Вероятность обнаружения пожара: []

Определение вероятности тушения пожара

Вид горючей нагрузки: [Выбрать]

Параметры тушения пожара

Расход огнетушащих веществ: [] л/с

Ожидаемая площадь тушения группами разведки: [] кв. м

Площадь пожара на момент его обнаружения: [] кв. м

Вероятность тушения пожара: []

Вычислить

Сброс

Выход

Рисунок 2.22 – Выбор потребления воздуха газодымозащитниками

4. Далее выбираем расчетную площадь поиска группой разведки пожара, состоящей из звеньев ГДЗС (S) (рисунок 2.23).

Параметры работы групп разведки

Тип дыхательного аппарата: Дых. аппарат А | Количество баллонов: 1 | Объем сжатого воздуха: 6,8 л

Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: 260 кг/см²

Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: [тяжелая] л/мин

Расчет времени на разведку

Допустимое время на поиск очага пожара: 9 мин

4 Оценка достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки

Расчетная площадь поиска группами разведки: **Выбрать** кв. м

Скорость движения группы разведки: [] м/мин | Производительность поиска группой разведки: [] м²/мин

Расстояние между звеньями: [] м | Возможная площадь поиска группой разведки: [] кв. м

Дальность видимости: [Выбрать] м | Вероятность обнаружения пожара: []

Определение вероятности тушения пожара

Вид горючей нагрузки: [Выбрать]

Параметры тушения пожара

Расход огнетушащих веществ: [] л/с

Ожидаемая площадь тушения группами разведки: [] кв. м

Площадь пожара на момент его обнаружения: [] кв. м

Вероятность тушения пожара: []

Вычислить

Сброс

Выход

Рисунок 2.23 – Выбор площади поиска группой разведки

5. Далее выбираем среднюю скорость движения группы разведки пожара в здании (V) (рисунок 2.24).

Параметры работы групп разведки

Тип дыхательного аппарата: Дых. аппарат А | Количество баллонов: 1 | Объем сжатого воздуха: 6,8 л

Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: 260 кг^т/см²

Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: тяжелая л/мин

Расчет времени на разведку

Допустимое время на поиск очага пожара: 9 мин

Оценка достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки

Расчетная площадь поиска группами разведки: 1000 кв. м | Количество звеньев ГДЗС в группе разведки: Выбрать

Скорость движения группы разведки: 5 м/мин | Производительность поиска группой разведки: м²/мин

Расстояние между звеньями: 10 м | Возможная площадь поиска группой разведки: кв. м

Дальность видимости: Выбрать | Вероятность обнаружения пожара:

Определение вероятности тушения пожара

Вид горючей нагрузки: Выбрать

Параметры тушения пожара

Расход огнетушащих веществ: л/с

Ожидаемая площадь тушения группами разведки: кв. м

Площадь пожара на момент его обнаружения: кв. м

Вероятность тушения пожара:

Вычислить

Сброс

Выход

Рисунок 2.24 – Выбор скорости движения группы разведки

б. Далее выбираем эффективное расстояние между звеньями ГДЗС (d) в группе разведки пожара (рисунок 2.25).

Параметры работы групп разведки

Тип дыхательного аппарата: Дых. аппарат А | Количество баллонов: 1 | Объем сжатого воздуха: 6,8 л

Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: 260 кг^т/см²

Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: тяжелая л/мин

Расчет времени на разведку

Допустимое время на поиск очага пожара: 9 мин

Оценка достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки

Расчетная площадь поиска группами разведки: 1000 кв. м | Количество звеньев ГДЗС в группе разведки: Выбрать

Скорость движения группы разведки: 30 м/мин | Производительность поиска группой разведки: м²/мин

Расстояние между звеньями: 6 м | Возможная площадь поиска группой разведки: кв. м

Дальность видимости: Выбрать | Вероятность обнаружения пожара:

Определение вероятности тушения пожара

Вид горючей нагрузки: Выбрать

Параметры тушения пожара

Расход огнетушащих веществ: л/с

Ожидаемая площадь тушения группами разведки: кв. м

Площадь пожара на момент его обнаружения: кв. м

Вероятность тушения пожара:

Вычислить

Сброс

Выход

Рисунок 2.25 – Выбор эффективного расстояния между звеньями газодымозащитной службы

7. Далее выбираем вид ресурса (групповой фонарь, тепловизор или камеру КИД) ($X_i, i = 1, 2, 3$) пожарного подразделения для определения дальности видимости (D) в дыму, влияющего на производительность поиска (рисунок 2.26).

Параметры работы групп разведки

Тип дыхательного аппарата: Дых. аппарат А | Количество баллонов: 1 | Объем сжатого воздуха: 6,8 л | Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: 260 кг*с/см² | Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: тяжелая л/мин

Расчет времени на разведку

Допустимое время на поиск очага пожара: 9 мин

Определение вероятности тушения пожара

Вид горючей нагрузки: Выбрать

Параметры тушения пожара

Расход огнетушащих веществ: л/с | Ожидаемая площадь тушения группами разведки: кв. м | Площадь пожара на момент его обнаружения: кв. м | Вероятность тушения пожара:

Оценка достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки

Расчетная площадь поиска группами разведки: 1000 кв. м | Количество звеньев ГДЗС в группе разведки: Выбрать | Производительность поиска группой разведки: м²/мин | Возможная площадь поиска группой разведки: кв. м | Вероятность обнаружения пожара:

Скорость движения группы разведки: 30 м/мин | Расстояние между звеньями: 3 м | Дальность видимости: 7 м | Вид ресурса: групповой фонарь, тепловизор, камера КИД

Вычислить | Сброс | Выход

Рисунок 2.26 – Выбор вида ресурса пожарного подразделения

8. Далее выбираем количество звеньев ГДЗС (m) для проведения поиска (p) пожара в здании (рисунок 2.27).

Параметры работы групп разведки

Тип дыхательного аппарата: Дых. аппарат А | Количество баллонов: 1 | Объем сжатого воздуха: 6,8 л | Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: 260 кг*с/см² | Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: тяжелая л/мин

Расчет времени на разведку

Допустимое время на поиск очага пожара: 9 мин

Определение вероятности тушения пожара

Вид горючей нагрузки: Выбрать

Параметры тушения пожара

Расход огнетушащих веществ: л/с | Ожидаемая площадь тушения группами разведки: кв. м | Площадь пожара на момент его обнаружения: кв. м | Вероятность тушения пожара:

Оценка достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки

Расчетная площадь поиска группами разведки: 1000 кв. м | Количество звеньев ГДЗС в группе разведки: 3 | Производительность поиска группой разведки: м²/мин | Возможная площадь поиска группой разведки: кв. м | Вероятность обнаружения пожара:

Скорость движения группы разведки: 30 м/мин | Расстояние между звеньями: 3 м | Дальность видимости: 7 м | Вид ресурса: групповой фонарь, тепловизор, камера КИД

Вычислить | Сброс | Выход

Рисунок 2.27 – Выбор количества звеньев ГДЗС для поиска очага пожара

9. Далее необходимо выбрать вид горючей нагрузки в помещении текстильного производства (рисунок 2.28).

Рисунок 2.28 – Выбор вида горючей нагрузки

10. Далее получим результаты вычислений I, II, III (рисунок 2.29).

Рисунок 2.29 – Результаты вычисления параметров: допустимого времени на поиск очага пожара, вероятностей обнаружения и тушения пожара в здании

2.5. Выводы по второй главе

Во второй главе получены следующие научные и практические результаты.

1. Предложена вероятностно-статистическая модель для решения задач управления ресурсами при тушении пожаров в зданиях текстильных производств: модель поиска очага пожара в зданиях. Модель включает в себя укрупненные составляющие: ожидаемая производительность поиска – показатель тактических возможностей пожарных подразделений в здании; площадь поиска – общий объем работы по поиску пожара в здании; надежность поиска – вероятностная оценка успеха при выполнении заданного объема работы. В отличие от известных моделей разработанная модель учитывает динамику производительности поиска при снижении видимости в дыму в результате горения различной горючей нагрузки. Проведено сравнение разработанной модели с ее существующим аналогом при различной горючей нагрузке, характерной для зданий текстильных производств.

2. Предложена классификация значений коэффициента, учитывающего динамику производительности поиска, по пяти уровням. Уровни распределены по значениям максимальной (начальной) и минимальной производительности поиска в зданиях текстильных производств при различных видах горючей нагрузки. Это позволяет идентифицировать ситуации эффективности применения средств мониторинга при поиске очага пожара в здании.

3. На основе модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств разработан алгоритм распределения ресурсов пожарных подразделений, который реализован в виде программного модуля для практического применения на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств. На основе типовой активной и пассивной горючей нагрузки получены исходные значения параметров условий поиска очага пожара, используемые в качестве базы данных для разработанного программного средства.

ГЛАВА 3. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В главе 3 настоящей диссертационной работы рассмотрено практическое применение разработанной модели, используемой для распределения ресурсов пожарных подразделений при поиске очага пожара в здании в совокупности со вторым критерием – вероятностью тушения пожара, а также приведены результаты исследования с точки зрения технологии управления организационными системами [81].

Согласно теории управления организационными системами д-ра техн. наук, проф., академика РАН Новикова Д.А. [81] технология управления ОС представляет собой совокупность методов, операций, приемов, поэтапное осуществление которых обеспечивает решение поставленной задачи (рисунок 3.1).

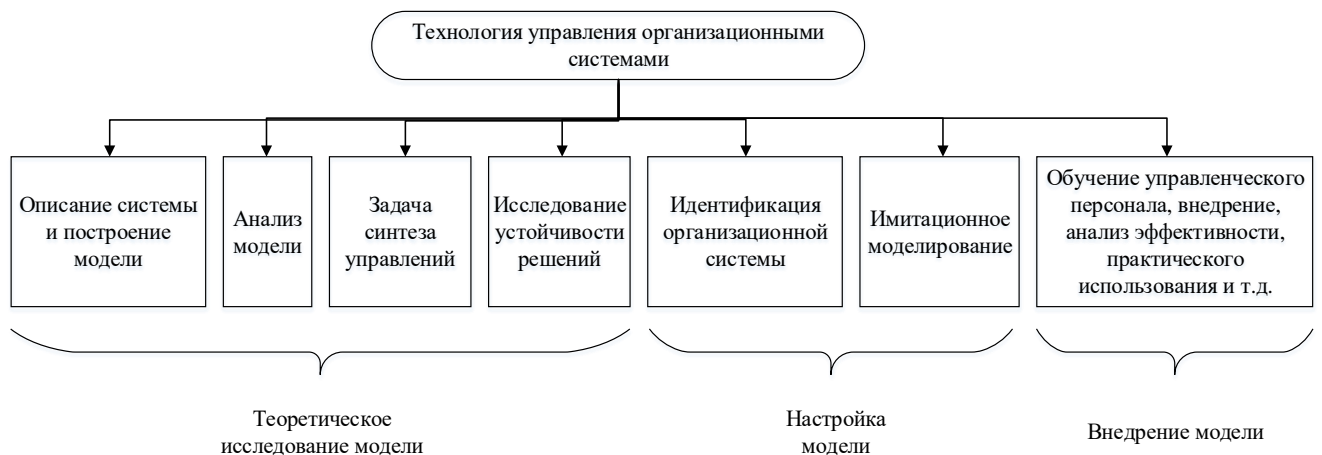


Рисунок 3.1 – Схема технологии управления организационными системами [81]

В разделах главы рассмотрено практическое применение результатов диссертационной работы в организационной системе управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств. Она объединяет в себе следующие этапы управленческих решений: организация и планирование тушения пожара, тушение пожара (как процесс) и организация и проведение пожарно-тактических учений. Общая схема поддержки принятия управленческих решений на этапе

предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств приведена на рисунке 3.2.

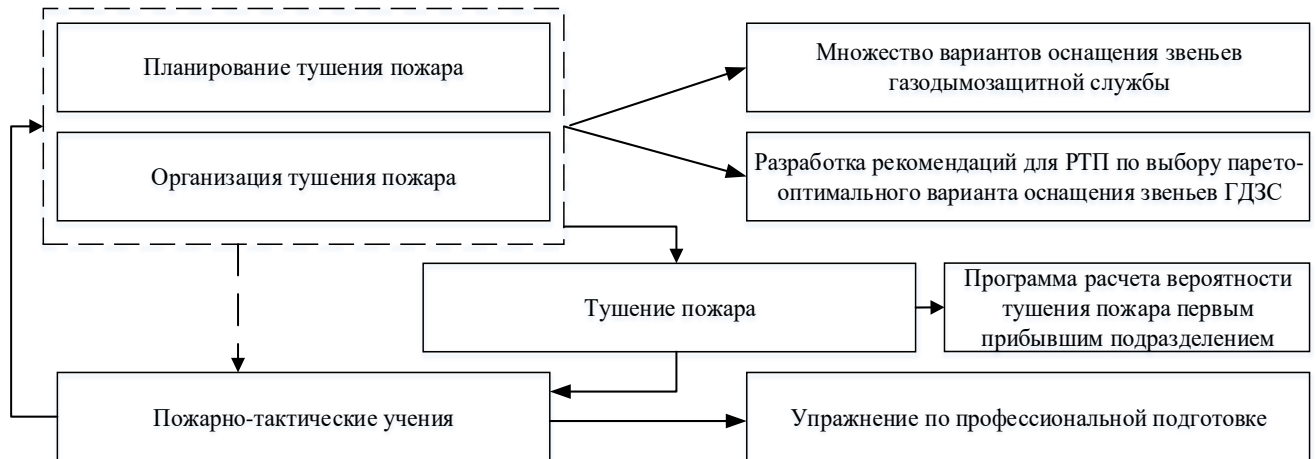


Рисунок 3.2 – Схема поддержки принятия управленческих решений на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях

3.1. Описание организационной системы и модели для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств

В качестве ОС выступает пожарно-спасательный гарнизон, субъектом управления в ОС является пожарно-спасательный отряд, а объектом (элементами) – пожарно-спасательные, пожарные части. Внешняя среда – обстановка на пожаре. Внутренняя среда – взаимодействие между элементами (пожарными подразделениями и поиском очага пожара как процесса).

ОС функционирует в двух режимах – нормальном и особом. В нормальном режиме система (ПСГ) реагирует и ликвидирует возникшее деструктивное событие (пожар) при помощи своих элементов (силами и средствами пожарно-спасательной части, объектовой пожарной части и др., в районе выезда которых возник пожар). В особом режиме функционирования система (ПСГ, в районе которого возник пожар) не справляется с задачей тушения пожара собственными силами, поэтому необходимо привлечение дополнительных сил и средств (пожарных подразделений из других районов выезда).

Целевой функцией ПСГ как ОС является поддержание боеспособности пожарных подразделений или их способности к выполнению функций по подготовке к спасению людей и тушению пожаров.

Под управлением в организационной системе понимается воздействие субъекта управления на объект управления для приведения системы в некое целевое состояние. Рассмотрим его через общеизвестную функцию риска R .

Функция «риск-анализ» R представляет собой выражение:

$$R = B(p_o) \cdot B(p_T), \quad (3.1)$$

где $B(p_o)$ – параметр, характеризующий вероятность обнаружения пожара. Может принимать следующие значения $B(p_o) = \{1; 2; 3; 4; 5\}$;

$B(p_T)$ – параметр, характеризующий вероятность тушения пожара. Может принимать следующие значения $B(p_T) = \{1; 2; 3; 4; 5\}$.

Необходимо учесть, что R является дискретной функцией и принимает следующие значения $R = \{1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 12; 15; 16; 20; 25\}$. Представим эти значения в виде матрицы (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Матрица значений функции риска R

$B(p_o)$	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
		$B(p_T)$				

Вероятность возникновения события (обнаружения или тушения пожара) можно рассчитать по выражению:

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{S_A}{S_B}\right), \quad (3.2)$$

где S_A – тактические возможности пожарного подразделения (площадь), m^2 ;

S_B – расчетная площадь поиска или пожара, m_2 .

Так при определении вероятности обнаружения p_0 : площадь, которую может обследовать группа разведки за время τ будет $S_{TB}^o = S_A$, расчетная площадь поиска, которую способна обследовать группа разведки в составе m звеньев газодымозащитной службы будет $S_p = S_B$, а при определении вероятности тушения пожара p_T : площадь, которую может потушить группа разведки будет $S_{TB}^T = S_A$, площадь пожара на момент времени его обнаружения $t = t_0 + \tau$ будет $S_{\Pi} = S_B$.

Далее обозначим через $z = \frac{S_A}{S_B}$, и с учетом выражения (3.2) сформируем диапазоны значений вероятностей обнаружения и тушения пожара в здании в зависимости от тактических возможностей группы разведки (S_{TB}^o, S_{TB}^T) и занесем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Диапазоны вероятностей в зависимости от тактических возможностей группы разведки

Вероятность обнаружения пожара p_0	Соотношение площадей S_{TB}^o, S_p	$B(p_0)$	Вероятность тушения пожара p_T	Соотношение площадей S_{TB}^T, S_{Π}	$B(p_T)$
$0 < p_0 \leq 0,64$	$z \leq 1$	1	$0 < p_T \leq 0,64$	$z \leq 1$	1
$0,64 < p_0 \leq 0,70$	$1 < z \leq 1,2$	2	$0,64 < p_T \leq 0,70$	$1 < z \leq 1,2$	2
$0,70 < p_0 \leq 0,78$	$1,2 < z \leq 1,5$	3	$0,70 < p_T \leq 0,78$	$1,2 < z \leq 1,5$	3
$0,78 < p_0 \leq 0,82$	$1,5 < z \leq 1,7$	4	$0,78 < p_T \leq 0,82$	$1,5 < z \leq 1,7$	4
$0,82 < p_0 \leq 1$	$1,7 < z$	5	$0,82 < p_T \leq 1$	$1,7 < z$	5

На основе диапазонов вероятностей и значений параметров $B(p_0)$ и $B(p_T)$ и таблицы 3.2 сформирована матрица вероятностей обнаружения и тушения пожара в здании текстильных производств (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Матрица вероятностей обнаружения и тушения пожара в здании текстильных производств

			Вероятность тушения пожара p_T					
			практически невозможно	маловероятно	вероятно	вполне вероятно	высокая вероятность	
								1 ($p_T \in (0; 0,64]$)
	Низкий уровень выполнения задачи ($R \leq 3$)							
	Средний уровень выполнения задачи ($3 < R \leq 12$)							
	Высокий уровень выполнения задачи ($R > 12$)							
Вероятность обнаружения пожара p_o	высокая вероятность	5 ($p_o \in (0,82; 1]$)	5	10	15	20	25	
	вполне вероятно	4 ($p_o \in (0,78; 0,82]$)	4	8	12	16	20	
	вероятно	3 ($p_o \in (0,70; 0,78]$)	3	6	9	12	15	
	маловероятно	2 ($p_o \in (0,64; 0,70]$)	2	4	6	8	10	
	практически невозможно	1 ($p_o \in (0; 0,64]$)	1	2	3	4	5	

Представим описание вероятностей тушения p_T и обнаружения p_o пожара в зданиях текстильных производств в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Описание значений параметров, характеризующих вероятности обнаружения и тушения пожара

Значение параметров $B(p_o)$ и $B(p_T)$	Вероятность	Описание
1	Весьма маловероятно	– низкая степень возможности реализации тактических возможностей пожарных подразделений; – зависит от следования указаниям РТП
2	Маловероятно	– степень возможности реализации тактических возможностей пожарных подразделений ниже среднего; – зависит от следования указаниям РТП

Окончание табл. 3.4

3	Вероятно	– средняя степень возможности реализации тактических возможностей пожарных подразделений
4	Вполне вероятно	– зависит от случая, высокая степень возможности реализации тактических возможностей пожарных подразделений; – зависит от обучения (квалификации) личного состава пожарных подразделений
5	Высокая вероятность	– обязательно произойдет, высокий уровень боеспособности пожарных подразделений; – зависит от обучения (квалификации) личного состава пожарных подразделений

Приведем описание уровней выполнения задачи по тушению пожаров в зданиях текстильных производств и меры контроля/повышения уровня боеспособности пожарных подразделений в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Уровни выполнения задачи и меры контроля/повышения уровня боеспособности

Уровень выполнения задачи	Необходимость проведения мероприятий для повышения уровня боеспособности
Низкий ($R \leq 3$)	Уровень является недопустимым. Уровни, отмеченные красным цветом, должны быть увеличены и (или) исключены. Руководитель тушения пожара определяет необходимость немедленного устранения значительных рисков, приостановке работ до устранения рисков или планирование и выполнение мероприятий по снижению и (или) исключению рисков в установленные сроки
Средний ($3 < R \leq 12$)	Уровень, отмеченный желтым цветом, может быть повышен до того значения, насколько это практически обосновано путем применения мер защиты, т. е. необходимо планировать мероприятия по повышению и (или) исключению риска и определить сроки выполнения мероприятий. Мероприятия по повышению уровня боеспособности должны быть выполнены в установленные сроки
Высокий ($R > 12$)	Зона наиболее возможного приемлемого уровня боеспособности. Уровень, отмеченный зеленым цветом, является удовлетворительным и не требует дополнительных мер управления. Необходимо поддерживать уровень готовности (состояние боеспособности) системы на существующем уровне

Значения уровней выполнения задачи: низкий ($R \leq 3$), средний ($3 < R \leq 12$), высокий ($R > 12$) приняты по аналогии с рекомендациями [92] (Приложение 14).

Сформируем матрицу состояний организационной системы (таблица 3.6)

Таблица 3.6 – Матрица состояний организационной системы

S_{51}	S_{52}	S_{53}	S_{54}	S_{55}
S_{41}	S_{42}	S_{43}	S_{44}	S_{45}
S_{31}	S_{32}	S_{33}	S_{34}	S_{35}
S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	S_{25}
S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}

Рассмотрим подробнее полученную матрицу (таблица 3.6). Получим, что систему управления необходимо привести в целевое состояние S_{ij} , где $i, j = 1, 2, 3, 4, 5$. Всего получено $5 \times 5 = 25$ состояний, каждое из которых имеет свою характеристику (вес).

Исходя из матрицы вероятностей (таблица 3.3), сравним состояния системы управления S_{ij} , где $i, j = 1, 2, 3, 4, 5$. Они соответствуют значениям функции риска R . Так, видим, что $S_{11} = 1$, $S_{12} = S_{21} = 2$, $S_{13} = S_{31} = 3$, $S_{14} = S_{41} = S_{22} = 4$, $S_{15} = S_{51} = 5$, $S_{23} = S_{32} = 6$, $S_{24} = S_{42} = 8$, $S_{33} = 9$, $S_{25} = S_{52} = 10$, $S_{34} = S_{43} = 12$, $S_{35} = S_{53} = 15$, $S_{44} = 16$, $S_{45} = S_{54} = 20$, $S_{55} = 25$.

Для функционирования организационной системы (пожарно-спасательного гарнизона) в нормальном режиме необходимо обеспечить $p_t \rightarrow \max$ и $p_o \rightarrow \max$, которые находятся в состояниях $S_{35} = S_{53} = 15$, $S_{44} = 16$, $S_{45} = S_{54} = 20$, $S_{55} = 25$. При этом будет решена задача управления – распределения ресурсов (групповых фонарей, тепловизоров, камер КИД) для обеспечения боеспособности пожарных подразделений.

3.2. Анализ модели для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств

Рассмотрим организационную задачу обеспечения необходимых условий для обнаружения очага пожара и его локализации пожарным подразделением в составе одного, двух или трех звеньев ГДЗС, оснащенных дыхательными аппаратами, средствами мониторинга.

Организационно-технический уровень задачи заключается в определении численного состава газодымозащитников для обнаружения и тушения очага пожара в здании текстильного производства за требуемое время, выборе средств защиты от ОФП, воздействующих в процессе работы на газодымозащитников и подборе определенного типа средств мониторинга, улучшающих видимость при работе в дыму (исходные данные – в таблице 3.7).

Таблица 3.7 – Исходные данные по ресурсам

Значения	1	2	3	4
Дыхательный аппарат (X_1)	А	Б	В	Г
Средство мониторинга (X_2)	Групповой фонарь	Тепловизор	Камера КИД	–
Состав пожарного подразделения (X_3)	1 звено ГДЗС	2 звена ГДЗС	3 звена ГДЗС	–

Рассмотрим применение разработанной в диссертации модели в совокупности с математическими методами целочисленного программирования, которые рассматриваются как методы математической оптимизации, где переменные – целые числа.

Целевая функция: в задаче необходимо выбрать вариант, максимизирующий вероятность тушения пожара $p_T \rightarrow \max$ и вероятность обнаружения пожара в здании $p_o \rightarrow \max$.

Вероятности обнаружения пожара p_o и тушения пожара p_T определяется согласно выражению (3.2).

Пусть $S = 1350 \text{ м}^2$ (площадь контролируемой зоны извещателей дымовых линейных двухкомпонентных). Сформируем в программном модуле [72] и получим следующие исходные данные для решения задачи выбора ресурсов (оборудования) для пожарных подразделений (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Исходное множество вариантов и значения параметров задачи

Вариант	X_1	X_2	X_3	τ , мин	D , м	m	p_0	p_T
y_{111}	1	1	1	12,5	5	1	0,71	0,66
y_{112}	2	1	1	15	5	1	0,78	0,63
y_{113}	3	1	1	17,5	5	1	0,83	0,61
y_{114}	4	1	1	20	5	1	0,86	0,58
y_{211}	1	1	2	12,5	5	2	0,83	0,88
y_{212}	2	1	2	15	5	2	0,88	0,86
y_{213}	3	1	2	17,5	5	2	0,91	0,85
y_{214}	4	1	2	20	5	2	0,94	0,83
y_{311}	1	1	3	12,5	5	3	0,89	0,96
y_{312}	2	1	3	15	5	3	0,93	0,95
y_{313}	3	1	3	17,5	5	3	0,96	0,94
y_{314}	4	1	3	20	5	3	0,97	0,93
y_{121}	1	2	1	12,5	7	1	0,83	0,66
y_{122}	2	2	1	15	7	1	0,88	0,63
y_{123}	3	2	1	17,5	7	1	0,91	0,61
y_{124}	4	2	1	20	7	1	0,94	0,58
y_{221}	1	2	2	12,5	7	2	0,89	0,88
y_{222}	2	2	2	15	7	2	0,93	0,86
y_{223}	3	2	2	17,5	7	2	0,96	0,85
y_{224}	4	2	2	20	7	2	0,97	0,83
y_{321}	1	2	3	12,5	7	3	0,94	0,96
y_{322}	2	2	3	15	7	3	0,96	0,95
y_{323}	3	2	3	17,5	7	3	0,98	0,94
y_{324}	4	2	3	20	7	3	0,99	0,93
y_{131}	1	3	1	12,5	9	1	0,89	0,66
y_{132}	2	3	1	15	9	1	0,93	0,63
y_{133}	3	3	1	17,5	9	1	0,96	0,61
y_{134}	4	3	1	20	9	1	0,97	0,58
y_{231}	1	3	2	12,5	9	2	0,94	0,88
y_{232}	2	3	2	15	9	2	0,96	0,86
y_{233}	3	3	2	17,5	9	2	0,98	0,85
y_{234}	4	3	2	20	9	2	0,99	0,83
y_{331}	1	3	3	12,5	9	3	0,96	0,96
y_{332}	2	3	3	15	9	3	0,98	0,95
y_{333}	3	3	3	17,5	9	3	0,99	0,94
y_{334}	4	3	3	20	9	3	0,99	0,93

На рисунке 3.3 приведено визуальное отображение исходных данных множества вариантов Парето для выбора ресурсов пожарных подразделений (от 1 до 3 звеньев ГДЗС).

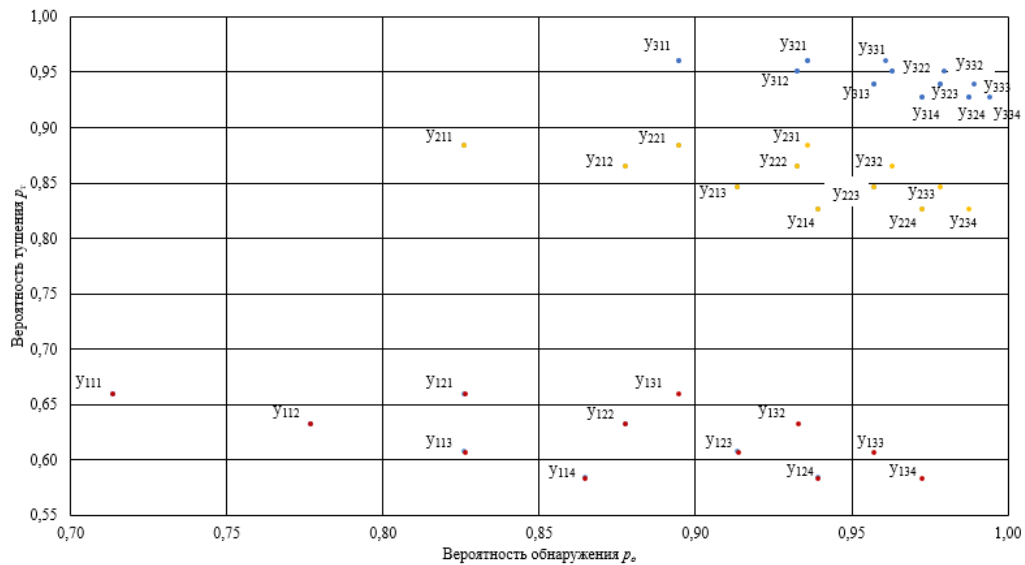


Рисунок 3.3 – Визуализация множества вариантов Парето

При решении многокритериальной задачи оптимизации процесса выбора оборудования (ресурсов) пожарных подразделений (звеньев ГДЗС) для поиска очага пожара в зданиях текстильных производств был использован принцип Парето [101]. Принцип Парето при выборе оборудования звеньев ГДЗС заключается в следующем: если РТП ведет себя «разумно», то решения по выбору оборудования звеньев ГДЗС при поиске очага пожара в зданиях обязательно должны быть парето-оптимальными. При этом из множества парето-оптимальных решений может быть выбрано любое.

Тем не менее, в большинстве задач с несколькими критериями множество Парето часто содержит более одного решения, что осложняет окончательный выбор. Поэтому появляется «проблема сужения множества Парето» [82, 83]. Исходя из этого, задача по нахождению множества выбираемых векторов $C(Y)$ будет состоять в сужении множества Парето $P(X)$ до искомого множества $C(Y)$. Данного рода сужение является обоснованным в том случае, когда есть дополнительная информация о предпочтениях ЛПР (РТП).

На первом этапе выбора ресурсов пожарных подразделений одним из наиболее удобных методов является сужение множества вариантов выбора при помощи метода по Парето.

Таким образом, получим множество выбираемых векторов со следующими координатами (вероятностями):

- для 1 звена ГДЗС: $P(Y_1) = \{(0,71; 0,66); (0,83; 0,66), (0,89; 0,66), (0,93; 0,63), (0,96; 0,61), (0,97; 0,58)\}$;
- для 2 звеньев ГДЗС: $P(Y_2) = \{(0,83; 0,88), (0,89; 0,89), (0,94; 0,88), (0,96; 0,86), (0,98; 0,85), (0,99; 0,83)\}$;
- для 3 звеньев ГДЗС: $P(Y_3) = \{(0,89; 0,96), (0,94; 0,96), (0,96; 0,96), (0,98; 0,95), (0,99; 0,94), (0,99; 0,93)\}$.

На основе анализа в каждом случае (для пожарных подразделений из 1, 2 или 3 звеньев ГДЗС) $y_{111}, y_{121}, y_{211}, y_{221}, y_{311}, y_{321}$ можно не рассматривать, так как они не являются парето-оптимальными. Следовательно, получим для каждого пожарного подразделения (1, 2, 3 звеньев ГДЗС) исходное множество Парето $P(Y_1) = \{y_{131}, y_{132}, y_{133}, y_{134}\}$, $P(Y_2) = \{y_{231}, y_{232}, y_{233}, y_{234}\}$, $P(Y_3) = \{y_{331}, y_{332}, y_{333}, y_{334}\}$.

Для 1 звена ГДЗС приведенный случай отображает рисунок 3.4, на котором видим, что для векторов y_{111} и y_{121} имеется доминирующий вектор y_{131} .

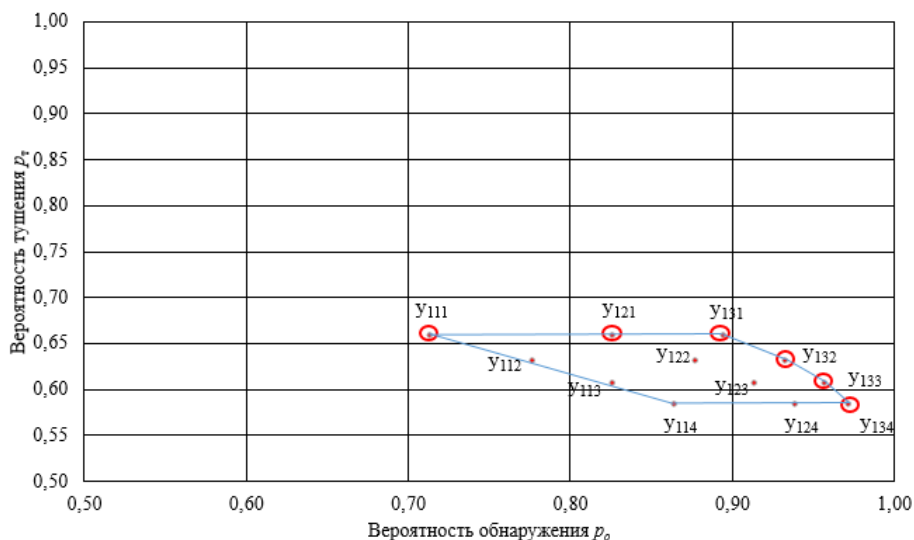


Рисунок 3.4 – Визуализация сужения множества вариантов выбора оснащения 1 звена ГДЗС

Для 2 звеньев ГДЗС приведенный случай отображает рисунок 3.5, на котором видим, что для векторов y_{211} и y_{221} имеется доминирующий вектор y_{231} .

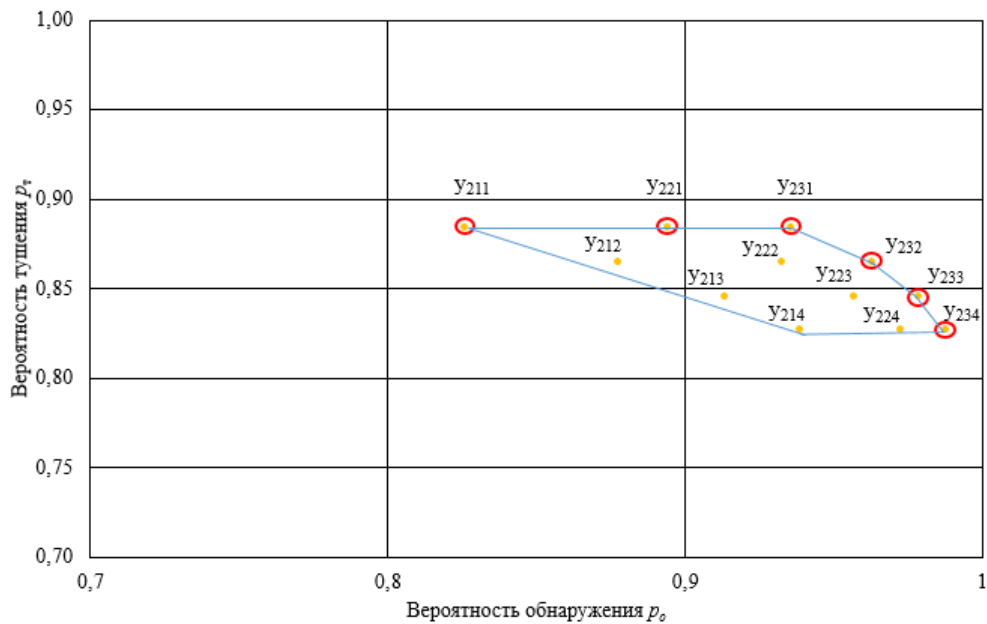


Рисунок 3.5 – Визуализация сужения множества вариантов выбора оснащения 2 звеньев ГДЗС

Для 3 звеньев ГДЗС приведенный случай отображает рисунок 3.6, на котором видим, что для векторов y_{311} и y_{321} имеется доминирующий вектор y_{331} .

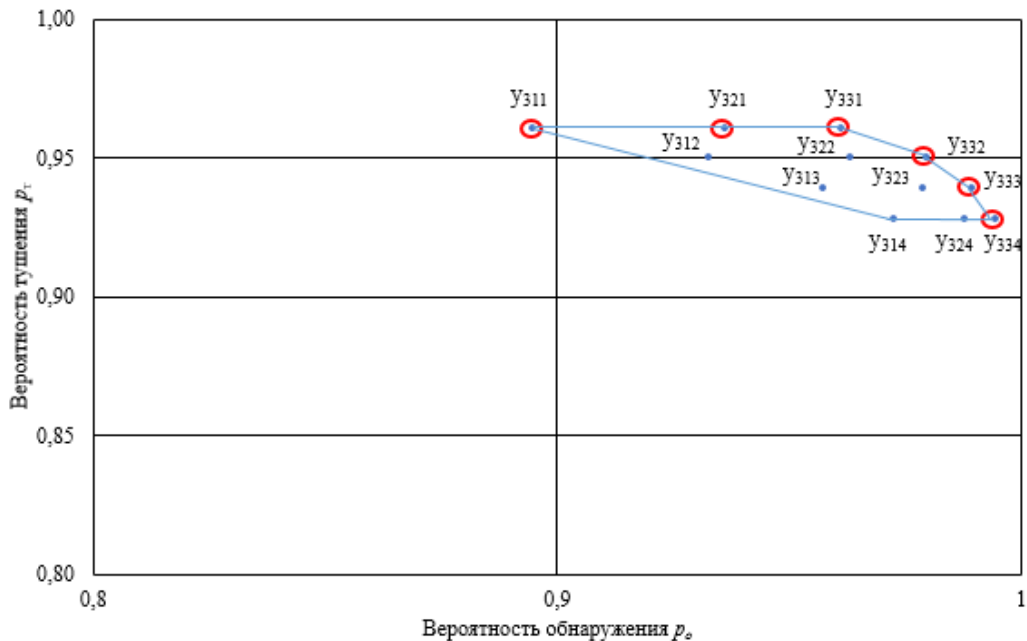


Рисунок 3.6 – Визуализация сужения множества вариантов выбора оснащения 3 звеньев ГДЗС

По итогу размеры множеств $P(Y_i)$ для выбора оборудования звеньев ГДЗС не позволяют осуществить окончательный выбор. Поэтому на втором этапе для дальнейшего сужения множеств $P(Y_i)$ выбираемых ресурсов воспользуемся двумя наиболее применяемыми методами и сравним полученные результаты между собой.

Сужение вариантов выбора ресурсов (оборудования звеньев ГДЗС) при помощи метрики Чебышева [82] будет основано на необходимом и достаточном условии слабой эффективности.

Для дальнейшего сравнения вариантов выбора ресурсов используем метод идеальной точки, рассмотренный в разделе 8.3 [150]. Основная идея заключается в том, чтобы выбрать ближайшую точку из множества Парето к точке утопии (идеальной точке).

Таким образом, для 1 звена получим точку утопии $u = (0,97; 0,66)$, координатами которой являются наибольшие значения p_T и p_o . Обозначим через z расстояние между точками. Получим: $z_1 = |u; y_{131}|$, $z_2 = |u; y_{132}|$, $z_3 = |u; y_{133}|$, $z_4 = |u; y_{134}|$. Воспользовавшись теоремой Пифагора, найдем расстояния и получим, что $z_3 = \min$, соответственно единственным решением для 1 звена будет y_{133} , как показано на рисунке 3.7.

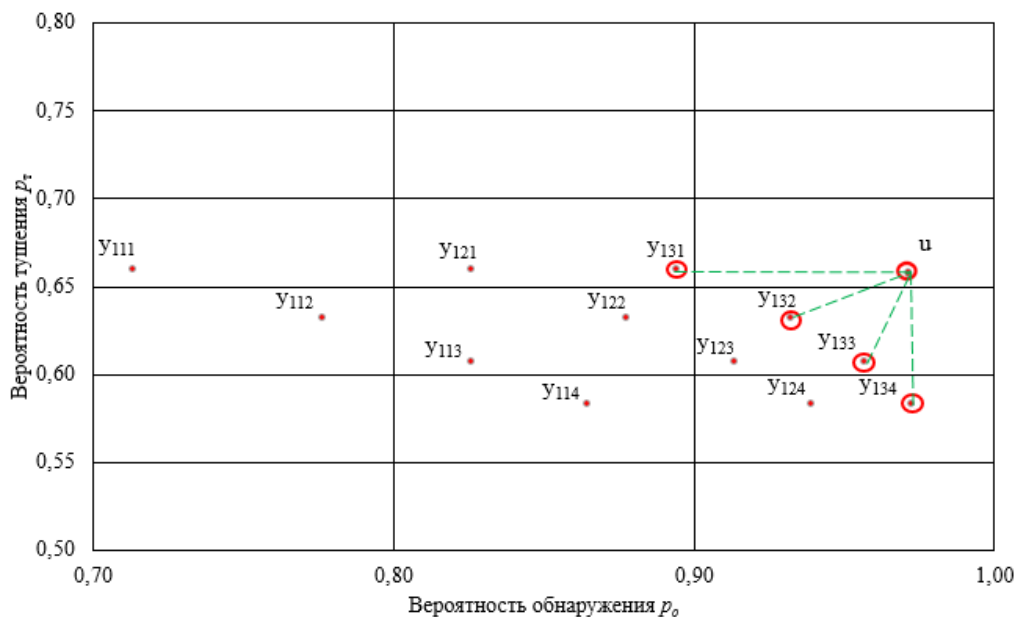


Рисунок 3.7 – Визуализация выбора ресурсов для 1 звена ГДЗС с использованием метрики Чебышева

Аналогично вышеприведенному решению получим точку утопии для 2 звеньев $u = (0,99; 0,88)$. Определим, что $z_3 = \min$, соответственно единственным решением для 2 звеньев будет y_{233} , как показано на рисунке 3.8.

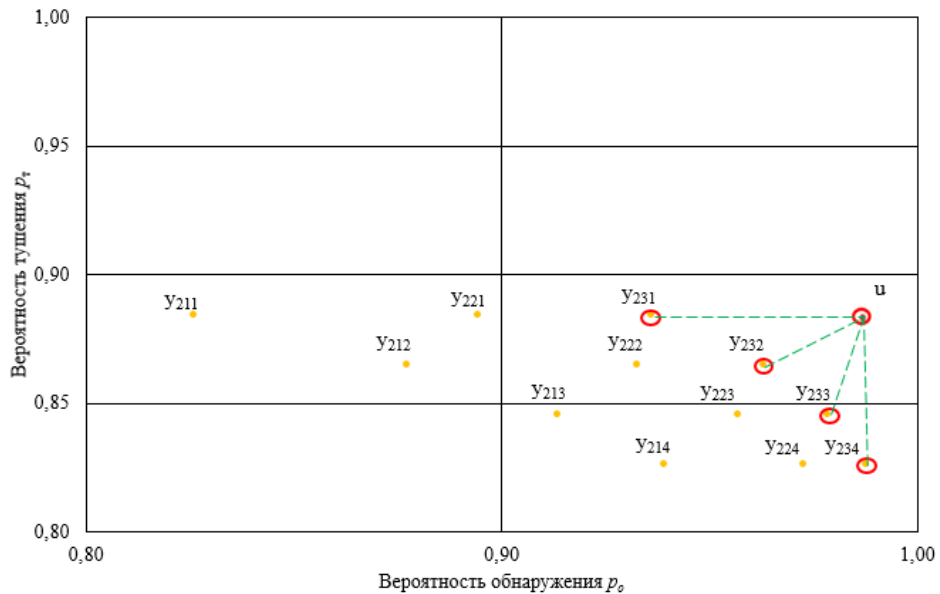


Рисунок 3.8 – Визуализация выбора ресурсов 2 звеньев ГДЗС с использованием метрики Чебышева

Аналогично вышеприведенному решению получим точку утопии для 3 звеньев $u = (0,99; 0,96)$. Определим, что $z_3 = \min$, соответственно единственным решением для 3 звеньев будет y_{332} , как показано на рисунке 3.9.

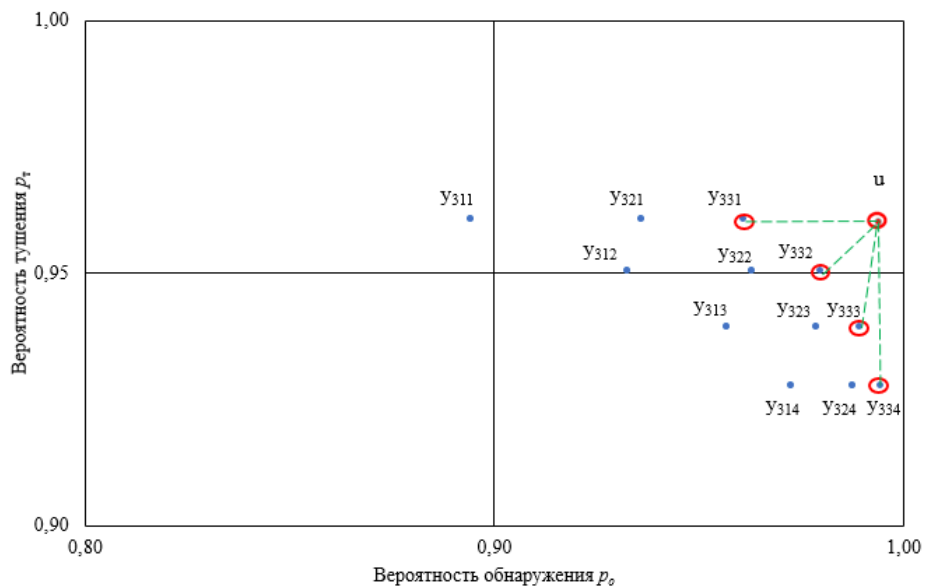


Рисунок 3.9 – Визуализация выбора ресурсов для 3 звеньев ГДЗС с использованием метрики Чебышева

Аналогично метрике сужения по Чебышеву идея метода сужения при помощи евклидовой метрики заключается в том, чтобы выбрать ближайшую точку из множества Парето к точке утопии (идеальной точке) [150]. Согласно этому методу получим, что в качестве идеальной будет выступать точка с координатами $p_T = \max$ и $p_o = \max$, т. е. для вариантов выбора ресурсов всех пожарных подразделений (1, 2 и 3 звеньев ГДЗС) $u = (1,0; 1,0)$.

Как и в предыдущем способе, обозначим через z расстояние между точками. Получим, что $z_1 = |u; y_{131}|$, $z_2 = |u; y_{132}|$, $z_3 = |u; y_{133}|$, $z_4 = |u; y_{134}|$, и по теореме Пифагора найдем расстояния от каждой точки множества. По итогу определим, что $z_3 = \min$, соответственно единственным вариантом выбора ресурсов для 1 звена будет y_{133} , как показано на рисунке 3.10.

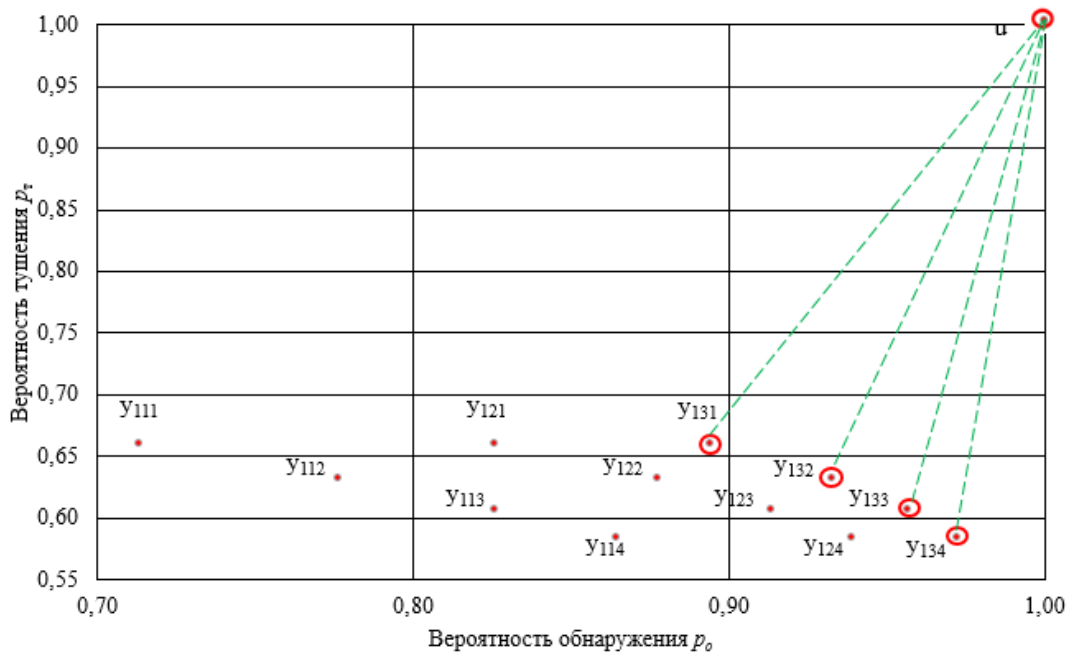


Рисунок 3.10 – Визуализация метода сужения с использованием евклидовой метрики для множества вариантов выбора оснащения 1 звена ГДЗС

Аналогично вышеприведенному решению определим, что $z_2 = \min$, и единственным решением для 2 звеньев будет y_{133} , как показано на рисунке 3.11.

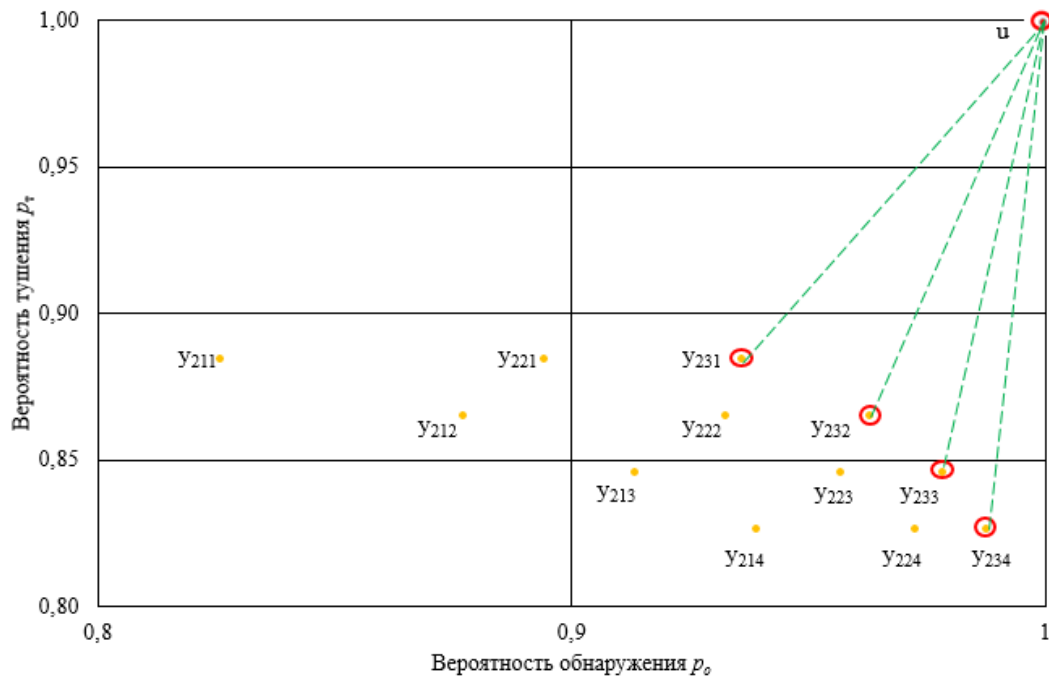


Рисунок 3.11 – Визуализация метода сужения с использованием евклидовой метрики для множества вариантов выбора оснащения 2 звеньев ГДЗС

Аналогично пожарному подразделению, состоящему из 3 звеньев ГДЗС, определим, что $z_3 = \min$, и единственным решением для 3 звеньев будет u_{332} , как показано на рисунке 3.12.

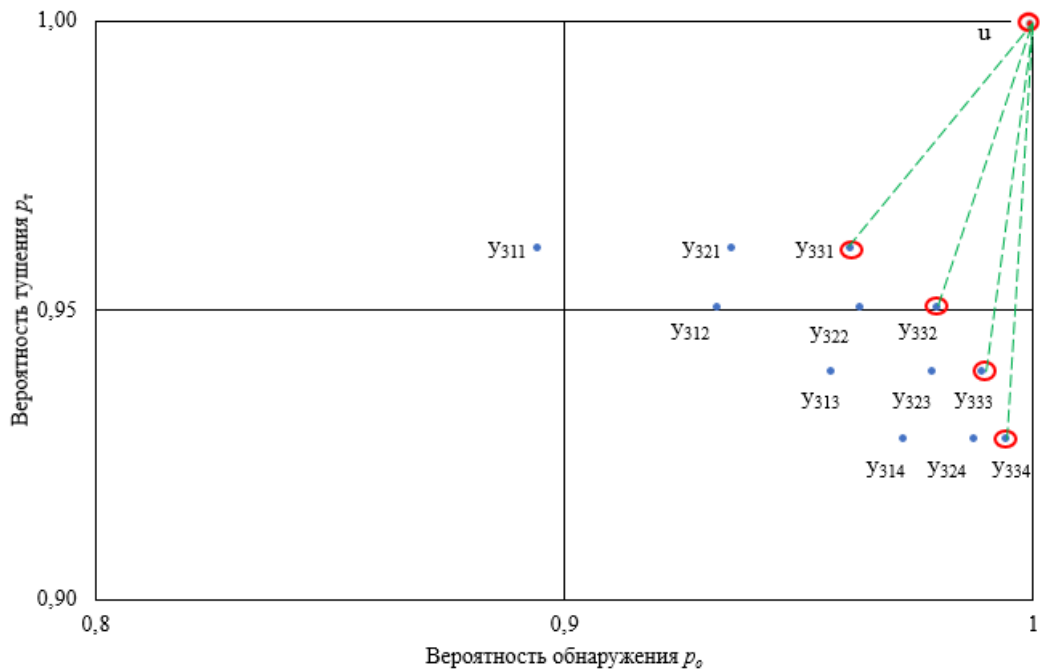


Рисунок 3.12 – Визуализация метода сужения с использованием евклидовой метрики для множества вариантов выбора оснащения 3 звеньев ГДЗС

3.3. Задача синтеза управлений

Опишем получаемые решения для пожарных подразделений, состоящих из 1, 2, 3 звеньев ГДЗС, и принимаемые в связи с этим управленческие решения по распределению ресурсов (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Варианты принимаемых управленческих решений

Возможные варианты	Описание управленческого решения
У ₁₃₁	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат А, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 1 звено ГДЗС
У ₁₃₂	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат Б, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 1 звено ГДЗС
У ₁₃₃	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат В, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 1 звено ГДЗС
У ₁₃₄	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат Г, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 1 звено ГДЗС
У ₂₃₁	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат А, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 2 звена ГДЗС
У ₂₃₂	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат Б, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 2 звена ГДЗС
У ₂₃₃	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат В, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 2 звена ГДЗС
У ₂₃₄	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат Г, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 2 звена ГДЗС
У ₃₃₁	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат А, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 3 звена ГДЗС
У ₃₃₂	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат Б, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 3 звена ГДЗС
У ₃₃₃	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат В, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 3 звена ГДЗС
У ₃₃₄	Использовать следующие ресурсы: дыхательный аппарат Г, средство мониторинга – камера КИД, состав пожарного подразделения – 3 звена ГДЗС

3.4. Исследование устойчивости решений

В данном разделе в рамках приведенной ранее задачи по поиску очага пожара в здании звеньями ГДЗС для сужения множества Парето:

– для 1 звена ГДЗС: $P(Y_1) = \{(0,71; 0,66); (0,83; 0,66), (0,89; 0,66), (0,93; 0,63), (0,96; 0,61), (0,97; 0,58)\}$;

– для 2 звеньев ГДЗС: $P(Y_2) = \{(0,83; 0,88), (0,89; 0,88), (0,94; 0,88), (0,96; 0,86), (0,98; 0,85), (0,99; 0,83)\}$;

– для 3 звеньев ГДЗС: $P(Y_3) = \{(0,89; 0,96), (0,94; 0,96), (0,96; 0,96), (0,98; 0,95), (0,99; 0,94), (0,99; 0,93)\}$

был использован комбинированный подход, содержащий два этапа.

На первом этапе был применен метод сужения множества по Парето. Для каждого варианта при количестве пожарных подразделений для поиска в составе 1, 2 или 3 звеньев ГДЗС можно не рассматривать $y_{111}, y_{121}, y_{211}, y_{221}, y_{311}, y_{321}$, так как они не являются парето-оптимальными. Таким образом, для пожарных подразделений в составе 1, 2 или 3 звеньев ГДЗС исходными множествами Парето будут соответственно $P(Y_1) = \{y_{131}, y_{132}, y_{133}, y_{134}\}$, $P(Y_2) = \{y_{231}, y_{232}, y_{233}, y_{234}\}$, $P(Y_3) = \{y_{331}, y_{332}, y_{333}, y_{334}\}$.

На втором шаге сравнивались такие методы, как сужение при помощи метрики Чебышева и сужение при помощи евклидовой метрики [82]. Оба способа позволили сузить множество $P(Y)$ до одного компромиссного варианта выбора ресурса. В таблице 3.10 представлены результаты сравнительного анализа результатов выбора ресурсов (оборудования) звеньев ГДЗС по методам (способам) выбора.

По таблице 3.10 можно сделать вывод, что при выборе ресурсов пожарных подразделений с учетом предпочтительности вероятности тушения пожара $p_T \rightarrow \max$ ЛПР необходимо выбрать из трех равнозначных вариантов: для пожарного подразделения из 1 звена ГДЗС – $y_{111}, y_{121}, y_{131}$, из 2 звеньев ГДЗС – $y_{211}, y_{221}, y_{231}$, из 3 звеньев ГДЗС – $y_{311}, y_{321}, y_{331}$. То есть, в существующей организационной системе управления на пожаре все три вида ресурса будут с

одинаковой вероятностью тушения p_T . При выборе с учетом вероятности обнаружения пожара $p_o \rightarrow \max$ – предпочтительным вариантом будет y_{134} , y_{234} , y_{334} , для пожарных подразделений из 1, 2 или 3 звеньев ГДЗС соответственно.

Таблица 3.10 – Результаты сравнительного анализа выбора ресурсов

Количество критериев	Методы (способы) выбора	Выбор ресурса		
		1 звено ГДЗС	2 звена ГДЗС	3 звена ГДЗС
однокритериальный	при $p_T \rightarrow \max$	$y_{111}, y_{121}, y_{131}$ ($p_T = 0,66$) состояния системы S_{33}, S_{34}, S_{35}	$y_{211}, y_{221}, y_{231}$ ($p_T = 0,88$) состояния системы S_{54}, S_{55}, S_{55}	$y_{311}, y_{321}, y_{331}$ ($p_T = 0,96$) состояния системы S_{55}, S_{55}, S_{55}
	при $p_o \rightarrow \max$	y_{134} ($p_o = 0,97$) состояние системы S_{52}	y_{234} ($p_o = 0,98$) состояние системы S_{54}	y_{334} ($p_o = 0,99$) состояние системы S_{55}
многокритериальный	по метрике Чебышева и евклидовой метрике (при $p_T \rightarrow \max$ и $p_o \rightarrow \max$)	y_{133} ($p_T = 0,61$, $p_o = 0,96$) состояние системы S_{53}	y_{233} ($p_T = 0,85$, $p_o = 0,98$) состояние системы S_{54}	y_{332} ($p_T = 0,95$, $p_o = 0,98$) состояние системы S_{55}

Однако ЛПР необходимо выбрать компромиссный вариант распределения ресурсов, максимизирующий оба показателя p_T и p_o . Этого можно достичь с использованием методов оптимизации по Парето. Таким образом, получим компромиссные варианты выбора ресурсов пожарных подразделений – для 1 звена ГДЗС – y_{133} (состояние системы S_{53}), 2 звеньев ГДЗС – y_{233} (состояние системы S_{54}) и для 3 звеньев ГДЗС – y_{332} (состояние системы S_{55}).

3.5. Идентификация и имитационное моделирование организационной системы

Имитационное моделирование процесса поиска очага и тушения пожара в здании текстильного производства будем проводить в программном продукте «Система моделирования развития и тушения пожаров» [129], разработанном Таракановым Д.В. и др. Краткая характеристика программного продукта согласно описанию: «программа позволяет создавать трехмерные модели зданий и при заданных параметрах типовой горючей нагрузки рассчитывать и визуализировать: динамику интегральных параметров опасных факторов пожара; динамику параметров развития пожара (линейную скорость пламени (м/с), площадь пожара (m^2), массу выгоревшего материала (кг) и мощность пожара (кВт)); параметры сосредоточения СИС пожарных подразделений (на основной пожарной технике); моменты введения приборов подачи огнетушащих веществ; параметры тушения пожара (требуемый и фактический расход огнетушащих веществ (л/с), удельный требуемый и фактический расход огнетушащих веществ (л/ m^2), объем поданного огнетушащего вещества (л); необходимые условия локализации и ликвидации пожара» [129].

Проведем моделирование процесса поиска очага и тушения пожара в здании текстильного производства. Внесем в базу данных программы [129] типовую горючую нагрузку: хлопок, лен, шерсть, дерево (тара), характерную для текстильного производства (рисунок 3.13).

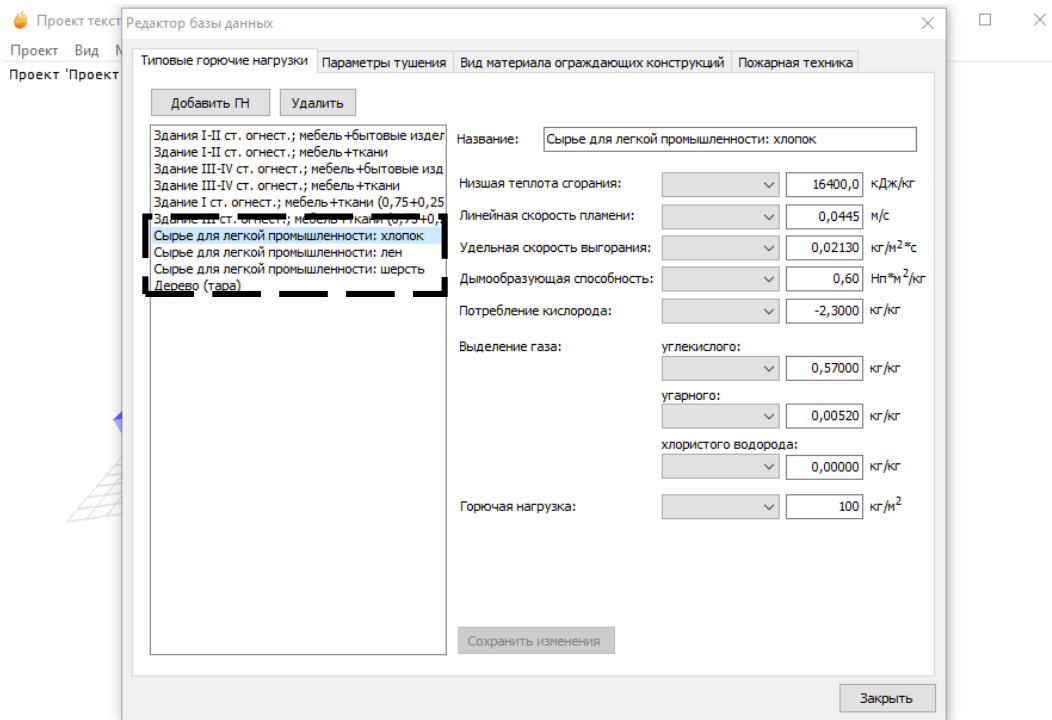


Рисунок 3.13 – Внесение в базу данных типовой горючей нагрузки текстильного производства

На рисунках 3.14–3.17 представлены графики динамики опасных факторов пожара при различной горючей нагрузке, характерной для зданий текстильных производств.

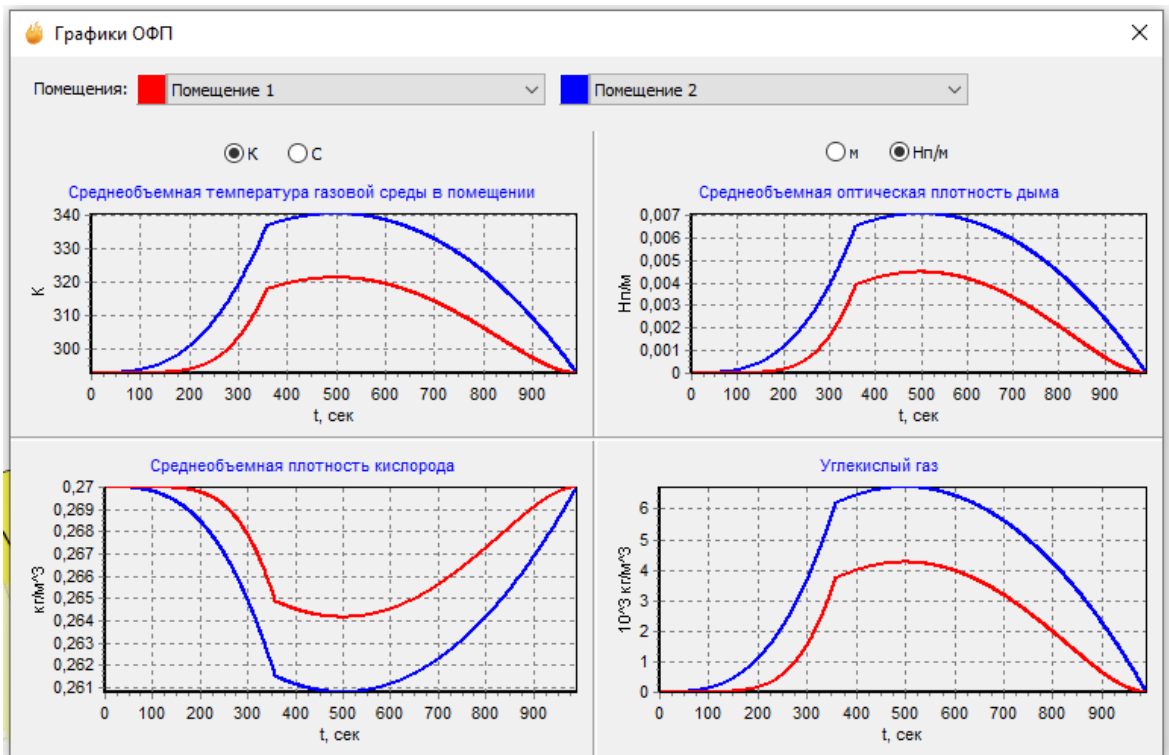


Рисунок 3.14 – Графики динамики ОФП (горючая нагрузка – хлопок)

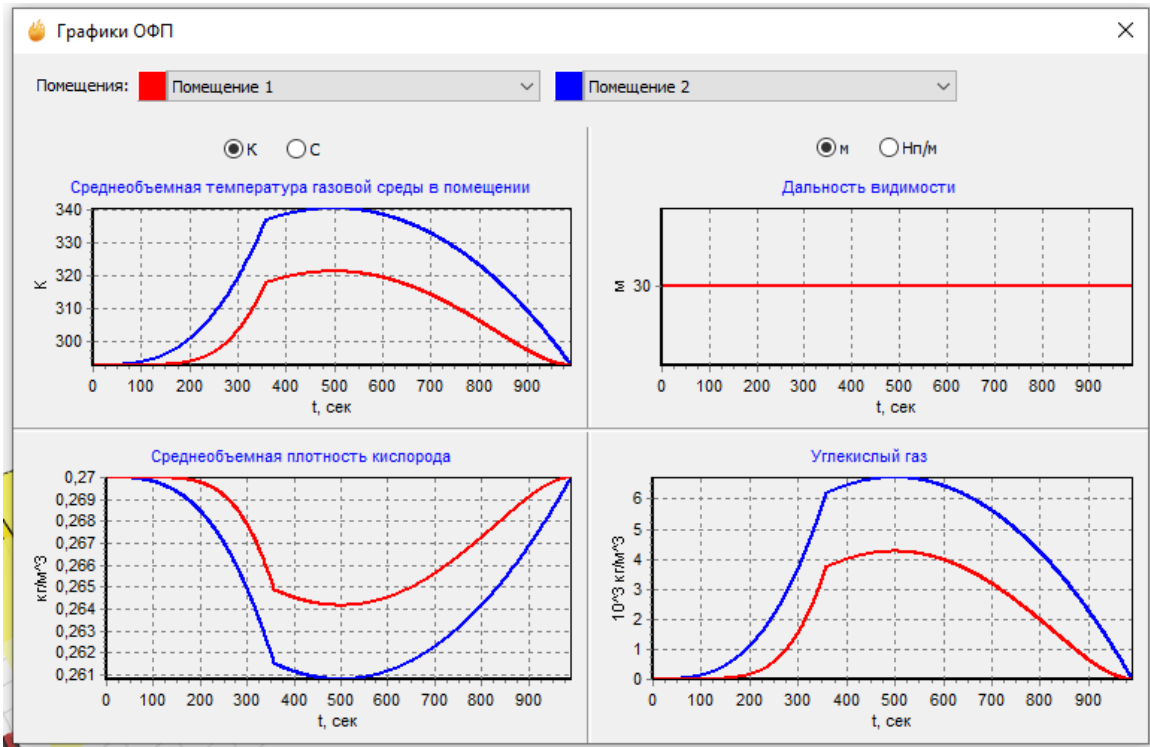


Рисунок 3.15 – Графики динамики ОФП и видимости (горючая нагрузка – хлопок)

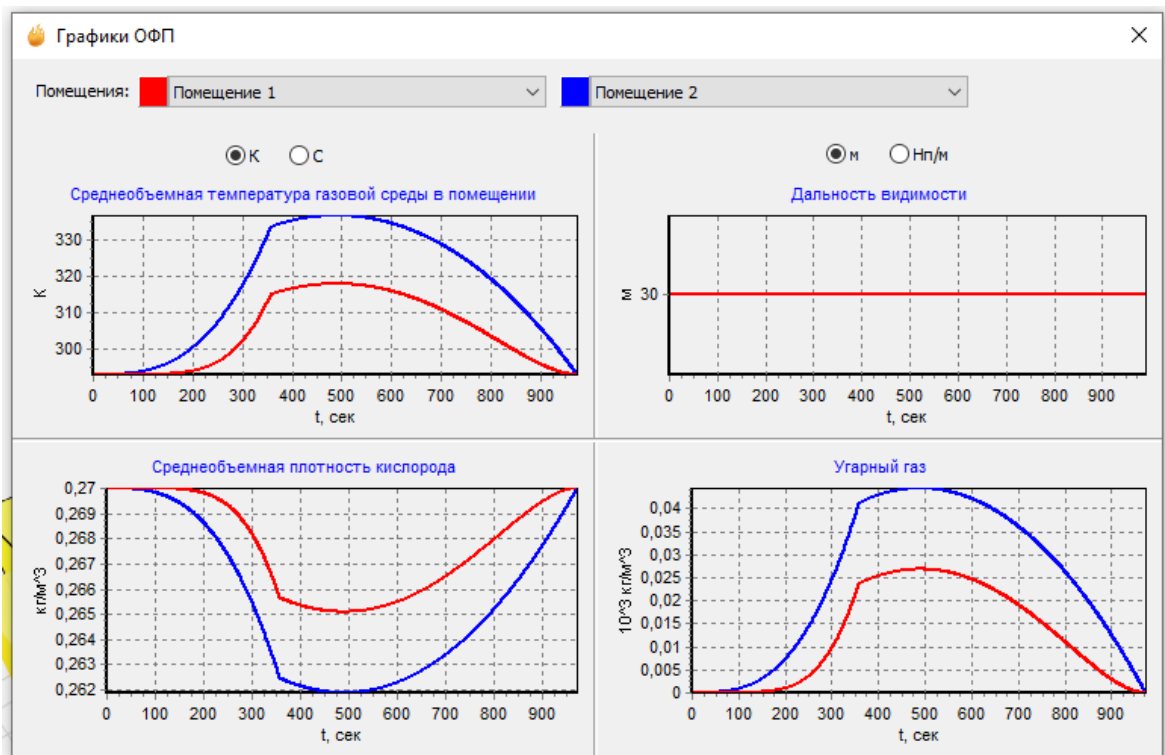


Рисунок 3.16 – Графики динамики ОФП (горючая нагрузка – лен)

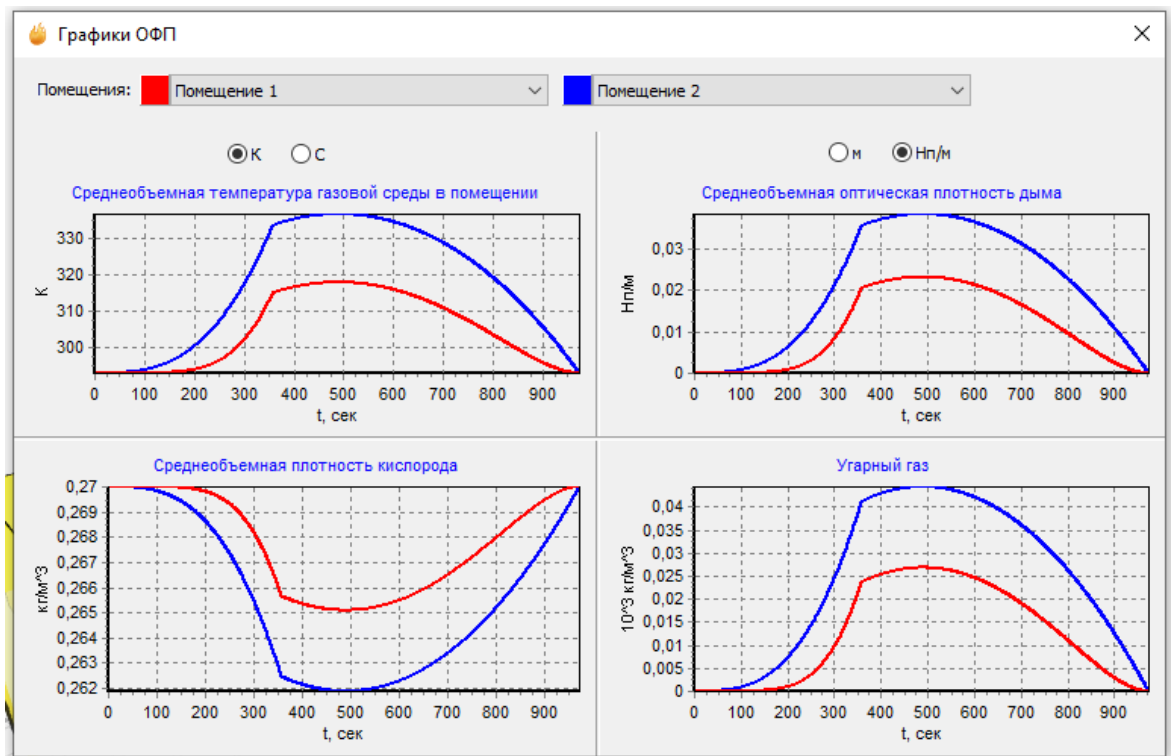


Рисунок 3.17 – Графики динамики ОФП и видимости (горючая нагрузка – лен)

Программный продукт, используемый для имитационного моделирования, позволяет смоделировать прибытие пожарных подразделений, их количество, проведение поиска очага пожара в здании по кратчайшему маршруту (то есть по информации от системы автоматической пожарной сигнализации (местоположение очага пожара по адресу ближайшего пожарного извещателя)) и непосредственное начало тушения пожара, количество поданных стволов на тушение пожара, динамику развития и тушения пожара.

Таким образом рассмотрим «соотносимость» существующей модели и предложенной в работе модифицированной модели поиска очага пожара. Смоделируем ситуацию: здание текстильного производства оборудовано автоматической пожарной сигнализацией адресного типа, горючая нагрузка – дерево (тара), пожарные подразделения на основных пожарных автомобилях (АЦ). Получим следующие результаты (рисунки 3.18, 3.19).

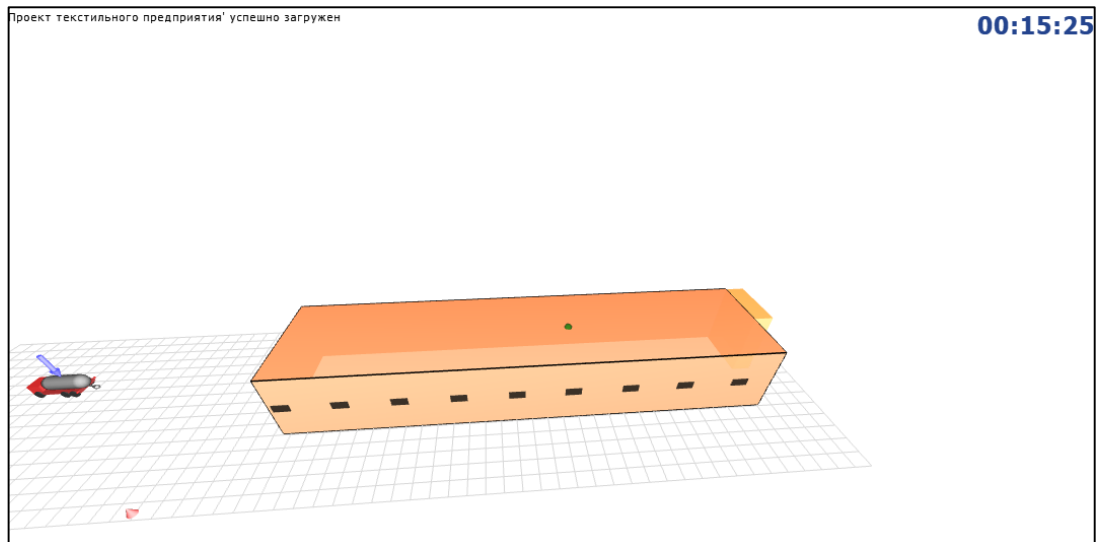


Рисунок 3.18 – Визуализация прибытия пожарных подразделений

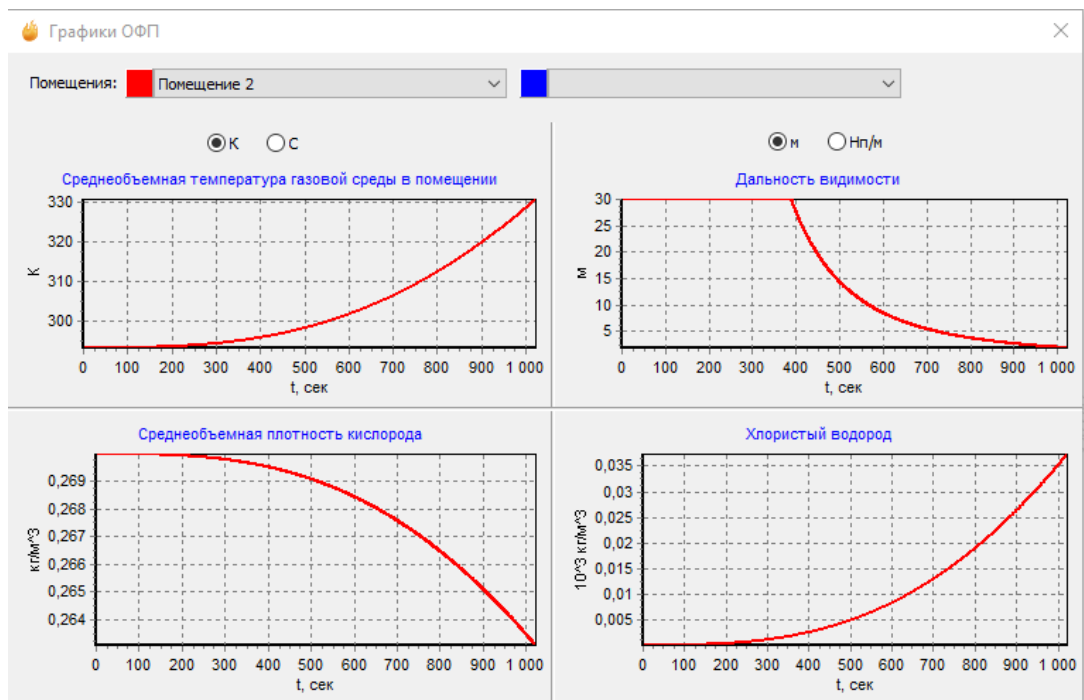


Рисунок 3.19 – Графики динамики ОФП

На момент прибытия пожарных подразделений (11 мин после начала пожара) видимость составила 6,5 м. Далее по графику (рисунок 2.8 главы 2 настоящей диссертационной работы) определим скорость движения звена ГДЗС с ПТВ $V = 25$ м/мин, производительность поиска для 1 звена ГДЗС $U^* = 2DV = 338$ м²/мин. При предельном значении видимости 1 м производительность $U_0 = 18$ м²/мин.

При использовании технического средства мониторинга – камеры КИД – видимость будет постоянной $D = 10$ м, а $U^* = 600$ м²/мин, это максимальная

производительность поиска. Теперь определим вероятность обнаружения по формуле $p = 1 - \frac{1}{K + bK - b}$, при $K = \exp\left(\frac{U_0 \cdot \tau}{S}\right)$, где $b = \frac{U^*}{U_0} - 1$ по формуле (2.40). Исходя из полученных значений U_0 и U^* , определим: $b = 338/18 - 1 = 17,78$. Далее получим графики вероятности обнаружения пожара и производительности поиска (рисунки 3.20, 3.21).

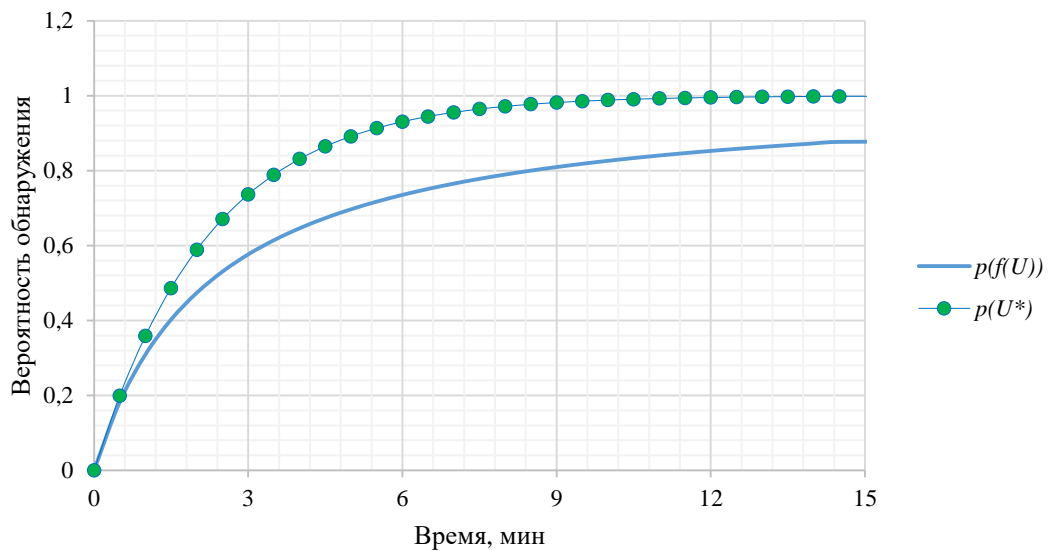


Рисунок 3.20 – Динамика вероятностей обнаружения очага пожара (типичная горячая нагрузка текстильных производств)

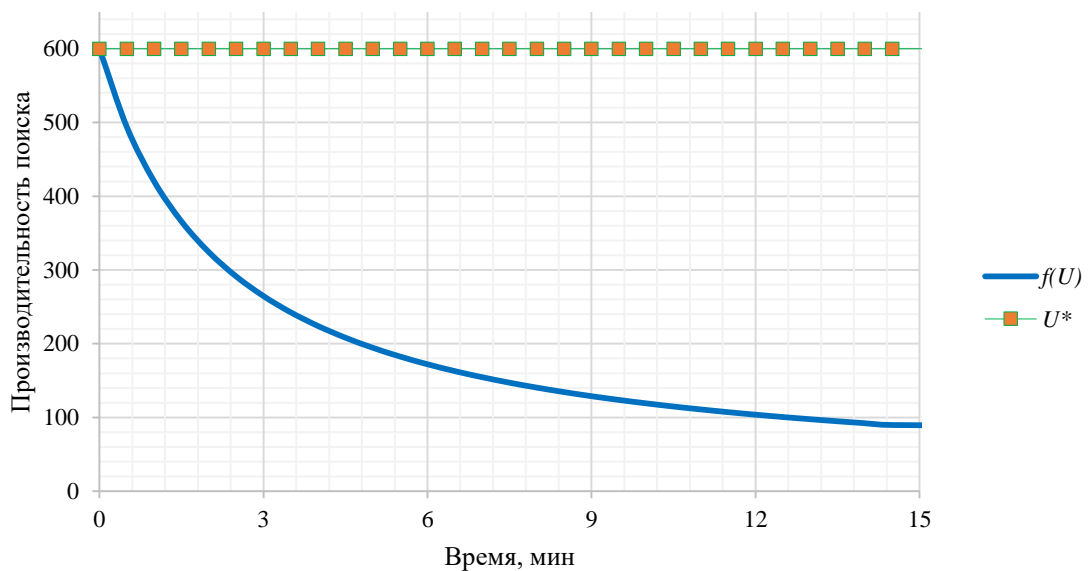


Рисунок 3.21 – Динамика производительности поиска очага пожара (типичная горячая нагрузка текстильных производств)

По построенным графикам определим условия поиска в имитационном моделировании в соответствии с предложенной в таблице 2.1 классификацией условий поиска в зданиях текстильных производств (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Сравнение результатов моделирования с условиями поиска на основе коэффициента b

Коэффициент b	$b \leq 0,11$	$0,11 < b \leq 0,33$	$0,33 < b \leq 1$	$1 < b \leq 9$	$b > 9$	Результаты моделирования ($b = 17,78$)
Уровень	незначительный	слабый	средний	высокий	очень высокий	очень высокий
Время поиска очага пожара с использованием технических средств мониторинга, t_{\max} , мин	4,3					4,3
Время поиска очага пожара без использования технических средств мониторинга, t , мин	4,53	4,75	5,8	9,0	10,1	11,1
Соотношение, %	5,1	10,5	25,9	52,2	57,4	61,3

Анализируя данные, представленные в таблице 3.11, можно сделать вывод, что по результатам имитационного моделирования действий пожарных подразделений при поиске очага пожара в здании текстильного производства с использованием технических средств мониторинга (камеры КИД) при вероятности обнаружения очага пожара (надежности разведки очага пожара) $p_o = 0,85$ время поиска составило 4,3 мин, без использования технических средств мониторинга время поиска варьируется от 4,53 до 11,1 мин в зависимости от уровня коэффициента b , показывающего степень изменения производительности поиска за время поиска, от незначительного до очень высокого; эффективность применения технических средств мониторинга КИД в зависимости от уровня коэффициента b находится в диапазоне от 5,1 до 57,4 %.

Таким образом, использование технических средств мониторинга (тепловизоров, камер КИД) пожарными подразделениями повысит их производительность поиска очага пожара, тем самым уменьшится время обнаружения и тушения пожара в зданиях текстильных производств, сократится материальный ущерб от пожара.

3.6. Внедрение результатов (обучение управленческого персонала)

Для адаптации и применения новых видов оборудования – ресурсов (камер КИД, тепловизоров) – в пожарных подразделениях необходимо обучить личный состав ПО навыкам работы с ними в рамках профессиональной подготовки.

Профессиональная подготовка личного состава подразделений ПО осуществляется в соответствии с приказом МЧС России от 26.10.2017 г. № 472 «Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны» [90]. Согласно этому документу «пожарно-строевая подготовка в подразделениях ПО осуществляется в целях:

- обучения приемам и способам действий личного состава ПО с пожарной и аварийно-спасательной техникой, вооружением и оборудованием;
- выработки навыков слаженной работы и умелого применения пожарной, аварийно-спасательной техники, вооружения и оборудования при проведении боевых действий по тушению пожаров и ликвидации ЧС» [90].

Для достижения этих целей необходимо постоянно поддерживать необходимый уровень профессионализма пожарных путем выполнения нормативов по упражнениям. Нормируемые упражнения выполняются личным составом с соблюдением требований охраны труда [91].

Распоряжением МЧС России от 4.12.2023 г. № 1020 [93] был утвержден «Сборник упражнений по профессиональной подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы». Согласно документу [93] под «нормативами по профессиональной подготовке понимаются временные, количественные и качественные показатели

выполнения определенных задач, приемов и действий личным составом подразделений пожарной охраны, отделениями, дежурными караулами (сменами) с соблюдением последовательности (порядка) изложенных в сборнике нормативов».

Полученные результаты исследования времени τ обнаружения очага пожара на основе предложенной модели возможно использовать для определения временных показателей выполнения упражнений в разделе 3 «Нормативы с использованием СИЗОД» [93], а именно упражнение 3.8 «Прокладка заполненной рабочей рукавной линии в здании или сооружении при ограниченной / нулевой видимости звеном ГДЗС до условного очага». Зависимость $\tau = \frac{S}{U} \ln\left(\frac{1}{1-p}\right)$ будем использовать при определении времени выполнения упражнения 3.8 с использованием средств мониторинга пожара (тепловизоров, камер КИД), так как в этом случае производительность поиска является постоянной величиной ($U = \text{const}$).

В свою очередь, согласно модели, полученной в разделе 2.2 главы 2 настоящей диссертационной работы, производительность поиска будет динамической (зависимость $U = U_0 \left(\frac{K(1+b)}{K(1+b)-b} \right)$) ввиду увеличения концентрации дыма (оптической плотности дыма) в здании при пожаре и отсутствия у пожарных подразделений средств, улучшающих видимость. Согласно этой модели можно определить время выполнения упражнения 3.8 без использования средств мониторинга пожара (тепловизоров, камер КИД).

Условия выполнения упражнения: задымленное помещение площадью 200 м²; оптическая плотность дыма не менее 0,6 Нп/кг; звено ГДЗС, оснащенное средством мониторинга инфракрасного диапазона; 2 напорных рукава диаметром 51 мм.

Исходные данные для упражнения с использованием технических средств мониторинга: $V = 30$ м/мин, $D = 10$ м, $U = 2DV = 600$ м²/мин. Получим следующие

значения времени на выполнение упражнения для p со значениями вероятности обнаружения 0,85; 0,9 и 0,95 по графику на рисунке 3.22.

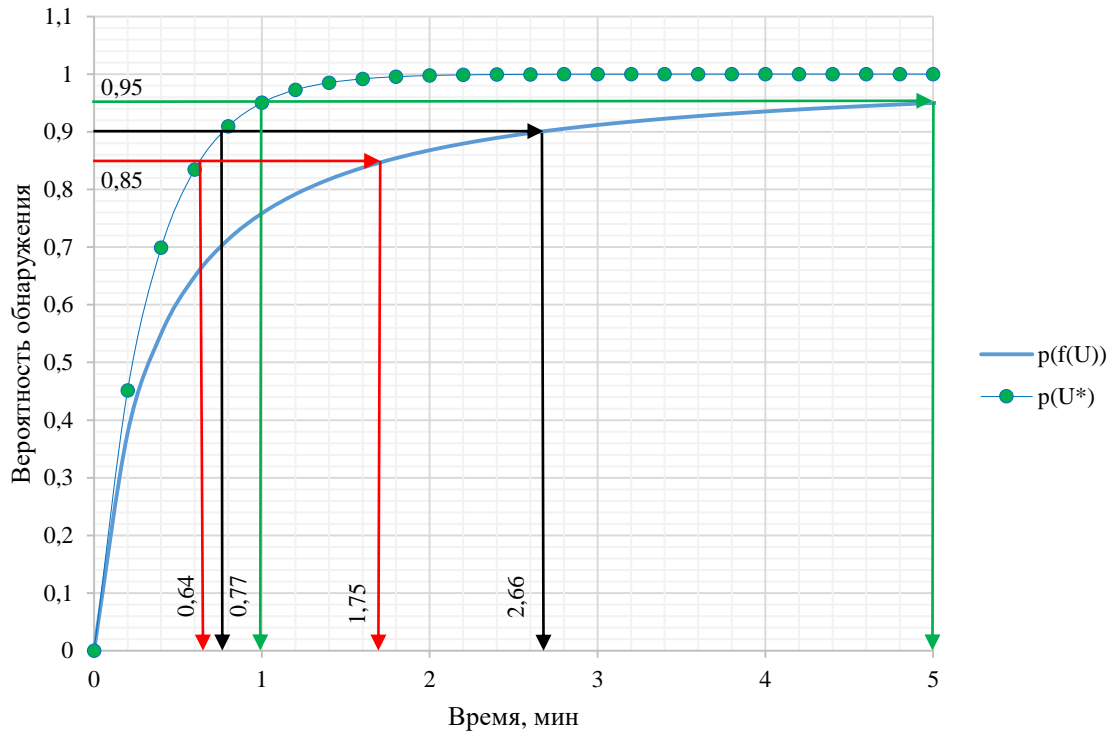


Рисунок 3.22 – Динамика вероятности обнаружения очага пожара во времени

Полученные результаты определения временных показателей для выполнения упражнения 3.8 «Сборника упражнений по профессиональной подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы» по разработанной модели приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Результаты определения временных показателей для выполнения упражнения 3.8

Время на выполнение норматива	Оценки		
	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно
С использованием средств мониторинга инфракрасного диапазона	38 с	46 с	60 с
Без средств мониторинга инфракрасного диапазона	105 с	160 с	300 с

Таким образом, составим таблицу результатов диссертации настоящей диссертационной работы и их соответствие этапам технологии управления ОС (по теории д-ра техн. наук, проф., академика РАН Новикова Д.А.) [81] (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Сопоставление результатов диссертации с технологией управления организационными системами

№ п/п	Этапы технологии управления ОС	Укрупненные этапы	Результаты, полученные в диссертации
1.	Описание системы и построение модели	Теоретическое исследование	Приведено описание системы – пожарная часть, ее элементов – пожарные подразделения (звенья ГДЗС), ресурсов – групповой фонарь, тепловизор, камера КИД, разработана матрица состояний (функционирования) организационной системы.
2.	Анализ модели		Проанализирована существующая модель поиска очага пожара в здании, предложена модифицированная модель, которая учитывает динамику производительности поиска на основе горючей нагрузки в зданиях текстильных производств.
3.	Задача синтеза управлений		Исследована и описана процедура принятия решения по выбору ресурсов (групповой фонарь, тепловизор, камера КИД) пожарных подразделений методами оптимизации по Парето.
4.	Исследование устойчивости решений		Проведено сравнение процедур принятия решений по распределению ресурсов пожарных подразделений методами оптимизации по Парето. Получено, что результатом выбора ресурсов является один и тот же вариант для пожарных подразделений (1, 2 и 3 звеньев ГДЗС).
5.	Идентификация ОС, имитационное моделирование	Настройка модели	Для использования модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств и разработанных на основе нее процедур принятия решений по выбору ресурсов проведена идентификация организационной системы и выполнено имитационное моделирование реагирования пожарных подразделений на пожар в здании текстильного производства.

Окончание табл. 3.12

6.	Обучение управленческого персонала, внедрение, анализ эффективности практического использования и т. д.	Внедрение	Предложено использование разработанной модели поиска очага пожара в здании для планирования обучения пожарных в рамках профессиональной подготовки в пожарных частях – разработаны количественные показатели оценки упражнения 3.8 «Прокладка заполненной рабочей рукавной линии в здании или сооружении при ограниченной / нулевой видимости звеном ГДЗС до условного очага» Сборника упражнений по профессиональной подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы.
----	---	-----------	---

В конечном итоге можно сделать вывод о том, что результаты диссертации реализуют технологию управления ОС и формируют, в свою очередь, практико-ориентированную технологию управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.

3.7. Выводы по третьей главе

В третьей главе получены следующие научные и практические результаты.

1. Предложена процедура принятия решения по управлению ресурсами пожарных подразделений (дыхательного аппарата, технических средств мониторинга: тепловизор, камера коротковолнового инфракрасного диапазона) на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств. Процедура построена на основе общей технологии управления в организационных системах и включает в себя три этапа: 1) теоретическая формализация показателей целесообразности применения технических средств мониторинга; 2) имитационное моделирование для предварительной оценки эффективности применения средств мониторинга; 3) внедрение результатов и обучение управленческого персонала.

2. Разработан комплекс показателей, позволяющих на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств оценить целесообразность применения ресурсов для обеспечения необходимого уровня тушения пожара в зданиях текстильных производств.

3. Проведено имитационное моделирование действий пожарных подразделений при поиске очага пожара в здании текстильного производства. По результатам имитационного моделирования сделан вывод о том, что при вероятности обнаружения очага пожара (надежности разведки очага пожара) $p_o = 0,85$ время поиска зависимости от значения коэффициента динамики производительности поиска от незначительного до очень высокого; эффективность применения технических средств мониторинга находится в диапазоне от 5,1 до 57,4 %, что позволяет оценить целесообразность использования технических средств мониторинга при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств.

4. На основе разработанной модели предложены временные показатели для подготовки управленческого персонала к использованию технических средств мониторинга при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств. Это

позволит повысить результативность внедрения данного вида ресурсов пожарных подразделений в их практическую деятельность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации получены следующие основные результаты.

1. Анализ пожаров в зданиях текстильных производств показал, что пожары на данных объектах наносят огромный материальный ущерб, требуют привлечения дополнительных ресурсов для их тушения ввиду повышенной пожарной опасности зданий. Анализ систем и средств мониторинга показал, что не представляется возможным применить метод поиска очага пожара по сети точечных извещателей, и наиболее перспективными являются технические средства мониторинга, такие как тепловизоры и камеры коротковолнового инфракрасного диапазона. Проведен анализ методов и механизмов управления ресурсами, которые применимы для решения задач управления ресурсами при тушении пожаров в зданиях текстильных производств. На основе модели функционирования пожарных подразделений выбрана вероятностно-статистическая теоретическая основа для разработки оптимизационной модели принятия решений. Определено, что необходима ее программная реализация модели для решения на ее основе трудоемких вычислительных задач.

2. Разработана модель для решения задач управления ресурсами при тушении пожаров в зданиях текстильных производств: модель поиска очага пожара в зданиях. Модель включает ожидаемую производительность поиска – показатель тактических возможностей пожарных подразделений в здании; площадь поиска – общий объем работы по поиску пожара в здании; надежность поиска – вероятностную оценку успеха при выполнении заданного объема работы. В отличие от известных моделей разработанная модель учитывает динамику производительности поиска при снижении видимости в дыму в результате горения различной горючей нагрузки.

3. На основе модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств разработан алгоритм распределения ресурсов пожарных подразделений, который реализован в виде программного модуля для практического применения на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств. На основе типовой активной и пассивной горючей

нагрузки получены исходные значения параметров условий поиска очага пожара, используемые в качестве базы данных для разработанного программного средства.

4. Предложена процедура принятия решения по управлению ресурсами пожарных подразделений на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств. Процедура построена на основе общей технологии управления в организационных системах и включает в себя три этапа: 1) теоретическая формализация показателей целесообразности применения технических средств мониторинга; 2) имитационное моделирование для предварительной оценки эффективности применения средств мониторинга; 3) внедрение результатов и обучение управленческого персонала.

5. Проведено имитационное моделирование действий пожарных подразделений при поиске очага пожара в здании текстильного производства. По результатам имитационного моделирования сделан вывод о том, что при вероятности обнаружения очага пожара (надежности разведки очага пожара) $p_o = 0,85$ время поиска варьируется в зависимости от значения коэффициента динамики производительности поиска; эффективность применения технических средств мониторинга находится в диапазоне от 5,1 до 57,4 %, что позволяет оценить целесообразность использования технических средств мониторинга при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств.

6. Совокупность результатов диссертации позволила предложить рекомендации для подготовки управленческого персонала по использованию технических средств мониторинга при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АЦ – автоцистерна;

БД – база данных;

ГДЗС – газодымозащитная служба;

КИД – коротковолновый инфракрасный диапазон;

ЛПР – лицо, принимающее решение;

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

ПАК – программно-аппаратный комплекс;

ПО – пожарная охрана;

ПСГ – пожарно-спасательный гарнизон;

ПСП – пожарно-спасательные подразделения;

ППР – поддержка принятия решений;

РТП – руководитель тушения пожара;

СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения;

СиС – силы и средства;

СПО – специальное программное обеспечение;

СППР – система поддержки принятия решений;

СПУ – система поддержки управления;

ТУОС – теория управления организационными системами;

УТП – участники тушения пожара;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЦППС – центральный пункт пожарной связи;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- TB – показатель уровня реализации тактических возможностей подразделения;
- d – эффективное расстояние между звеньями ГДЗС в группе разведки, м;
- D – дальность видимости группы разведки пожара, м;
- D^* – начальная видимость в дыму без применения средств мониторинга, м;
- D_0 – видимость в дыму с применением средств мониторинга, м;
- $D(\text{inf})$ – нижняя граница дальности видимости (infimum) при доверительной вероятности 0,95, м;
- D_{cp} – среднее значение дальности видимости, м;
- $D(\text{sup})$ – верхняя граница дальности видимости (supremum) при доверительной вероятности 0,95, м;
- D_R – видимость справа относительно центра группы разведки, м;
- D_L – видимость слева относительно центра группы разведки, м;
- F – фронт поиска очага пожара, м;
- L – путь движения группы разведки пожара, м;
- m – количество звеньев ГДЗС в группе разведки;
- $N_{\text{чел}}$ – количество участников тушения пожара;
- $N_{\text{ств}}$ – количество поданных стволов;
- $N_{\text{тех}}$ – количество работающей техники;
- p – вероятность успеха при поиске очага пожара;
- p_T – вероятность тушения пожара;
- p_o – вероятность обнаружения пожара;
- q – вероятность неудачи при обнаружении очага пожара;
- Q – расход воды, подаваемой на тушение, л/с;
- S – площадь, пройденная группой разведки за время (τ), м²;
- S_p – расчетная площадь поиска, которую способна обследовать группа разведки в составе m звеньев газодымозащитной службы, м²;
- S^* – площадь, которую может обследовать группа разведки пожара за время τ при максимальной производительности поиска, м²;

S_0 – площадь, которую может обследовать группа разведки пожара за время τ при минимальной производительности поиска, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$;

$S_{ГДЗС}$ – площадь обследуемой зоны поиска очага пожара звеном ГДЗС, м^2 ;

$S_{туши}$ – площадь тушения пожара, м^2 ;

$S_{ТВ}^o$ – площадь, которую может обследовать группа разведки за время τ , м^2 ;

$S_{ТВ}^\tau$ – площадь, которую может потушить группа разведки, м^2 ;

S_{Π} – площадь пожара на момент времени его обнаружения $t = t_0 + \tau$, м^2 .

τ – время поиска очага пожара, мин;

$t_{своб}$ – время свободного развития пожара, с;

$t_{лок}$ и $t_{ликв}$ – соответственно время локализации и ликвидации пожара, с;

U_0 – минимальное (при видимости, стремящейся к 0) значение производительности поиска очага пожара в здании группами разведки, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$;

U^* – начальное (максимальное) значение производительности поиска очага пожара, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$;

U – производительность поиска очага пожара, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$;

μ – оптическая плотность дыма, Нп/м;

V – скорость движения группы разведки, $\text{м} \cdot \text{мин}^{-1}$;

$V_{лок}$ и $V_{ликв}$ – соответственно скорость тушения пожара в периоды локализации и ликвидации пожара;

$V_{ов}$ – скорость движения звена ГДЗС, м/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптивная система поддержки деятельности центров управления в кризисных ситуациях: монография / Н.Г. Топольский, Р.Ш. Хабибулин, А.А. Рыженко, М.В. Бедило. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. – 151 с.
2. Айзекс, Р. Дифференциальные игры: монография / Р. Айзекс; пер. с англ. В.И. Аркина и Э.Н. Симаковой; под ред. М.И. Зеликина; с предисл. Л.С. Понтрягина. – М. : Мир, 1967. – 479 с.
3. Анализ выездов пожарной охраны / А.П. Чуприян, А.В. Матюшин, А.А. Порошин [и др.] // Актуальные проблемы пожарной безопасности: сборник материалов XXVII Международной науч.-практ. конф., посвященной 25-летию МЧС России в 3 частях. – М., 2015. – С. 174–183.
4. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров / В.В. Терещнев, А.О. Семенов, В.А. Смирнов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 9. – С. 51–57.
5. Анализ результатов испытаний средств визуализации различных диапазонов спектра для обнаружения очага возгорания и человека в огневом тренажерном комплексе ПТС «Уголек» / М.В. Алешков, Н.Г. Топольский, К.А. Михайлов [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2022. – Т. 10. – № 1. – С. 63–70. – DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-1-63-70.
6. Бабкин, В.Ф. Деловые имитационные игры в организации и управлении / В.Ф. Бабкин, С.А. Баркалов, А.В. Щепкин. – Воронеж : ВГАСУ, 2001. – 207 с.
7. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.М. Алехин и [др.]. – М. : ФАЗИС, 2004. – 172 с.
8. Белов, М.В. Методология комплексной деятельности / М.В. Белов, Д.А. Новиков. – М. : Ленанд, 2018. – 320 с.
9. Бриллюэн, Л. Наука и теория информации / Л. Бриллюэн; пер. с англ. А.А. Харкевича. – М. : Наука, 1960. – 392 с.

10. Брушлинский, Н.Н. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2011. – 173 с.

11. Брушлинский, Н.Н. О статистике пожаров и о пожарных рисках / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 4. – С. 40–48.

12. Брушлинский, Н.Н. Основы теории организации, функционирования и управления пожарно-спасательной службой и ее приложения / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // XXIX Международная науч.-практ. конф., посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: материалы конференции: В 2-х частях. – Ч. 2. – М. : ВНИИПО МЧС России, 2017. – С. 658.

13. Брушлинский, Н.Н. Проблемы обеспечения пожарной безопасности в мире на рубеже столетий / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, П. Вагнер // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2000. – № 6. – С. 68–72.

14. Бубырь, Н.Ф. Математическая модель боеспособности пожарных подразделений / Н.Ф. Бубырь, М.Д. Безбородько // Противодымная защита зданий и сооружений: сб. науч. тр. – М., 1977 – Вып. 2. – С. 175-182.

15. Бурков, В.Н. Введение в теорию управления организационными системами / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков; под ред. Д.А. Новикова. – М. : Либроком, 2009. – 264 с.

16. Бурков, В.Н. Механизмы управления эколого-экономическими системами / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, А.В. Щепкин. – М. : Физматлит, 2008. – 244 с.

17. Бурков, В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы: монография / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М. : Синтег, 1999. – 128 с.

18. Вилисов, В.Я. Программный комплекс распределения ресурсов пожарных подразделений при одновременных вызовах, построенный на основе машинообучаемой транспортной модели: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615359, 07.04.2021 г. / В.Я. Вилисов.

19. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – М. : Наука, 1983. – 338 с.

20. Власов, К.С. Анализ организации пожаротушения в программной среде Python («Пожаротушение – Python»): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680417, 10.12.2021 г. / К.С. Власов, В.В. Ильичев, А.А. Клавдиев, А.В. Лейченков, П.П. Кононко.

21. Власов, К.С. Оценка ОТД: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616432, 23.06.2014 г. / К.С. Власов, А.Н. Денисов.

22. Власов, К.С. Планирование деятельности оперативных пожарных подразделений на основе показателей расхода воды на тушение пожаров / К.С. Власов // Технологии техносферной безопасности. – 2023. – № 3(101). – С. 114–126. – URL: <http://academygps.ru/ttb/> (дата обращения 12.12.2023). – DOI 10.25257/TTS.2023.3.101.114-126.

23. Власов, К.С. Расчет поправочных коэффициентов для времени выполнения нормативов по пожарно-строевой подготовке и отдельных аварийно-спасательных работ «Норматив 2.0»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020611815, 11.02.2020 г. / К.С. Власов, В.В. Ильичев.

24. Волков, К.И. Программа для разработки электронной карточки тушения пожара в зданиях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015610408, 12.01.2015 г. / К.И. Волков, М.В. Илеменов.

25. Волкова, В.Н. Теория систем и системный анализ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М. : Юрайт, 2019. – 462 с.

26. Габдуллин, В.Б. Тактические возможности звеньев газодымозащитной службы при тушении затяжных пожаров на объектах энергетики в условиях непригодной для дыхания среды / В.Б. Габдуллин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 2. – С. 100–108. – DOI 10.25257/FE.2022.2.100–108.

27. Гвоздев, Е.В. Моделирование системы оценки и планирования мероприятий пожарной безопасности для территориально распределенных

крупных организаций: монография / Е.В. Гвоздев, С.Ю. Бутузов, А.А. Рыженко; ред. Е.В. Гвоздева. – Химки : АГЗ МЧС России, 2017. – 162 с.

28. Горбунов, А.А. Новые технологии ведения разведки пожаров / А.А. Горбунов, С.Н. Терехин, С.А. Гусаков // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2019. – № 3(51). – С. 56–63.

29. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования. Введ. 01.07.1992. – М. : Стандартиформ, 2006. – 68 с.

30. Грачев, В.А. Газодымозащитная служба: учебник / В.А. Грачев, Д.В. Поповский; под ред. Е.А. Мешалкина. – М. : Пожкнига, 2004. – 384 с.

31. Гринченко, Б.Б. Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде / Б.Б. Гринченко, Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т. 28. – № 5. – С. 51–58. – DOI 10.18322/PVB.2019.28.05.51–58.

32. Губко, М.В. Теория игр в управлении организационными системами / М.В. Губко, Д.А. Новиков. – М. : Синтег, 2002. – 148 с.

33. Денисов, А.Н. Совмещенный график: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614159, 30.04.2014 г. / А.Н. Денисов, К.С. Власов.

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

35. Захаревский, В.Б. Расчет NRS(L): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615760, 23.05.2017 г. / В.Б. Захаревский, А.А. Локтюхина, А.Н. Денисов, М.М. Данилов.

36. Захаревский, В.Б. Расчёт NRS: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661086, 29.09.2016 г. / В.Б. Захаревский, А.Н. Денисов, М.М. Данилов.

37. Звонарев, С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 112 с.

38. Инфо-аналитические технологии в работе пожарно-спасательных формирований с использованием инфракрасных технологий / Т.Х. Нгуен, Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов, А.В. Мокшанцев // Журнал структурной пожарной инженерии. – 2020. – Т. 11. – № 4. – С. 461–479. – DOI: 10.1108/JSFE-03-2020-0010.

39. Информационная система экспертной поддержки управления пожарной безопасностью производственных объектов / Р.Ш. Хабибулин, Н.Ю. Зуев, Е.А. Мешалкин [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 3. – С. 21–25.

40. Информационно-аналитические технологии в работе пожарно-спасательных формирований с использованием радаров и инфракрасных технологий: монография / Н.Г. Топольский, А.В. Мокшанцев, И.В. Самарин, Х.Т. До; под ред. Н.Г. Топольского. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. – 163 с.

41. Исикава, К. Японские методы управления качеством / К. Исикава; пер. с англ.; ред. А.В. Гличев. – М. : Экономика, 1998. – 312 с.

42. Использование инфракрасных технологий при разведке пожара звеньями газодымозащитной службы / Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов, К.А. Михайлов, А.В. Мокшанцев // Системы безопасности – 2016: матер. 25-й науч.-техн. конф. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 611–613.

43. Ищенко, А.Д. Об обеспечении непрерывного тушения пожаров критически важных объектов в условиях задымления / А.Д. Ищенко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 5(75). – С. 12–24. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 13.06.2022).

44. Казанцев, С.Г. Анализ применения ручных пожарных тепловизоров / С.Г. Казанцев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 2 (47). – С. 84–93.

45. Калиев, В.С. Информационные ресурсы временных параметров реагирования пожарных подразделений с применением единой

инфокоммуникационной сети: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621014, 5.05.2022 г. / В.С. Калиев.

46. Ким, Д.П. Методы поиска и преследования подвижных объектов: монография / Д.П. Ким. – М. : Наука, 1989. – 336 с.

47. Концепция общественной безопасности в Российской Федерации (утв. Президентом РФ 14.11.2013 № Пр–2685) / Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154602/ (дата обращения 13.06.2021).

48. Крупкин, А.А. Автоматизация задачи управления ресурсами гарнизона пожарной охраны: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617085, 24.06.2016 г. / А.А. Крупкин, А.В. Максимов, А.В. Матвеев.

49. Малый, И.А. Программа для компьютерного моделирования и визуализации действий пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров в зданиях и сооружениях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611480, 03.02.2016 г. / И.А. Малый, О.В. Потемкина, А.О. Семенов.

50. Малютин, О.С. АИГС ГраФиС: Модуль расчета площади тушения пожара: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619976, 27.05.2022 г. / О.С. Малютин, А.Н. Батуро.

51. Малютин, О.С. Карта пожарного: Менеджер данных: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021669499, 30.11.2021 г. / О.С. Малютин, И.Ю. Сергеев.

52. Малютин, О.С. Карта пожарного: Мобильное приложение: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021669498, 30.11.2021 г. / О.С. Малютин, И.Ю. Сергеев.

53. Малютин, О.С. Прогнозирование возможной площади пожара с применением клеточных автоматов / О.С. Малютин // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2018. – № 2(9). – С. 24–28.

54. Математические модели организаций / А.А. Воронин, М.В. Губко, С.П. Мишин, Д.А. Новиков. – М. : Ленанд, 2008. – 360 с.

55. Матричное фотоприёмное устройство формата 320x256 для спектрального диапазона 0,9–1,7 мкм на основе эпитаксиальной фотодиодной гетероструктуры InGaAs/InP / Д.С. Андреев, К.О. Болтарь, И.Д. Бурлаков [и др.] // 22-я Международная науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения: сб. тр. – М. : НПО «Орион», 2012. – С. 138–139.

56. Матюшин, А.В. Управленческие проблемы организации боевых действий при пожаре. Ошибки РТП / А.В. Матюшин, А.П. Абрамов // Пожарная безопасность. – 2004. – № 3. – С. 118–123.

57. Медведев, А.В. Оптимизационная система поддержки принятия решений в бизнес-планировании / А.В. Медведев // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1. – С. 679–683.

58. Метод разработки оперативных планов пожаротушения для тоннелей / А.В. Матюшин, Н.Ф. Давыдкин, М.М. Шлепнев [и др.] // Крупные пожары: предупреждение и тушение: матер. XVI науч.-практ. конф. Ч. 2. – М. : ВНИИПО, 2001. – С. 507–508.

59. Методика анализа управленческих решений по распределению пожарно-спасательных подразделений при ликвидации лесных пожаров / Д.В. Тараканов, В.А. Смирнов, М.О. Баканов, В.Б. Коробко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 3 (73). – С. 91–96. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 13.06.2018).

60. Методика и примеры технико-экономического обоснования противопожарных мероприятий к СНиП 21–01–97*. МДС 21–3.2001 / ОАО «ЦНИИпромзданий». – М. : ГУП ЦПП, 2001. – 86 с.

61. Методические рекомендации по действиям подразделений федеральной противопожарной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ: Письмо МЧС России №43–2007–18 от 26.05.2010.

62. Мешалкин, Е.А. Автоматизация планирования боевых действий при чрезвычайных ситуациях на основе онтологии предметной области / Е.А. Мешалкин, А.П. Абрамов, В.Т. Олейников // Комплексная безопасность

России – исследования, управления, опыт: сб. материалов. – М. : НИЦ ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004. – С. 59–63.

63. Мешалкин, Е.А. Концепция создания информационной системы поддержки оперативных решений при тушении пожаров / Е.А. Мешалкин, В.Т. Олейников, А.П. Абрамов // Пожары и окружающая среда: матер. XVII Международной науч.-практ. конф. – М. : ВНИИПО, 2002. – С. 358–361.

64. Минаев, В.А. Учет территориальных особенностей пожарных рисков на основе методов теории активных систем / В.А. Минаев, Н.Г. Топольский, К.М. Чу // Спецтехника и связь. – 2015. – Т. 2. – С. 34–38.

65. Михайлов, К.А. Информационная система и математическая модель для организации разведки пожара в зданиях с применением средств мониторинга / К.А. Михайлов, А.О. Семенов, Д.В. Тараканов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 4 (49). – С. 84–93.

66. Михайлов, К.А. Информационные ресурсы для планирования и организации разведки пожара звеньями газодымозащитной службы в зданиях текстильных производств: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621312, 24.04.2023 г. / К.А. Михайлов, Д.В. Тараканов, В.В. Терехнев, А.В. Подгрушный.

67. Михайлов, К.А. Информационные ресурсы для поддержки принятия решений при управлении пожарными подразделениями в различных условиях видимости в дыму: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621479, 22.06.2022 г. / К.А. Михайлов.

68. Михайлов, К.А. Использование цифровых автоматов при поддержке управления пожарно-спасательными формированиями / К.А. Михайлов, Н.Г. Топольский // Проблемы управления безопасностью сложных систем: матер. XXVII Международной конференции. – М., 2019. – С. 364–366.

69. Михайлов, К.А. Компьютерная система моделирования пожаров на основе теории клеточных автоматов / К.А. Михайлов // Информатика: проблемы, методология, технологии: сб. материалов XIX Международной научно-

методической конференции; под ред. Д.Н. Борисова. – Воронеж : Научно-исследовательские публикации (ООО «Вэлборн»), 2020. – С. 678–682.

70. Михайлов, К.А. Модель для информационной поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях / К.А. Михайлов // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – № 2 (96). – С. 141–150. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 12.01.2023). – DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.141–150.

71. Михайлов, К.А. Применение информационных технологий при мониторинге пожара в зданиях текстильных производств / К.А. Михайлов, Д.В. Тараканов, В.В. Горюнова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XX Международной науч.-практ. конф.; под. ред. С.У. Увайсова. – М. : Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2023. – С. 196–199.

72. Михайлов, К.А. Программный модуль для оценки вероятности тушения пожара в здании первым прибывшим подразделением пожарной охраны: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022664738, 04.08.2022 г. / К.А. Михайлов, Д.В. Тараканов.

73. Михайлов, К.А. Разработка критерия эффективности пожарно-спасательных подразделений при мониторинге пожара в зданиях / К.А. Михайлов, Е.В. Степанов, Д.В. Тараканов // Проблемы техносферной безопасности: матер. XI Международной науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 208–212.

74. Многофакторный мониторинг динамики пожара на текстильных предприятиях / Б.Б. Гринченко, А.В. Кузнецов, Д.В. Тараканов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 3(393). – С. 135–140. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_135.

75. Модели поддержки управления пожарными подразделениями на основе информации от систем и средств мониторинга: монография / К.А. Михайлов, Д.В. Тараканов, А.В. Мокшанцев, Е.В. Степанов. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2023. – 182 с.

76. Мокшанцев, А.В. Программный комплекс мониторинга потенциально опасных объектов с использованием инфракрасных технологий: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2019612615, 22.02.2019 г. / А.В. Мокшанцев, Н.Г. Топольский, К.А. Михайлов.

77. Некрасов, С.И. Философия науки и техники: тематический словарь справочник: учебное пособие / С.И. Некрасов, Н.А. Некрасова. – Орёл : ОГУ, 2010. – 289 с.

78. Новиков, А.М. Методология / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М. : СИНТЕГ, 2007. – 668 с.

79. Новиков, Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития / Д.А. Новиков. – М. : Ленанд, 2016. – 160 с.

80. Новиков, Д.А. Рефлексия и управление: математические модели: монография / Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – [2-е изд.]. – М. : ЛЕНАНД, 2022. – 416 с.

81. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – [4-е изд., испр. и доп.]. – М. : ЛЕНАНД, 2022. – 500 с.

82. Ногин, В.Д. Сужение множества Парето на основе аксиоматического подхода с применением некоторых метрик / В.Д. Ногин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2017. – Т. 57. – № 4. – С. 645–653.

83. Ногин, В.Д. Сужение множества Парето: аксиоматический подход / В.Д. Ногин. – М. : Физматлит, 2016. – 272 с.

84. О пожарной безопасности: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ / Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 21.08.2021).

85. О применении модуля ближней радиолокации в автоматизированных системах предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций / В.В. Симаков, И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 2 (42). – 8 с. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 13.06.2018).

86. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: Приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 / Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71746130/> (дата обращения 12.12.2023).

87. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 / Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://base.garant.ru/196118/> (дата обращения 13.06.2023).

88. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС России от 14.11.2022 г. № 1140 / Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406477165/> (дата обращения 12.12.2023).

89. Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах: Приказ МЧС России от 25.10.2017 г. № 467 / Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71733064/> (дата обращения 12.12.2023).

90. Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны: Приказ МЧС России от 26.10.2017 г. № 472 / Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://base.garant.ru/71833062/> (дата обращения 12.12.2023).

91. Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны: Приказ Минтруда России от 11.12.2020 г. № 881н / Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400020256/> (дата обращения 13.06.2023).

92. Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков: Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 28.12.2021 г. № 926 / Доступ из

справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71746130/> (дата обращения 12.02.2024).

93. Об утверждении Сборника упражнений по профессиональной подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы: Распоряжение МЧС России от 04.12.2023 г. № 1020 / Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408236979/> (дата обращения 12.12.2023).

94. Об утверждении Устава подразделений пожарной охраны: Приказ МЧС России от 20.10.2017 г. № 452 / Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71733066/> (дата обращения 12.12.2023).

95. Организационно-управленческие исследования в сфере обеспечения пожарной безопасности страны: монография / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, В.Л. Семиков [и др.]. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. – 57 с.

96. Перегудов, Ф.И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М. : Высшая школа, 1989. – 367 с.

97. Петросян, Л.А. Игры поиска / Л.А. Петросян, А.Ю. Гарнаев. – СПб. : Изд-во С.-б. ун-та, 1992. – 216 с.

98. Повзик, Я.С. Пожарная тактика: учебное пособие / Я.С. Повзик. – М. : Спецтехника, 2004. – 416 с.

99. Подгрушный, А.В. Задачи экспериментальной оценки эффективности тушения различных видов пожаров / А.В. Подгрушный, В.Е. Макаров // Современные проблемы тушения пожаров: матер. науч.-практ. конф. – М. : МИПБ МВД России, 1999. – С. 86–89.

100. Подгрушный, А.В. Реализация тактических возможностей отделений на автоцистернах при тушении пожаров / А.В. Подгрушный // «Системы безопасности» – СБ–2003: матер. XII науч.-техн. конф. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2003. – С. 306–313.

101. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с.

102. Пожары и пожарная безопасность: статистический сборник. – URL: <https://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny/federalnyy-bank-dannykh-pozhary/> (дата обращения 12.12.2023).

103. Промышленные здания и сооружения. Серия «Противопожарная защита и тушение пожаров». Книга 2. / В.В. Тербнев, Н.С. Артемьев, Д.А. Корольченко [и др.]. – М. : Пожнаука, 2006. – 412 с.

104. Расчетные оценки эффективности тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водопроводом / В.И. Присадков, С.В. Мушлакова, С.Ю. Хатунцева [и др.] // Пожарная безопасность. – 2017. – № 1. – С. 49–53.

105. Результаты испытаний измерительных средств инфракрасного диапазона по обнаружению очага пожара / М.В. Алешков, Н.Г. Топольский, К.А. Михайлов [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 3(93). – С. 19–28. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 02.11.2021). – DOI: 10.25257/TTS.2021.3.93.19-28.

106. Руководство по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров на начальных этапах развития в зданиях с использованием информации от мониторинговых систем поддержки управления / А.О. Семенов, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов [и др.]. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – 35 с.

107. Салымова, Е.Ю. Определение коэффициента теплопотерь на начальной стадии пожара в зданиях из трехслойных сэндвич-панелей / Е.Ю. Салымова, А.М. Корякина // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 12. – С. 27–31.

108. Саттаров, И.Ф. Виртуальный тактический симулятор ликвидации пожаров в зданиях объектов социальной сферы: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661870, 11.11.2015 г. / И.Ф. Саттаров, Д.В. Тараканов.

109. Седнев, В.А. Повышение эффективности использования автоматизированных систем и информационных ресурсов в территориальных подсистемах РСЧС / В.А. Седнев, В.М. Клецов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение и ликвидация. – 2013. – № 1. – С. 51–57.

110. Седнев, В.А. Пути повышения эффективности деятельности организационной структуры / В.А. Седнев, А.В. Седнев // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: матер. III Международной науч.-практ. конф. В 3-х частях. Ч. 2. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 380–388.

111. Семиков, В.Л. Теория организации в схемах и таблицах / В.Л. Семиков, В.Д. Ушаков. – М. : РГАЗУ, 2009. – 257 с.

112. Совершенствование информационного обеспечения групп разведки пожара при его мониторинге в здании с использованием инфракрасных технологий / Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов, А.В. Мокшанцев, К.А. Михайлов // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т. 28. – № 3. – С. 89–97. – DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.89-97.

113. Современные технологии для проведения работ в условиях ограниченной видимости (часть 1) / В.Д. Федяев, Е.А. Агаева, О.В. Двоенко [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 2. – С. 94–99. – DOI 10.25257/FE.2022.2.94–99.

114. Соковнин, А.И. Осаждение дыма при тушении пожаров на объектах энергетики: специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Соковнин Артем Игоревич; Академия ГПС МЧС России. – Москва, 2017. 140 с.

115. СП 52.13330.2016 «СНиП 23–05–95*. Естественное и искусственное освещение». – М. : Минстрой России, 2016. – 109 с.

116. СП 8.13130.2020. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности. – М. : МЧС России, 2020. – 20 с.

117. Станкевич, Т.С. Информационно-аналитическая поддержка принятия управленческих решений при тушении пожаров в морских портах в условиях неопределенности / Т.С. Станкевич // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 4. – С. 71–80. – DOI 10.24143/2072-9502-2017-4-71-80.

118. Степанов, Е.В. Пожарный калькулятор: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021664934, 15.09.2021 г. / Е.В. Степанов.

119. Степанов, О.И. Расчет сил и средств для пожаротушения в зданиях с низкой устойчивостью при пожаре: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618567, 02.08.2016 г. / О.И. Степанов, А.Н. Денисов, Д.А. Логвинок.

120. Тараканов, Д.В. Информационные ресурсы для поддержки принятия управленческих решений при организации пожаротушения: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621255, 30.05.2022 г. / Д.В. Тараканов, Чан Минь Хоанг Ха, С.В. Бутузов, Е.В. Степанов.

121. Тараканов, Д.В. Компьютерная система моделирования параметров работы газодымозащитной службы на пожаре: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612884, 26.02.2015 г. / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов.

122. Тараканов, Д.В. Компьютерное моделирование процессов развития и тушения пожаров в зданиях / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 5 (57). – С. 114–123. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 13.06.2018).

123. Тараканов, Д.В. Метод модификации векторного критерия в системе поддержки принятия решения при тушении крупного пожара / Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – № 2. – 1 с. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 13.06.2018).

124. Тараканов, Д.В. Многоагентная система моделирования тушения пожаров в социальных зданиях / Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 5 (69). – С. 118–125. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 13.06.2018).

125. Тараканов, Д.В. Программа для моделирования работы системы поддержки управления ликвидацией пожаров в зданиях: свидетельство о

государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614747, 04.05.2016 г. / Д.В. Тараканов.

126. Тараканов, Д.В. Программа для оперативного прогнозирования динамики пожара в здании по данным мониторинга температурных полей: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612865, 26.02.2015 г. / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов.

127. Тараканов, Д.В. Программное средство для разработки электронной карточки тушения пожара / Д.В. Тараканов, М.В. Илеменов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 1 (3). – С. 151–153.

128. Тараканов, Д.В. Программное средство для разработки электронных документов предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов // Системы безопасности – 2013: матер. Международной науч.-техн. конф. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 184–187.

129. Тараканов, Д.В. Система моделирования развития и тушения пожаров в зданиях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612151, 15.02.2013 г. / Д.В. Тараканов, Е.В. Варламов, М.В. Илеменов.

130. Таранцев, А.А. Методы расчётной оценки динамики пожаров в помещениях / А.А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – № 3. – С. 82–85.

131. Таранцев, А.А. Моделирование достаточности мобильных подразделений экстренных служб при возникновении ситуаций повышенной сложности / А.А. Таранцев, А.Л. Холостов, А.П. Нодь // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 10. – С. 59–66. – DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.59-66.

132. Терещнев, В.В. Программное средство для расчета параметров работы звеньев газодымозащитной службы на пожарах: свидетельство о государственной регистрации программ ЭВМ № 2014661680, 12.01.2015 г. / В.В. Терещнев, А.Б. Гордеев, Д.В. Тараканов, И.М. Чистяков.

133. Терещнев, В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений / В.В. Терещнев. – М. : Пожкнига, 2004. – 256 с.

134. Тетерин, И.М. Методология разработки экспертных систем для оперативного управления пожарными подразделениями / И.М. Тетерин, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – № 5. – С. 7. – URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения 13.06.2018).

135. Топольский, Н.Г. Автоматизированная система поддержки принятия управленческих решений при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием платежной матрицы: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617554, 20.08.2013 г. / Н.Г. Топольский, Т.К. Нгуен, Д.В. Псарев, Г.Н. Калашник, Я.И. Городецкий, И.А. Максимов, А.В. Мокшанцев.

136. Топольский, Н.Г. Информационные системы и технологии при предупреждении и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров / Н.Г. Топольский, А.В. Мокшанцев // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 365–367.

137. Топольский, Н.Г. Коротковолновые инфракрасные технологии автоматизированных систем мониторинга, предупреждения и ликвидации ЧС и пожаров / Н.Г. Топольский, А.В. Мокшанцев, К.А. Михайлов // Системы безопасности – 2016: матер. 25-й науч.-техн. конф. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 606–610.

138. Топольский, Н.Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов / Н.Г. Топольский. – М. : МИПБ МВД России, 1997. – 165 с.

139. Топольский, Н.Г. Поддержка управления пожарно-спасательными подразделениями: монография / Н.Г. Топольский, А.Н. Денисов. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. – 170 с.

140. Топольский, Н.Г. Принципы построения автоматизированных систем поддержки принятия решений в Государственной противопожарной службе / Н.Г. Топольский, В.М. Климовцов // Технологии безопасности: матер. 8 Международного форума. – М. : Защита ЭКСПО, 2003. – С. 285–286.

141. Топольский, Н.Г. Система поддержки принятия решений при спасении людей из высотных зданий: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013615215, 30.05.2013 г. / Н.Г. Топольский, Т.К. Нгуен, Д.В. Псарев, Г.Н. Калашник, В.Л. Ярош, Г.Б. Трефилов, А.В. Мокшанцев.

142. Топольский, Н.Г. Теоретические основы поддержки управления пожарными подразделениями на основе мониторинга динамики пожара в здании: монография / Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов, К.А. Михайлов; под ред. Н.Г. Топольского. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. – 320 с.

143. Ульянова, Е.А. Повышение эффективности пожарно-спасательных подразделений с помощью увеличения качества информационного обеспечения / Е.А. Ульянова, А.О. Семенов // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (Иваново, 30 мая 2019 года). – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 131–134.

144. Федоров, А.В. Автоматизация систем противопожарной защиты технологических процессов обеспечения функционирования спортивных сооружениях / А.В. Федоров, Е.Н. Ломаев, Ф.В. Демёхин // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 2 (60). – С. 49–55. – URL: <http://academygps.ru/ttb/> (дата обращения 26.06.2021).

145. Фотоприёмное устройство на основе InGaAs/InP для ближнего ИК-диапазона / Н.Б. Залетаев, И.В. Чинарёва, П.А. Кузнецов [и др.] // 21-я Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения: тезисы докл. – М. : НПО «Орион», 2010. – С. 112.

146. Харько, С.Л. Расчет параметров тушения пожаров при разных геометрических формах его развития на момент прибытия первых пожарных

подразделений: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618712, 17.09.2013 г. / С.Л. Харько, С.А. Бараковских, Е.А. Карама.

147. Харько, С.Л. Электронный помощник в решении пожарно-тактических задач: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612238, 17.02.2017 г. / С.Л. Харько, С.А. Бараковских, Е.А. Карама.

148. Членов, А.Н. Моделирование управления оперативными службами в системе централизованной вневедомственной охраны / А.Н. Членов, Е.В. Самышкина // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 4(74). – С. 126–131. – URL: <http://academygps.ru/ttb/> (дата обращения 23.06.2021).

149. Членов, А.Н. Совершенствование управления оперативными службами централизованной охраны объектов дистанционного банковского обслуживания / А.Н. Членов, А.В. Климов, Е.В. Самышкина // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 1 (65). – С. 306–311. – URL: <http://academygps.ru/ttb/> (дата обращения 23.06.2021).

150. Шикин, Е.В. Математические методы и модели в управлении: учебное пособие / Е.В. Шикин, А.Г. Чхартишвили. – [3-е изд.]. – М. : Дело, 2004. – 440 с.

151. Шихалев, Д.В. Программный модуль определения безопасных маршрутов движения внутри здания при возникновении пожара: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021681168, 17.12.2021 г. / Д.В. Шихалев, Д.В. Тараканов.

152. Штерензон, В.А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В.А. Штерензон. – Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. – 66 с.

153. Beier, K. Measurement and modeling of infrared imaging systems of conditions of reduced visibility (fog) for traffic applications / K. Beier, R. Boehl, J. Fries, W. Hahn, D. Hausamann, V. Tank, G. Wagner, H. Weisser // Proc. SPIE. – 1994. – Vol. 2223. – Pp. 175–186.

154. Chen, C. Attenuation of electromagnetic radiation by haze, fog, clouds and rain / C. Chen. – Report R-1694-PR, 1975. – 41 p. – URL:

<http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2006/R1694.pdf> (дата обращения: 07.03.2019).

155. Cowlard, A. Sensor Assisted Fire Fighting / A. Cowlard, W. Jahn, C. Abecassis-Empis, G. Rein, J.L. Torero // *Fire Technology*. – 2010. – Vol. 46. – № 3. – Pp. 719–741. – DOI: 10.1007/s10694-008-0069-1.

156. Hansen, M.P. Overview of SWIR detectors, cameras and applications / M.P. Hansen, D.S. Malchow // *Proc. SPIE*. – 2008. – Vol. 6939. – Pp. 69390I–1–69390I–11.

157. Hart, O. On the Design of Hierarchies: Coordination vs Specialization / O. Hart, J. Moore // *The Journal of Political Economy*. – 2005. – Vol. 113. – Pp. 675–702.

158. Hinesa, G. Real-time enhanced vision system / G. Hinesa, Z. Rahman, D. Jobson, G. Woodell, S. Harrah // *Proc. SPIE*. – 2005. – Vol. 5802. – Pp. 127–132.

159. Marakas, G.M. Decision support systems in the twenty-first century / G.M. Marakas. – Upper Saddle River, N.J. Prentice Hall, 1999. – 4 p.

160. Power, D.J. Decision support systems: Concepts and resources for managers / D.J. Power. – Quorum Books, Greenwood Publishing, 2002. – 272 p.

161. Rogalski, A. Infrared Detectors / A. Rogalski. – [2nd ed.]. – CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 2010. – 898 p.

162. Wu, X. High uniformity, stability, and reliability large-format InGaAs APD arrays / X. Wu, Y. Gu, F. Yan, F. S. Choa, P. Shu // *Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)*. – Baltimore, Maryland, May 6, 2007. – p. CMII2. – DOI: 10.1109/cleo.2007.4452558.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.
СВИДЕТЕЛЬСТВА О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ БАЗ
ДАНЫХ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU2022621479

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ, ОХРАНЯЕМОЙ
АВТОРСКИМИ ПРАВАМИ

Номер регистрации (свидетельства):
2022621479
Дата регистрации: 22.06.2022
Номер и дата поступления заявки:
2022621357 14.06.2022
Дата публикации и номер бюллетеня:
22.06.2022 Бюл. № 7
Контактные реквизиты:
нет

Автор(ы):
Михайлов Кирилл Андреевич (RU)
Правообладатель(и):
Михайлов Кирилл Андреевич (RU)

Название базы данных:

Информационные ресурсы для поддержки принятия решений при управлении пожарными подразделениями в различных условиях видимости в дыму

Реферат:

Назначение: база данных содержит информацию о показателях дальности видимости пожарными подразделениями с применением мобильных средств мониторинга. Совокупность данных объединена по видам используемых средств мониторинга: видимого и инфракрасного диапазонов, при разной степени задымления (оптической плотности дыма) - от низкой до высокой. Область применения: база данных позволяет получать структурированную информацию о показателях дальности видимости пожарными подразделениями с использованием средств мониторинга пожара при разной степени задымления. Функциональные возможности: база данных позволяет на этапе планирования действий по управлению пожарными подразделениями определить необходимость применения в условиях задымления средств мониторинга коротковолнового инфракрасного диапазона при тушении пожаров в зданиях. ОС: Windows 7.

Вид и версия системы управления базой данных: Microsoft Access 2013

Объем базы данных: 4,62 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2023621312**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ, ОХРАНЯЕМОЙ
АВТОРСКИМИ ПРАВАМИ**

Номер регистрации (свидетельства):
2023621312
Дата регистрации: 24.04.2023
Номер и дата поступления заявки:
2023621019 12.04.2023
Дата публикации и номер бюллетеня:
24.04.2023 Бюл. № 5
Контактные реквизиты:
8-925-750-53-31, kirillitsami@mail.ru

Автор(ы):
Михайлов Кирилл Андреевич (RU),
Тараканов Денис Вячеславович (RU),
Теребнев Владимир Васильевич (RU),
Подгрушный Александр Васильевич (RU)
Правообладатель(и):
Михайлов Кирилл Андреевич (RU),
Тараканов Денис Вячеславович (RU),
Теребнев Владимир Васильевич (RU),
Подгрушный Александр Васильевич (RU)

Название базы данных:

«Информационные ресурсы для планирования и организации разведки пожара звеньями газодымозащитной службы в зданиях текстильных производств»

Реферат:

База данных содержит информацию по данным для планирования и организации разведки пожара звеньями газодымозащитной службы в здании текстильных производств. Совокупность данных объединена по производительности поиска звеньями газодымозащитной службы, которая зависит от степени задымления в здании. Область применения: база данных позволяет получать структурированную информацию о производительности поиска звеньями газодымозащитной службы для планирования и организации разведки пожара в здании текстильных производств. Функциональные возможности: база данных позволяет на этапе планирования действий звеньев газодымозащитной службы по обнаружению пожара в зданиях текстильных производств определить вероятность обнаружения пожара в зависимости от производительности поиска звеньев газодымозащитной службы. ОС: Windows 7 и выше.

Вид и версия системы управления базой данных: Microsoft Access 2013

Объем базы данных: 4,75 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2022664738**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2022664738 Дата регистрации: 04.08.2022 Номер и дата поступления заявки: 2022663557 14.07.2022 Дата публикации и номер бюллетеня: 04.08.2022 Бюл. № 8 Контактные реквизиты: 8-925-750-53-31; kirillitsami@mail.ru	Автор(ы): Михайлов Кирилл Андреевич (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU) Правообладатель(и): Михайлов Кирилл Андреевич (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)
--	--

Название программы для ЭВМ:
«Программный модуль для оценки вероятности тушения пожара в здании первым прибывшим подразделением пожарной охраны»

Реферат:

Программа предназначена для оценки вероятности тушения пожара в здании первым прибывшим подразделением пожарной охраны с применением средств мониторинга в условиях критической видимости. Программа позволяет оценить достаточность звеньев газодымозащитной службы при работе в здании в непригодной для дыхания среде с применением средств мониторинга в условиях критической видимости. Кроме того, программа позволяет рассчитать вероятность тушения пожара в здании в условиях критической видимости первым прибывшим подразделением пожарной охраны на основе параметров тушения пожара. Программа позволит руководителю тушения пожара решать комплекс управленческих задач по организации разведки пожара в здании с применением средств мониторинга в условиях критической видимости. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows 7 и старше.

Язык программирования: Visual Basic 6.0

Объем программы для ЭВМ: 1 МБ

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б.
ЛИСТИНГ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ**

Фрагмент листинга программного модуля

```
Private Sub Combo4_Click()  
If Combo4.Text = "Дых.аппарат А" Then  
N = 1  
V1 = 6.8  
Колбаллонов.Caption = N  
объембаллонов.Caption = V1  
End If  
If Combo4.Text = "Дых.аппарат Б" Then  
N = 1  
V1 = 9  
Колбаллонов.Caption = N  
объембаллонов.Caption = V1  
End If  
If Combo4.Text = "Дых.аппарат В" Then  
N = 1  
V1 = 8  
Колбаллонов.Caption = N  
объембаллонов.Caption = V1  
End If  
If Combo4.Text = "Дых.аппарат Г" Then  
N = 2  
V1 = 13.6  
Колбаллонов.Caption = N  
объембаллонов.Caption = V1  
End If  
End Sub  
Private Sub воздух1_Click()  
If воздух1.Text = "легкая" Then Q1 = 20  
If воздух1.Text = "средняя" Then Q1 = 40  
If воздух1.Text = "тяжелая" Then Q1 = 60  
If воздух1.Text = "очень тяжелая" Then Q1 = 80  
If Q1 = 20 Then Label17.BackColor = RGB(0, 255, 0)  
If Q1 = 40 Then Label17.BackColor = RGB(255, 255, 0)  
If Q1 = 60 Then Label17.BackColor = RGB(255, 128, 0)  
If Q1 = 80 Then Label17.BackColor = RGB(255, 0, 0)  
If воздух1.Text = "" Then Label17.BackColor = RGB(240, 240, 240)  
Dim P1 As Integer
```

```

P1 = Val(Давление1.Text)
Q1 = Val(воздух1.Text)
If Combo4.Text = "Дых.аппарат А" Then
N = 1
V1 = 6.8
Колбаллонов.Caption = N
объембаллонов.Caption = V1
End If
If Combo4.Text = "Дых.аппарат Б" Then
N = 2
V1 = 13.6
Колбаллонов.Caption = N
объембаллонов.Caption = V1
End If
If Combo4.Text = "Дых.аппарат В" Then
N = 1
V1 = 9
Колбаллонов.Caption = N
объембаллонов.Caption = V1
End If
If Combo4.Text = "Дых.аппарат Г" Then
N = 2
V1 = 8
Колбаллонов.Caption = N
объембаллонов.Caption = V1
End If
Pk = P1 / 3
If воздух1.Text = "легкая" Then Q1 = 20
If воздух1.Text = "средняя" Then Q1 = 40
If воздух1.Text = "тяжелая" Then Q1 = 60
If воздух1.Text = "очень тяжелая" Then Q1 = 80
Dim Tn As Integer
Tn = Int((Pk * V1) / Q1)
Времяпоиска.Caption = Tn
End Sub
Private Sub Combo9_Click()
Dim D As Double
If Combo9.Text = "групповой фонарь" Then
D = 3

```

```

видимость.Caption = D
End If
If Combo9.Text = "тепловизор" Then
D = 7
видимость.Caption = D
End If
If Combo9.Text = "камера КИД" Then
D = 10
видимость.Caption = D
End If
End Sub
Private Sub Command1_Click()
If Давление1.Text = "" Or воздух1.Text = "" Or Колбаллонов.Caption = "" Or
Площадь.Text = "" Or Скорость.Text = "" Or Расстояние.Text = "" Or
видимость.Caption = "" Or Combo9.Text = "" Or Combo5.Text = "" Then
MsgBox ("Заполните все активные поля")
Exit Sub
OptionButton2) Then
Else
Dim P1 As Integer
Dim Q1 As Integer
P1 = Val(Давление1.Text)
Q1 = Val(воздух1.Text)
"Тип дыхательного аппарата
If Combo4.Text = "Дых.аппарат А" Then
N = 1
V1 = 6.8
Колбаллонов.Caption = N
объембаллонов.Caption = V1
End If
If Combo4.Text = "Дых.аппарат Б" Then
N = 2
V1 = 13.6
Колбаллонов.Caption = N
объембаллонов.Caption = V1
End If
If Combo4.Text = "Дых.аппарат В" Then
N = 1
V1 = 9

```

```

Колбаллонов.Caption = N
объембаллонов.Caption = V1
End If
If Combo4.Text = "Дых.аппарат Г" Then
N = 2
V1 = 4
Колбаллонов.Caption = N
объембаллонов.Caption = V1
End If
Pk = P1 / 3
If воздух1.Text = "легкая" Then Q1 = 20
If воздух1.Text = "средняя" Then Q1 = 40
If воздух1.Text = "тяжелая" Then Q1 = 60
If воздух1.Text = "очень тяжелая" Then Q1 = 80
Dim Tn As Integer
Tn = Int((Pk * V1) / Q1)
Времяпоиска.Caption = Tn
S = Val(Площадь.Text)
If Площадь.Text = "100" Then S = 100
If Площадь.Text = "200" Then S = 200
If Площадь.Text = "300" Then S = 300
If Площадь.Text = "400" Then S = 400
If Площадь.Text = "500" Then S = 500
If Площадь.Text = "600" Then S = 600
If Площадь.Text = "700" Then S = 700
If Площадь.Text = "800" Then S = 800
If Площадь.Text = "900" Then S = 900
If Площадь.Text = "1000" Then S = 1000
If Площадь.Text = "2000" Then S = 2000
If Площадь.Text = "3000" Then S = 3000
If Площадь.Text = "4000" Then S = 4000
If Площадь.Text = "5000" Then S = 5000
If Площадь.Text = "6000" Then S = 6000
If Площадь.Text = "7000" Then S = 7000
If Площадь.Text = "8000" Then S = 8000
If Площадь.Text = "9000" Then S = 9000
If Площадь.Text = "1350" Then S = 1350
Площадь.Text = Str(S)
V = Val(Скорость.Text)

```

```

If Скорость.Text = "1" Then V = 1
If Скорость.Text = "2" Then V = 2
If Скорость.Text = "3" Then V = 3
If Скорость.Text = "4" Then V = 4
If Скорость.Text = "5" Then V = 5
If Скорость.Text = "6" Then V = 6
If Скорость.Text = "7" Then V = 7
If Скорость.Text = "8" Then V = 8
If Скорость.Text = "9" Then V = 9
If Скорость.Text = "10" Then V = 10
If Скорость.Text = "12" Then V = 12
If Скорость.Text = "14" Then V = 14
If Скорость.Text = "16" Then V = 16
If Скорость.Text = "18" Then V = 18
If Скорость.Text = "20" Then V = 20
If Скорость.Text = "25" Then V = 25
If Скорость.Text = "30" Then V = 30
Скорость.Text = Str(V)
r = Val(Расстояние.Text)
If Расстояние.Text = "1" Then r = 1
If Расстояние.Text = "2" Then r = 2
If Расстояние.Text = "3" Then r = 3
If Расстояние.Text = "4" Then r = 4
If Расстояние.Text = "5" Then r = 5
If Расстояние.Text = "6" Then r = 6
If Расстояние.Text = "7" Then r = 7
If Расстояние.Text = "8" Then r = 8
If Расстояние.Text = "9" Then r = 9
If Расстояние.Text = "10" Then r = 10
Расстояние.Text = Str(r)
D = Val(видимость.Caption)
видимость.Caption = D
If Количество.Text = "1" Then m = 1
If Количество.Text = "2" Then m = 2
If Количество.Text = "3" Then m = 3
Количество.Text = Str(m)
U = V * ((m - 1) * D + 2 * D)
U = Int(U)
Производительность.Caption = U

```

```

S1 = U * Tn
S1 = Int(S1)
Площадь2.Caption = S1
Q = 1 - Exp(-U * Tn / S)
Вероятность.Caption = Round(Q, 3)
Label11.Caption = "Количество звеньев ГДЗС достаточно"
qq = Round((2.23 + (0.09 * (3 / 4.5) + 0.72 * (m / 2)) * 7.1), 1)
Расход.Caption = qq
If Combo5.Text = "Хлопок" Then
J = 0.07
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Лен" Then
J = 0.08
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок + Лен (0,9+0,1)" Then
J = 0.071
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок Лен(0, 8 + 0, 2)" Then
J = 0.072
A = 2.5
B = 30

```

```

St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок Лен(0, 7 + 0, 3)" Then
J = 0.073
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок Лен(0, 6 + 0, 4)" Then
J = 0.074
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок Лен(0, 5 + 0, 5)" Then
J = 0.075
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок Лен(0, 4 + 0, 6)" Then
J = 0.076
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B

```

```

Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок Лен(0, 3 + 0, 7)" Then
J = 0.077
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок Лен(0, 2 + 0, 8)" Then
J = 0.078
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
If Combo5.Text = "Хлопок Лен(0, 1 + 0, 9)" Then
J = 0.079
A = 2.5
B = 30
St = Round(qq / J, 0)
Площадьтушения.Caption = St
So = A * Tn + B
Площадьначало.Caption = So
End If
Qt = Round((1 - Exp(-St / So)), 3)
Вероятностьтушения.Caption = Qt
End If
End Sub
Private Sub Command2_Click()
End
End Sub
Private Sub Command3_Click()
Давление1.Text = ""
воздух1.Text = ""

```

```
Combo4.Text = ""
Колбаллонов.Caption = ""
объембаллонов.Caption = ""
Времяпоиска.Caption = ""
Площадь.Text = ""
Скорость.Text = ""
Расстояние.Text = ""
видимость.Caption = ""
Количество.Text = ""
Combo9.Text = ""
Вероятность.Caption = ""
Площадь2.Caption = ""
Производительность.Caption = ""
Label11.Caption = ""
Combo5.Text = ""
Расход.Caption = ""
Площадьтушения.Caption = ""
Площадьначало.Caption = ""
Вероятностьтушения.Caption = ""
End Sub
Private Sub Form_Load()
HScroll1.Value = 0
HScroll1.Max = 300
HScroll1.Min = 0
HScroll1.LargeChange = 10
HScroll1.SmallChange = 5
End Sub
Private Sub HScroll1_Change()
Давление1.Text = HScroll1.Value
End Sub
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В.
АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Утверждаю

Первый заместитель начальника
Управления по Западному
административному округу Главного
управления МЧС России по г. Москве
подполковник внутренней службы



Д.А. Якуша
2022 г.

А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание
ученой степени кандидата технических наук
Михайлова Кирилла Андреевича
в ГУ МЧС России по г. Москве

Комиссия в составе:

Председатель комиссии – заместитель начальника управления – начальник
Пожарно-спасательного отряда федеральной противопожарной службы Управления
по ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве полковник внутренней
службы Медведев А.А.

Члены комиссии:

– заместитель начальника управления – начальник отдела ГЗ Управления по
ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве подполковник внутренней
службы Картоев М.А;

– Врио заместителя начальника отряда – начальник службы пожаротушения
федеральной противопожарной службы Управления по ЗАО Главного управления
МЧС России по г. Москве майор внутренней службы Кубас Н.А.

подтверждает, что результаты диссертационной работы Михайлова К.А.,
посвященной разработке моделей и алгоритмов информационной поддержки
управления пожарно-спасательными подразделениями на основе средств
мониторинга, внедрены в ГУ МЧС России по г. Москве, а именно:

– алгоритм информационной поддержки управления пожарно-спасательными
подразделениями на основе комбинированного сканирования здания по Грэхему и
Джарвису средствами мониторинга;

– практические рекомендации по применению средств мониторинга
коротковолнового инфракрасного диапазона пожарно-спасательными
подразделениями.

Председатель комиссии:

Заместитель начальника управления –
начальник Пожарно-спасательного отряда
федеральной противопожарной службы
Управления по ЗАО ГУ МЧС России по г. Москве
полковник внутренней службы

А.А. Медведев

Члены комиссии:

Заместитель начальника управления – начальник отдела ГЗ Управления по ЗАО
Главного управления МЧС России по г. Москве
подполковник внутренней службы



М.А. Картоев

Врио заместителя начальника отряда –
начальник службы пожаротушения
федеральной противопожарной службы
Управления по ЗАО
Главного управления МЧС России по г. Москве
майор внутренней службы



Кубас Н.А.

Утверждаю
Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по учебной работе



В.С. Шныпко
2022 г.

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание
ученой степени кандидата технических наук Михайлова Кирилла Андреевича
в учебный процесс на кафедре информационных технологий
УНК АСИТ Академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе председателя – заместителя начальника УНК - начальника кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н., доцента Сатина Алексея Петровича и членов – заместителя начальника кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н., доцента Мокшанцева Александра Владимировича, доцента кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н. Минеева Евгения Николаевича, подтверждает, что результаты диссертационной работы Михайлова К.А., посвященной разработке модели и алгоритмов информационной поддержки управления пожарными подразделениями при мониторинге пожара в здании, внедрены в учебный процесс кафедры информационных технологий УНК АСИТ Академии ГПС МЧС России, а именно математическая модель и обобщенный алгоритм информационной поддержки управления группами разведки пожара в зданиях средствами мониторинга пожара.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке учебно-методических материалов для изучения дисциплин «Информатика в техносферной безопасности», «Информационные технологии в ГМУ», преподаваемых на факультете пожарной и техносферной безопасности и в Институте подготовки руководящих кадров.

Председатель комиссии
Заместитель начальника УНК –
начальник кафедры ИТ УНК АСИТ
к.т.н., доцент

А.П. Сатин

Члены комиссии
Заместитель начальника кафедры ИТ УНК АСИТ
к.т.н., доцент

А.В. Мокшанцев

Доцент кафедры ИТ УНК АСИТ
к.т.н.

Е.Н. Минеев

Утверждаю
Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по научной работе
д.т.н., профессор

М.В. Алешков
« 9 » декабря 2022 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание
ученой степени кандидата технических наук Михайлова Кирилла Андреевича
в Академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе председателя – начальника учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий (УНК АСИТ) к.т.н., доцента Хабибулина Рената Шамильевича и членов комиссии - заместителя начальника УНК - начальника НИО АСИТ к.т.н. Шихалева Дениса Владимировича и старшего научного сотрудника НИО АСИТ Бережного Дениса Анатольевича подтверждает, что результаты диссертационной работы Михайлова К.А., посвященной разработке модели и алгоритмов информационной поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях, использованы при выполнении научно-исследовательской работы на тему: «Поддержка принятия управленческих решений по спасению людей в чрезвычайных ситуациях с применением инфракрасных технологий» (п. 31 Плана научной работы Академии ГПС МЧС России на 2022 год), а именно: алгоритм поддержки управления пожарными подразделениями при организации разведки и тушения пожара в здании в сложных условиях и разработанный на его основе программный модуль.

Председатель комиссии:
Начальник УНК АСИТ
к.т.н., доцент

Р.Ш. Хабибулин

Члены комиссии:
Заместитель начальника УНК –
начальник НИО АСИТ
к.т.н.

Д.В. Шихалев

Старший научный сотрудник НИО АСИТ

Д.А. Бережной