

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)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Научный руководитель: доктор технических наук
Тараканов Денис Вячеславович

Официальные
оппоненты: **Таранцев Александр Алексеевич**
Заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России», кафедра организации
пожаротушения и проведения аварийно-
спасательных работ, профессор

Власов Константин Сергеевич
кандидат технических наук,
ФГБУ ВНИИПО МЧС России, отдел разработки
мероприятий по поддержке принятия решения
(ситуационный центр), начальник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика»

Защита диссертации состоится 17 декабря 2024 года в 12 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 04.2.002.01, созданного на базе Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал Диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<https://academygps.ru/upload/iblock/c20/jeydiqytvak5r9uhnlupeq7e3qj4vm4e/Диссертация%20Михайлова%20К.А..pdf>.

Автореферат разослан «16» октября 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Согласно статистическим данным ежегодно в Российской Федерации (РФ) происходит более 100 тысяч пожаров в зданиях. Прямой материальный ущерб от пожаров исчисляется миллиардами рублей, а количество человеческих жертв от пожаров составляет 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, М.В. Губко, Д.А. Новикова, А.Г. Чхартишвили, А.В. Щепкина, О. Hart и др.; в области разработки систем поддержки принятия решений и управления оперативными подразделениями – Н.Н. Брушлинского, С.Ю. Бутузова, К.С. Власова, А.Н. Денисова, В.Б. Коробко, А.В. Матюшина, Е.А. Мешалкина, В.А. Минаева, А.В. Мокшанцева, А.А. Порошина, Ю.В. Пруса,

В.А. Седнева, В.Л. Семикова, С.В. Соколова, Д.В. Тараканова, А.А. Таранцева, Н.Г. Топольского, А.В. Федорова, Р.Ш. Хабибулина, А.Н. Членова, J.M. Marakas, D.J. Power 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 планирования 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 диссертации).

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 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 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, поставлена цель и определены решаемые задачи, рассмотрены объект и предмет исследования. Сформулирована научная новизна; положения, выносимые на защиту; теоретическая и практическая значимость результатов диссертации. Отражены сведения о внедрении и апробации результатов работы.

В первой главе «Анализ организационной системы управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств» проанализированы обстановка с пожарами в зданиях текстильных производств в РФ, процесс организации тушения пожаров в зданиях, методы и механизмы управления и распределения ресурсов, программные средства для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях, применение технических средств мониторинга пожара в зданиях, процесс организации поиска пожаров в зданиях текстильных производств.

По официальным статистическим данным ВНИИПО МЧС России был проведен количественный анализ пожаров в зданиях текстильных производств, взятых на статистический учет, за 2010–2022 гг. По результатам анализа можно сделать вывод, что ежегодное количество пожаров в зданиях текстильных производств в РФ находится в диапазоне от 10 до 31 (рисунок 1).

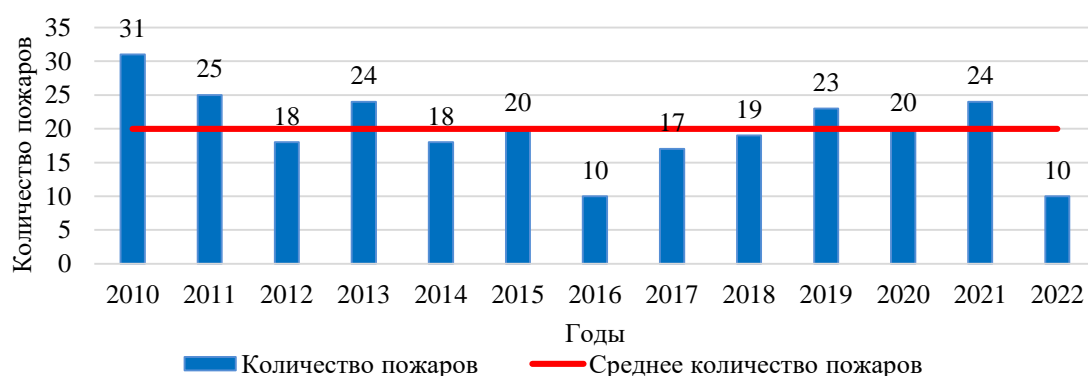


Рисунок 1 – Динамика количества пожаров в зданиях текстильных производств в Российской Федерации за период 2010–2022 гг.

Как правило, на текстильных предприятиях преобладает производство хлопчатобумажных изделий, что обуславливает повышенную пожарную опасность зданий, а также поддержание искусственного микроклимата для хранения сырья (хлопка, льна и др.). При их горении выделяется большое количество дыма, пожарным подразделениям необходимо выполнять задачу по поиску очага пожара и вести боевые действия по тушению пожара в условиях задымления в зданиях текстильных производств.

Рассмотрены методы и механизмы управления и распределения ресурсов, позволяющие определить процедуры принятия решений по распределению ресурсов в организационной системе управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.

Выполнен анализ программных средств для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств. Выявлено, что

в разработанных программных продуктах отсутствуют функции по выбору ресурсов (технических средств мониторинга), по определению вероятности обнаружения пожара с учетом горючей нагрузки, характерной для зданий текстильных производств.

Выполнены анализ применения и экспериментальное исследование технических средств мониторинга пожара в зданиях текстильных производств. Анализ показал, что наиболее перспективными для использования пожарными подразделениями являются технические средства мониторинга на основе коротковолнового инфракрасного диапазона (КИД).

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

Во второй главе «Разработка модели для решения задач управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств» разработана модель поиска очага пожара, представляющая совокупность: показателя тактических возможностей пожарных подразделений по поиску очага пожара в зданиях текстильных производств, общего объема работы по поиску очага пожара в зданиях текстильных производств и вероятностной оценки успеха при выполнении объема работы. В диссертационной работе под пожарными подразделениями понимаются группы разведки в составе одного, двух и (или) трех звеньев газодымозащитной службы (ГДЗС).

Рассмотрим систему управления на пожаре с позиции теории управления организационными системами (ОС): а) состав ОС – пожарные подразделения – группы разведки пожара в составе 1, 2 или 3 звеньев ГДЗС; б) структура ОС – связи: группа разведки пожара ↔ постовой на посту безопасности ↔ руководитель тушения пожара ↔ центральный пункт пожарной связи; в) допустимые множества – площадь поиска и объем работы за время τ (тактические возможности подразделений); г) предпочтения участников ОС – максимизация целевых функций (вероятностей обнаружения p_o и тушения p_t пожаров в зданиях текстильных производств); д) информированность участников ОС – обстановка в здании зависит от условий задымления – параметра видимости \rightarrow выбор ресурсов (оборудования); е) порядок функционирования – в процессе поиска и тушения пожаров в зданиях текстильных производств (условия задымления, наличие других опасных факторов пожара).

Детерминированный компонент модели – расчетная площадь поиска S , которую способна обследовать группа разведки в составе m звеньев ГДЗС, представляет собой кортеж

$$S = \langle F; D; d; L; V; m; \tau \rangle, \quad (1)$$

где F – фронт поиска очага пожара, м; D – дальность видимости группы разведки пожара, м; d – эффективное расстояние между звеньями ГДЗС в группе разведки, м; L – путь движения группы разведки пожара, м;

V – скорость движения группы разведки, м·мин⁻¹; m – количество звеньев ГДЗС в группе разведки; τ – время поиска очага пожара, мин.

Фронт поиска очага пожара F определяется в зависимости от количества m звеньев ГДЗС в группе разведки, эффективного расстояния d между звеньями газодымозащитной службы в группе разведки и дальности видимости D каждого из звеньев. В общем случае стоит отделять видимость с каждой из сторон группы разведки в отдельности, тогда дополнительно необходимо рассмотреть дальность видимости справа D_R и дальность видимости слева D_L . В таком случае фронт поиска очага пожара будем определять по формуле

$$F = (m - 1)d + D_L + D_R, \quad (2)$$

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

На основе результатов исследований Соковнина А.И. получено выражение для определения скорости движения V пожарных подразделений

$$V = a \ln D + a, \quad \text{при } D \geq 1 \text{ м}, \quad (3)$$

где $a = 15$ без учета веса пожарно–технического вооружения и $a = 9$ с учетом веса пожарно–технического вооружения (по исследованиям Терехнева В.В.)

Производительность поиска U группой в составе m звеньев ГДЗС при поиске очага пожара представляет собой произведение фронта поиска F и скорости движения V группы разведки при движении к очагу пожара, то есть определяется по формуле

$$U = FV = ((m - 1)d + D_L + D_R)V. \quad (4)$$

Из анализа выражений (2)–(4) делаем вывод, что каждый параметр зависит от видимости, т.е. $F = f(D)$, $V = f(D)$, $U = f(D)$.

Представим на рисунке 2 производительность поиска группой разведки (в начале поиска это площадь фигуры $(ABCQ)$, а в момент времени τ – это площадь фигуры $(KIET)$) при условии постоянного (неизменяемого) значения видимости D ввиду применения технических средств мониторинга (камер КИД).

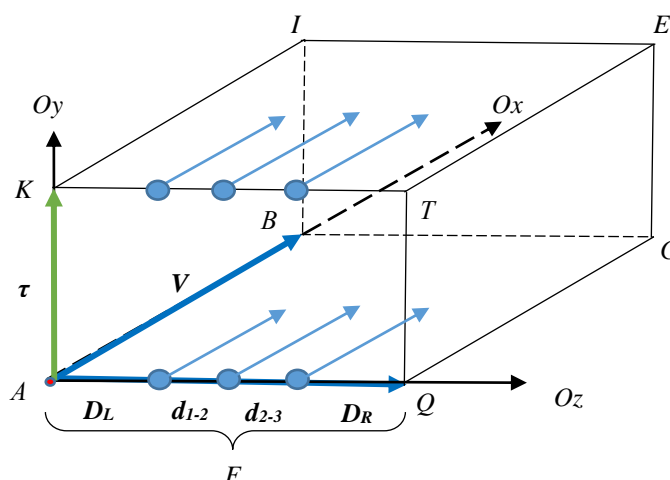


Рисунок 2 – Площадь разведки пожара при постоянной производительности поиска группой разведки

Представим на рисунке 3 изменение производительности поиска во времени в виду изменяющейся видимости в дыму (без применения технических средств мониторинга).

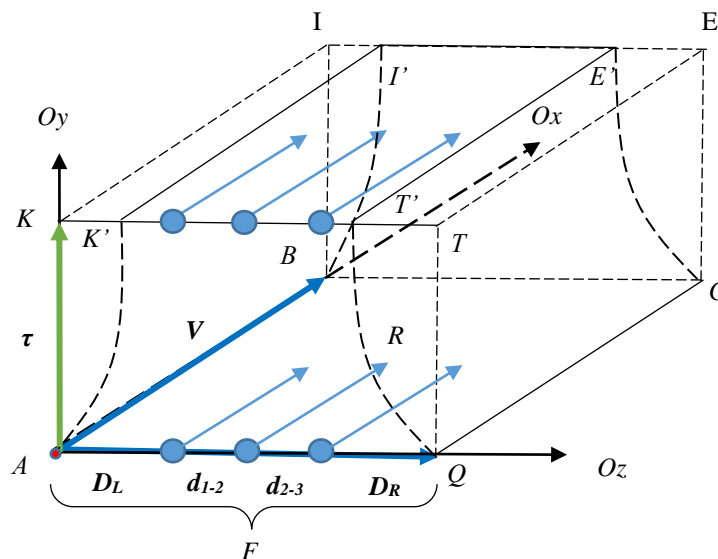


Рисунок 3 – Площадь разведки пожара при динамической производительности поиска группой разведки

Параметр производительность поиска U группой разведки пожара в зданиях текстильных производств в зависимости от искомой вероятности неудачи q будет иметь следующий вид:

$$U = U_0 + (U^* - U_0)q, \quad (5)$$

где U_0 – минимальное значение производительности поиска очага пожара в здании группами разведки, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$; U^* – максимальное (начальное) значение производительности поиска очага пожара, $\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$, q – вероятность неудачи при поиске очага пожара.

Вероятность успеха при поиске очага пожара p связана с вероятностью неудачи следующим соотношением

$$p = 1 - q. \quad (6)$$

С учетом выражения (5) вероятностная составляющая модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств будет представлять собой дифференциальное уравнение

$$S \frac{dq}{d\tau} = -U_0 \cdot q - U^* \cdot q^2 + U_0 \cdot q^2, \quad (7)$$

где S – расчетная площадь поиска очага пожара, м^2 .

Решение уравнения (7) проведем при начальных условиях: $\tau = 0$; $q_0 = 1$; $p_0 = 0$.

Получено аналитическое решение уравнения относительно вероятности неудачи поиска очага пожара q в зданиях текстильных производств

$$q = \frac{1}{K + bK - b}, \quad (8)$$

где $K = \exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right)$, $b = \frac{U^*}{U_0} - 1$;

а с учетом (6) получено выражение для определения вероятности успеха при поиске очага пожара в зданиях текстильных производств

$$p = 1 - \frac{1}{K + bK - b}. \quad (9)$$

Производительность поиска U с учетом выражения (8) можно записать следующим образом

$$U = U_0 \left(\frac{K(1+b)}{K(1+b) - b} \right). \quad (10)$$

Таким образом, получено аналитическое решение модели поиска очага пожара в зданиях текстильных производств при условии, что производительность поиска является функцией от видимости ($U = f(D)$), то есть убывает во времени от максимального значения до минимального, при этом закон убывания производительности поиска нелинейный.

Рассмотрим частный случай модели (7) – с применением технических средств мониторинга, при следующих параметрах: максимальное (начальное) и минимальное значения производительности поиска будут равны ($U^* = U_0$), при этом коэффициент $b = 0$. Полученные в частном случае выражения занесены в таблицу 1 для сравнения с исходной (общей) моделью поиска очага пожара в зданиях текстильных производств.

Таблица 1 – Сравнение моделей поиска очага пожара в зданиях текстильных производств

	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	$U = U_0 \left(\frac{K(1+b)}{K(1+b) - b} \right)$, где $K = \exp\left(\frac{U_0}{S} \tau\right)$	$U = U_0$

Исходя из анализа соотношений в таблице 1, сделан вывод, что разработанная модель поиска очага пожара в зданиях текстильных производств является более общим видом существующей модели поиска очага пожара в здании. В ней учитывается 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 текстильных производств.

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 разработана классификация по коэффициенту b , который учитывает динамику производительности поиска в зданиях текстильных производств (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация по коэффициенту b динамики производительности поиска

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

Для сравнения моделей поиска очага пожара в зданиях текстильных производств сформированы таблицы со справочными и расчетными параметрами горючей нагрузки, характерной для зданий текстильных производств (хлопок, лен и др.), и с учетом ограждающих конструкций зданий (из металлоконструкций или из сэндвич-панелей). По полученным данным построены графики динамики производительностей поиска и вероятностей обнаружения очага пожара в зданиях текстильных производств. В качестве примера приведем графики для горючей нагрузки – лен (рисунки 4 и 5).

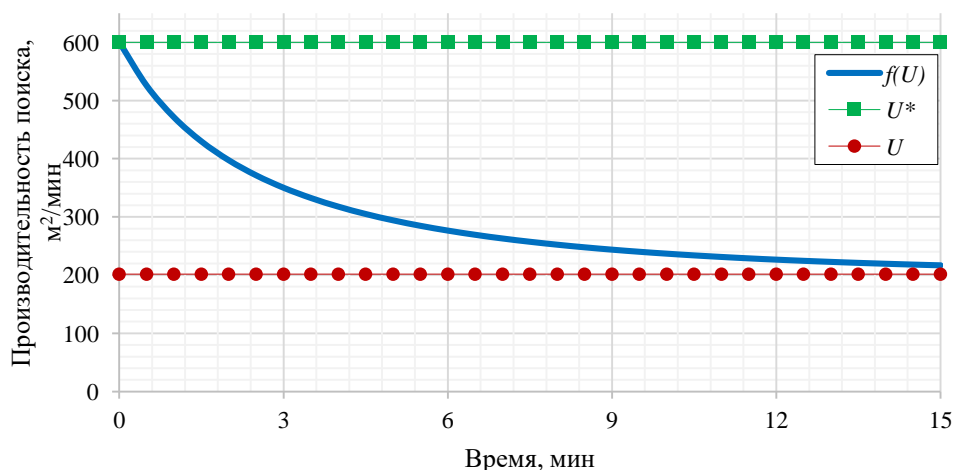


Рисунок 4 – Динамика производительности поиска очага пожара в зданиях текстильных производств (горючая нагрузка – лен)

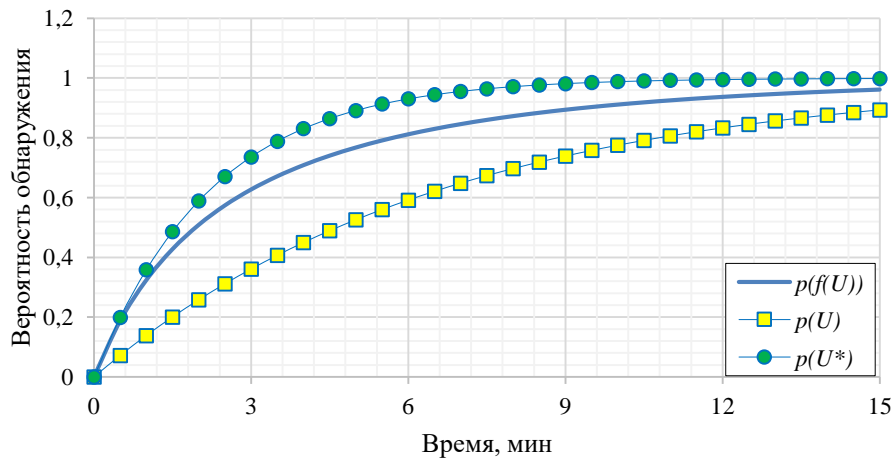


Рисунок 5 – Динамика вероятностей обнаружения очага пожара в зданиях текстильных производств (горючая нагрузка – лен)

На основе анализа графика (рисунок 4), сделан вывод, что производительность поиска группой разведки снижается с развитием пожара в зданиях текстильных производств ввиду уменьшения видимости в дыму.

Для практического использования разработанной модели для поддержки принятия решений по применению технических средств мониторинга при тушении пожаров в зданиях текстильных производств произведена алгоритмизация и программная реализация модели в виде программного модуля, подключенного к базам данных. Программный модуль представляет собой совокупность трех блоков: в I блоке определяется допустимое время поиска очага пожара в здании, во II блоке реализована задача по определению вероятности обнаружения пожара в здании, в III блоке – вероятность тушения пожара в здании прибывшими подразделениями пожарной охраны. В качестве примера на рисунке 6 представлена блок-схема алгоритма работы II блока программного модуля.

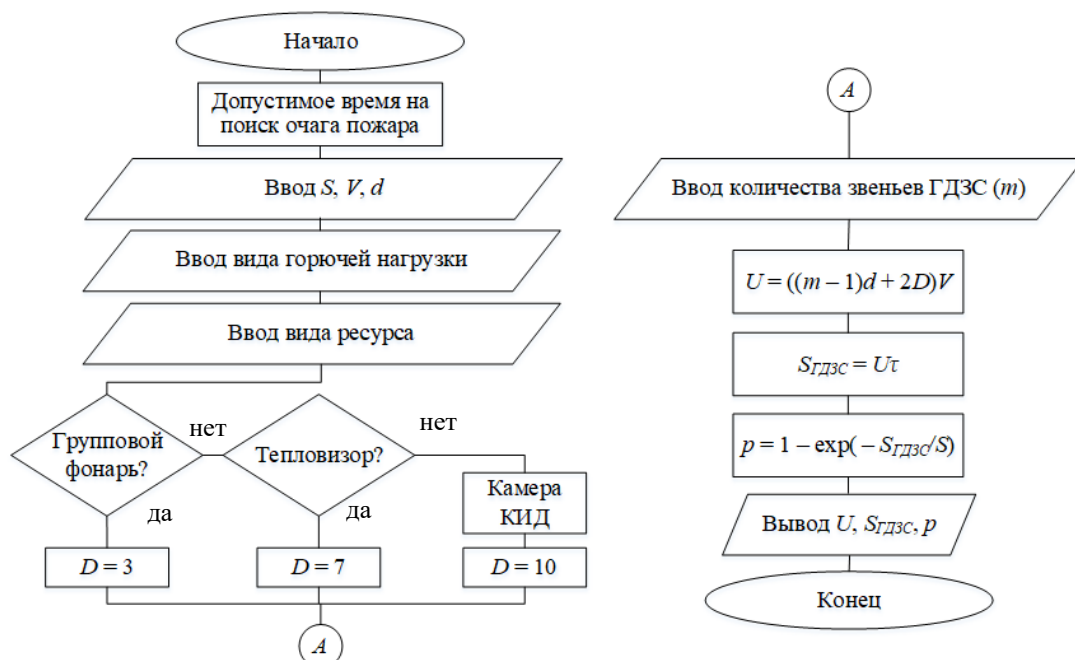


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма работы II блока программного модуля

Интерфейс разработанного программного модуля для поддержки принятия решений по применению средств мониторинга при тушении пожаров в зданиях текстильных производств приведен на рисунке 7.

The interface is divided into three main sections, each enclosed in a dashed box:

- Section I: Параметры работы групп разведки (Parameters of rescue group work)**
 - Тип дыхательного аппарата: Дых. аппарат Б
 - Количество баллонов: 2
 - Объем сжатого воздуха: 13,6 л
 - Минимальное давление сжатого воздуха в дыхательном аппарате: 280 кг^с/см²
 - Потребление воздуха пожарным-спасателем по степени тяжести работ: очень тяжелая (очень т.ж.) л/мин
 - Расчет времени на разведку
 - Допустимое время на поиск очага пожара: 15 мин
- Section II: Достаточности звеньев ГДЗС для организации разведки (Sufficiency of GDS rings for search organization)**
 - Расчетная площадь поиска группами разведки: 1350 кв. м
 - Скорость движения группы разведки: 14 м/мин
 - Расстояние между звеньями: 3 м
 - Дальность видимости: 7 м (тепловизор)
 - Количество звеньев ГДЗС в группе разведки: 1
 - Производительность поиска группой разведки: 196 м²/мин
 - Возможная площадь поиска группой разведки: 2940 кв. м
 - Вероятность обнаружения пожара: 0,887
 - Количество звеньев ГДЗС достаточно
- Section III: Оценка вероятности тушения пожара (Fire extinguishing probability assessment)**
 - Тип горючей нагрузки: Лен
 - Параметры тушения пожара
 - Расход огнетушащих веществ: 5,2 л/с
 - Ожидаемая площадь тушения группами разведки: 65 кв. м
 - Площадь пожара на момент его обнаружения: 67,5 кв. м
 - Вероятность тушения пожара: 0,618

At the bottom right, there are three buttons: "Вычислить" (Calculate), "Сброс" (Reset), and "Выход" (Exit).

Рисунок 7 – Программная реализация модели для поддержки принятия решений по применению средств мониторинга при тушении пожаров в зданиях текстильных производств

Таким образом, разработанная модель поиска очага пожара в зданиях текстильных производств необходима для принятия решений при определении ресурсов в процессе поиска очага пожара в зданиях текстильных производств. Отличительной особенностью разработанной модели является учет динамики производительности поиска на основе изменяющейся видимости в дыму при горении различной горючей нагрузки, характерной для текстильных производств.

В третьей главе «Практико-ориентированная технология управления при тушении пожаров в зданиях текстильных производств» рассмотрено практическое применение результатов исследования в организационной системе управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях текстильных производств, которая объединяет в себе этапы управленческих решений: организация и планирование тушения пожара, тушение пожара (как процесс), организацию и проведение пожарно-тактических учений (обучение личного состава пожарной охраны). Общая схема поддержки принятия управленческих решений на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях текстильных производств приведена на рисунке 8.

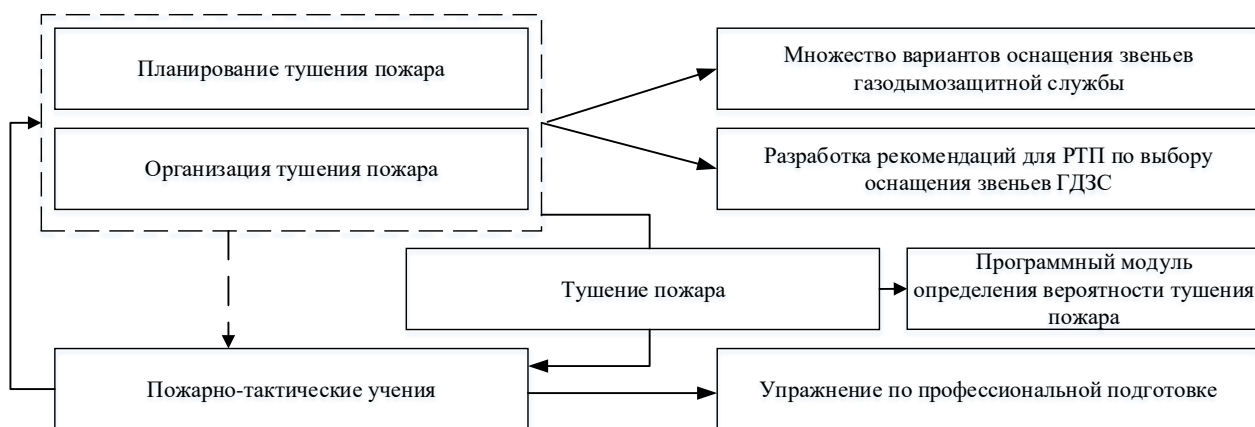


Рисунок 8 – Общая схема поддержки принятия решений на этапе предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях

Целевой функцией пожарно-спасательного гарнизона как организационной системы является поддержание боеспособности пожарных подразделений или их способности к выполнению функций по подготовке к спасению людей и тушению пожаров. То есть нахождение в некотором целевом состоянии S_{ij} , где $i, j = 1, 2, 3, 4, 5$. Рассмотрим эти состояния через функцию «риска-анализа» R .

Функция «риск-анализ» R представляет собой выражение

$$R = B(p_o) \cdot B(p_T), \quad (12)$$

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 $B(p_T) = \{1; 2; 3; 4; 5\}$.

Функция R представляет собой произведение параметров, характеризующих вероятности обнаружения p_o и тушения p_T пожара в здании. R является дискретной функцией, и принимает следующие значения: $R = \{1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 12; 15; 16; 20; 25\}$.

Вероятность возникновения события (вероятность обнаружения p_o или вероятность тушения p_T пожара в зданиях текстильных производств) определяется по выражению:

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{S_A}{S_B}\right), \quad (13)$$

где S_A – возможная площадь поиска или тушения группой разведки, m^2 ;

S_B – расчетная площадь поиска или пожара, m^2 .

Так при определении вероятности обнаружения p_o : площадь, которую может обследовать группа разведки за время τ будет $S_{TB}^o = S_A$, расчетная площадь поиска, которую способна обследовать группа разведки, 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 (13) сформируем

диапазоны значений вероятностей обнаружения и тушения пожара в зданиях текстильных производств в зависимости от тактических возможностей группы разведки (S_{TB}^o, S_{TB}^r). Полученные результаты занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Диапазоны вероятностей обнаружения и тушения пожара в зданиях текстильных производств

Диапазон вероятностей	Значение z	$B(p_o), B(p_r)$
$0 < p_o, p_r \leq 0,64$	$z \leq 1$	1
$0,64 < p_o, p_r \leq 0,70$	$1 < z \leq 1,2$	2
$0,70 < p_o, p_r \leq 0,78$	$1,2 < z \leq 1,5$	3
$0,78 < p_o, p_r \leq 0,82$	$1,5 < z \leq 1,7$	4
$0,82 < p_o, p_r$	$1,7 < z$	5

На основе диапазонов вероятностей и значений параметров $B(p_o)$ и $B(p_r)$ и таблицы 3 сформирована матрица вероятностей обнаружения и тушения пожара в здании текстильных производств (таблица 4).

Таблица 4 – Матрица вероятностей обнаружения и тушения пожара в здании текстильных производств

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

Для функционирования организационной системы (пожарно-спасательного гарнизона) в нормальном режиме необходимо обеспечить вероятности тушения $p_t \rightarrow \max$ и обнаружения $p_o \rightarrow \max$, 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 подразделений при тушении пожаров в зданиях текстильных производств.

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

В разработанном программном модуле сформированы исходные данные для решения задачи выбора ресурсов (оборудования) для пожарных подразделений.

При решении многокритериальной задачи оптимизации процесса выбора оборудования (ресурсов) пожарных подразделений (звеньев ГДЗС) для поиска очага пожара в зданиях текстильных производств использован принцип Парето. Визуальное представление исходных данных множества вариантов для выбора ресурсов пожарных подразделений приведено на рисунке 9.

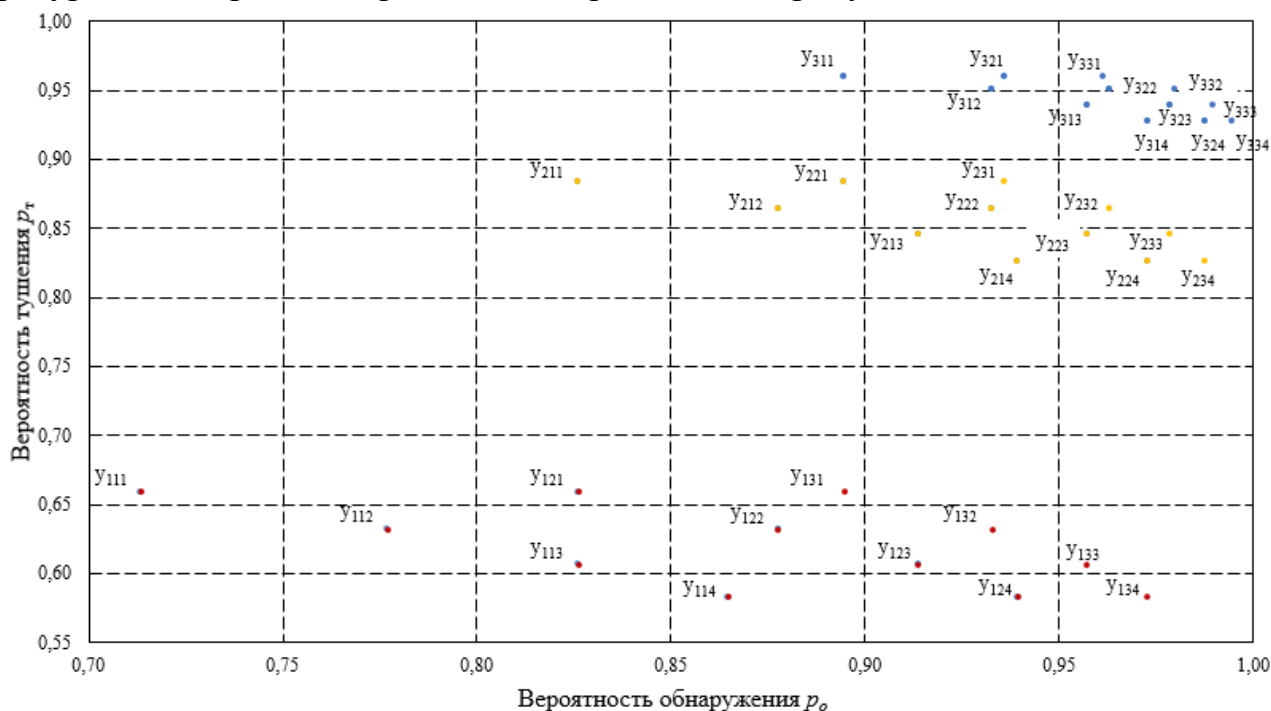


Рисунок 9 – Визуализация множества вариантов выбора ресурсов пожарных подразделений

На рисунке 9 варианты выбора обозначены через $Y_{k_1 k_2 k_3}$, где k_1 – количество звеньев ГДЗС, $k_1 = 1, 2, 3$; k_2 – вид технического средства мониторинга, $k_2 = 1$ без средств мониторинга (групповой фонарь), $k_2 = 2$ для тепловизора, $k_2 = 3$ для камеры КИД; k_3 – вид дыхательного аппарата (СИЗОД), $k_3 = 1, 2, 3, 4$.

На первом этапе применен метод сужения множества по Парето. Для каждого варианта выбора при количестве пожарных подразделений

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 этапе сравнивались результаты, полученные с использованием методов: сужение при помощи метрики Чебышева и сужение при помощи евклидовой метрики. Оба способа позволили сузить множество $P(Y)$ до одного компромиссного варианта управленческого решения. В таблице 5 представлены результаты сравнительного анализа результатов выбора ресурсов (оборудования) звеньев ГДЗС по методам (способам) выбора.

Таблица 5 – Результаты сравнительного анализа выбора ресурсов пожарных подразделений

Количество критериев	Методы (способы) выбора	Выбор ресурса		
		1 звено ГДЗС	2 звена ГДЗС	3 звена ГДЗС
однокритериальный	$p_T \rightarrow \max$	$y_{111}, y_{121}, y_{131}$ ($p_T = 0,66$) состояния системы S_{23}, S_{25}, S_{25}	$y_{211}, y_{221}, y_{231}$ ($p_T = 0,88$) состояния системы S_{55}, S_{55}, S_{55}	$y_{311}, y_{321}, y_{331}$ ($p_T = 0,96$) состояния системы S_{55}, S_{55}, S_{55}
	$p_o \rightarrow \max$	y_{134} ($p_o = 0,97$) состояние системы S_{15}	y_{234} ($p_o = 0,99$) состояние системы S_{55}	y_{334} ($p_o = 0,99$) состояние системы S_{55}
многокритериальный	по метрике Чебышева и евклидовой метрике ($p_T \rightarrow \max$ и $p_o \rightarrow \max$)	y_{133} ($p_T = 0,61$, $p_o = 0,96$) состояние системы S_{15}	y_{233} ($p_T = 0,85$, $p_o = 0,98$) состояние системы S_{55}	y_{332} ($p_T = 0,95$, $p_o = 0,98$) состояние системы S_{55}

Анализ данных, представленных в таблице 5, показывает, что при выборе ресурсов пожарных подразделений с учетом предпочтительности вероятности тушения пожара ($p_T \rightarrow \max$) лицу, принимающему решение (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 организационной системе управления на пожаре использование каждого вида ресурса характеризуется 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.

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, получены следующие варианты выбора ресурсов пожарных подразделений – состоящего из 1 звена ГДЗС – y_{133} (состояние системы S_{15}), из 2 звеньев ГДЗС – y_{233} (состояние системы S_{55}) и из 3 звеньев ГДЗС – y_{332} (состояние системы S_{55}).

Проведено имитационное моделирование процесса поиска очага пожара в здании текстильного производства в программном продукте «Система моделирования развития и тушения пожаров», разработанном Таракановым Д.В. и др. Исходные параметры моделирования: здание текстильного производства оборудовано автоматической пожарной сигнализацией адресного типа, типовая горючая нагрузка, пожарные подразделения на основных пожарных автомобилях.

На рисунке 10 представлены полученные в ходе моделирования графики динамики опасных факторов пожара в здании текстильного производства.

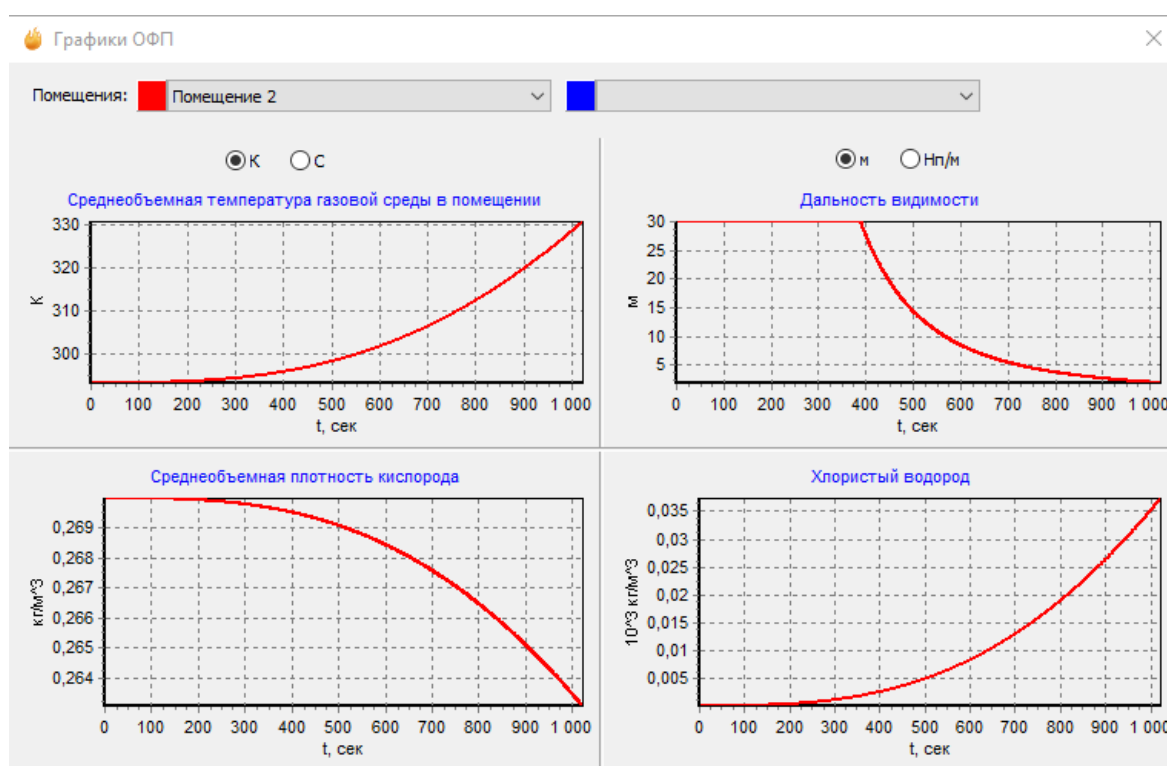
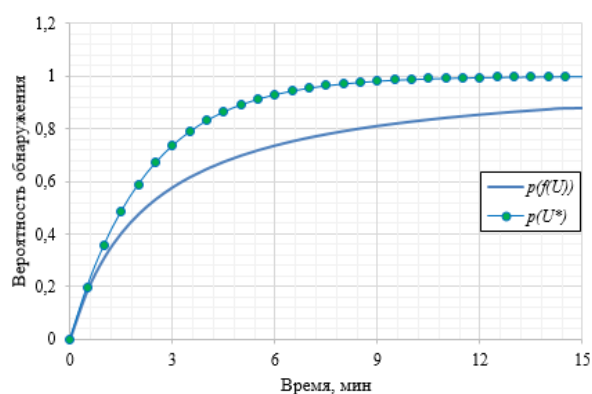


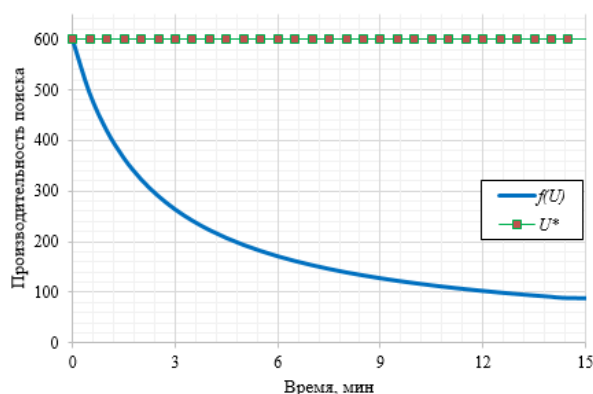
Рисунок 10 – Графики динамики опасных факторов пожара в здании текстильного производств (типовая горючая нагрузка)

На момент прибытия пожарных подразделений (11 мин после начала пожара) видимость составила 6,5 м. При этом скорость движения звена ГДЗС будет $V = 25$ м/мин, производительность поиска звеном ГДЗС $U^* = 338$ м²/мин. Для значения видимости 1 м производительность поиска будет $U_0 = 18$ м²/мин.

При использовании технического средства мониторинга – камеры КИД – видимость и производительность поиска будут постоянными – $D = 10$ м, $U^* = 600$ м²/мин. Вероятность обнаружения определена по формуле (9). Исходя из значений U_0 и U^* , определим $b = 17,78$. Далее построены графики вероятности обнаружения очага пожара и производительности поиска очага пожара звеньями ГДЗС согласно разработанной модели (рисунки 11а, 11б).



а)



б)

Рисунок 11 – Динамика вероятностей обнаружения очага пожара (а) и производительности поиска очага пожара (б) (типичная горючая нагрузка зданий текстильных производств)

По построенным графикам определены условия поиска в имитационном моделировании в соответствии с классификацией условий поиска в зданиях текстильных производств (таблица 2). Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – 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, τ_{\max} , МИН	4,3					4,3
Время поиска очага пожара без использования технических средств мониторинга, τ , 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 в таблице 6, 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 $p_o = 0,85$ 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 %.

Для адаптации применения новых видов ресурсов (камер КИД, тепловизоров) в пожарных подразделениях необходимо обучить сотрудников навыкам работы с ними в рамках профессиональной подготовки. Результаты исследования времени обнаружения очага пожара на основе разработанной модели возможно использовать для определения временных показателей выполнения упражнений в разделе 3 «Нормативы с использованием СИЗОД», а именно упражнение 3.8 «Прокладка заполненной рабочей рукавной линии в здании или сооружении при ограниченной / нулевой видимости звеном ГДЗС до условного очага».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Анализ пожаров в зданиях текстильных производств показал, что пожары на данных объектах наносят огромный материальный ущерб (средний ущерб от 1 пожара составляет более 2 млн руб., наиболее крупный ущерб от 1 пожара – около 57 млн руб. за период 2010-2022 гг.), 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 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.

ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК России

1. 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> – DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.141–150.

2. 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.

3. Михайлов, К.А. Модель визуального обнаружения пожара в зданиях текстильных производств при разведке звеньями газодымозащитной службы [Электронный ресурс] / К.А. Михайлов, В.В. Терехнев, Д.В. Тараканов [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2023. – Вып. 1 (99). – С. 82-91. – URL: <http://academygps.ru/ttb> – DOI: 10.25257/TTS.2023.1.99.82-91.

4. Михайлов, К.А. 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>. – DOI: 10.25257/TTS.2021.3.93.19-28.

Публикации в научных изданиях, входящих в международные системы цитирования:

5. Михайлов, К.А. 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. (международная база данных CA(pt)).

6. Михайлов, К.А. 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. (международная база данных CA(pt)).

Свидетельства о регистрации баз данных и программы для ЭВМ

7. 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.

8. 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.

9. 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. Тербнев, А.В. Подгрушный.

Монографии

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

11. Михайлов, К.А. 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.

Публикации в других изданиях

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

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Михайлов, К.А. Информационная поддержка принятия решений при организации разведки очага пожара в здании // К.А. Михайлов / Матер. 31-й науч.-технич. конф. «Системы безопасности – 2022». – М. : Академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 214–218.

17. 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.

18. Михайлов, К.А. Модель разведки пожара в зданиях текстильных производств звеньями газодымозащитной службы / К.А. Михайлов, Д.В. Тараканов // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». – 2023. – № 32. – С. 81–85.

Подписано в печать 09.10.2024. Формат 60×90 1/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 715
Академия ГПС МЧС России.
129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4