

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(Наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки)

Управление пожарной безопасностью

(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему: Моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций,  
связанных с пожарами на объекте

Обучающийся

А.А. Рыбин

(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент И.И. Рашоян

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н, доцент Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Содержание

Введение.....	3
Термины и определения .....	9
Перечень сокращений и обозначений.....	10
1 Исследование различных методов моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами .....	11
1.1 Понятие и сущность моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.....	11
1.2 Методы моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами .....	21
1.3 Сравнение методов моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами .....	33
2 Выбор метода моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты .....	42
2.1 Анализ деятельности 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре.....	42
2.2 Анализ существующих технических решений в области обеспечения пожарной безопасности 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС .....	48
2.3 Обоснование метода моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты .....	60
3 Анализ результатов исследования и разработка рекомендаций по применению его результатов .....	74
3.1 Разработка рекомендаций по применению результатов моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты.....	74
3.2 Анализ эффективности внедрения результатов исследования .....	80
Заключение .....	86
Список используемой литературы и используемых источников.....	89

## Введение

Актуальность исследования. Общество всегда стремилось с уверенностью смотреть в будущий день, прогнозировать события, чтобы вовремя предотвращать определённые негативные воздействия. С ростом технического прогресса, стремительного развития промышленности, информационных и коммуникационных технологий необходимость в предвидении только актуализировалась. Дело в том, что технологический рост и использование его продуктов труда (машины, новые материалы, инфраструктура), несет в себе истораживающие моменты: отказ автоматических систем, нарушение технологических процессов, замыкание, возгорание, которые необходимо предвидеть и предупредить.

В процессе производственной деятельности человека и его жизнедеятельности могут иметь место негативные воздействия, приводящие к чрезвычайным ситуациям, опасным техногенным происшествиям. Чрезвычайные ситуации – это отклонение от нормального хода событий, следовательно, им предшествуют определенные условия. Выявление таких условий и принятие мер по нивелированию последствий могут помочь в предотвращении чрезвычайных ситуаций.

Минимизировать вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций и их последствий возможно с помощью предвидения событий, которые способствуют появлению такой ситуации. Оптимальным и полезным инструментом такого предвидения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций может стать моделирование. В современном мире моделирование можно провести как базе информационных технологий с помощью компьютерных программ для моделирования. Такой подход требует определенных знаний и временных затрат на этапе создания исходной модели объекта [53].

Затем к смоделированному компьютерному объекту применяют различные условия, способствующие развитию чрезвычайной ситуации,

оценивают последствия, оперативно, просчитывая различные вводные. В итоге потенциально возможные ситуации начала ЧС и ее последствия рассчитываются в компьютерной модели, после чего разрабатываются меры нивелирования как вероятности возникновения самих чрезвычайных ситуаций, так и их последствий.

Постоянный мониторинг ситуации, точный своевременный прогноз – важнейшие условия обеспечения защиты населения от чрезвычайных ситуаций. Мониторинг – это точка контроля, на основе которой можно смоделировать возможные последствия.

Важно отметить, что моделирование возможного риска возникновения чрезвычайных ситуаций во многих случаях является единственным допустимым и возможным методом прогнозирования [4].

Под моделированием возможного риска возникновения чрезвычайных ситуаций понимается высказывание в виде вероятностного утверждения о зависящем от ряда факторов поведении некоторой системы в будущем, сделанное на основании обобщения опыта прошлого.

Моделирование потенциального риска возможного появления различных чрезвычайных ситуаций (ЧС) на какой-либо территории нашего государства главным образом осуществляется сформированной структурой МЧС Российской Федерации в достаточно тесном содействии с иными смежными федеральными органами исполнительной власти в практической деятельности [3].

В соответствии с ГОСТ Р22.1.02–95, «прогнозирование чрезвычайных ситуаций - это опережающее отражение вероятности возникновения и развития чрезвычайной ситуации на основе анализа причин ее возникновения, ее источников в прошлом и настоящем» [9].

Моделирование чрезвычайных ситуаций позволяет количественно оценить ожидаемое развитие ситуации в случае чрезвычайной ситуации, аварии в местах скопления людей.

Предметом работы является моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций.

Объектом работы является метод моделирования в деятельности 7 пожарно-спасательный отряд ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре.

Цель данной работы заключается в исследовании процесса моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на объекте.

Гипотеза исследования состоит в том, что технический процесс и технические условия относительно обеспечения надлежащего уровня пожарной безопасности на объекте взрывопожароопасного производства будут эффективнее, если:

- разработать систему управления пожарной безопасностью на объекте 7-го пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре;
- разработать совершенствование процесса обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации опасного производственного объекта (7-го пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре).

Из предмета, объекта и цели работы вытекает следующий ряд задач:

- раскрыть понятие и сущность моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций;
- рассмотреть методы моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами;
- сравнить методы моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами;

- проанализировать деятельность 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре;
- проанализировать существующие технические решения в области обеспечения пожарной безопасности 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС;
- раскрыть обоснование метода моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты;
- разработать рекомендации по применению результатов моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты;
- проанализировать эффективность внедрения результатов исследования.

Теоретико-методологическую основу исследования составили работы специалистов таких как: Б. Т. Бадагуев, Г. И. Беляков, Л. А. Демидова, Е. В. Никульчев, Ю. С. Соколова, В. С. Ложкин, Ю. М. Михайлов, В. С. Федоров.

Информационной базой исследования также явились: Конституция РФ; нормы и правила РФ об обеспечении эксплуатации общественных зданий и сооружений, федеральные законы о пожарной безопасности; приказы МЧС РФ, касающиеся тушения пожаров и надзора пожарной безопасности потенциально-опасных объектов, постановления правительства РФ в сфере предмета исследования.

Методы исследования: теоретические и практические методы, такие как сравнительный анализ, синтез, моделирование, изучение и сбор информации, наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент.

Опытно-экспериментальная база исследования - 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре [8].

Научная новизна работы определяется комплексным подходом к изучению теоретических и практических основ моделирования процесса прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на объекте.

Теоретическая значимость исследования заключается в использовании материалов работы в научно-исследовательских целях в таких отраслях как «Безопасность на предприятиях», «Пожарная безопасность на опасных промышленных объектах» и смежных с ними отраслях.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования авторских предложений при моделировании и прогнозировании чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на объекте 7-го пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре, что может быть внедрено в практическую эксплуатацию.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались расчетами и фактическими данными. Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в проведении анализа данных по объекту исследования.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на следующих конференциях:

- Рыбин А.А. Проблемы надлежащего обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации опасного производственного объекта // Студенческий форум: электрон. научн. журн. 2022. № 33(212). URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/212/117879> (дата обращения: 01.03.2023) [42].

На защиту выносятся следующие положения:

- понятие моделирования чрезвычайных ситуаций как имитации ситуации и обстановки, сложившейся на определённой территории в процессе возможного наступления ЧС;

- расчетная модель прогнозирования с помощью экстраполяции в отношении возникновения потенциально-опасных ситуаций пожара в ФПС ГПС 2023-2025 годах,;
- методика проведения анализа обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого объекта защиты с помощью моделирования. На основе сравнения значений времени блокировки и времени безопасной эвакуации людей формирование заключения о необходимости проведения дополнительных противопожарных мероприятий;
- разработка рекомендаций по применению результатов моделирования пожара и его опасных факторов для пожарной безопасности объекта защиты.

Структура магистерской диссертации: введение, три главы, заключение и список используемой литературы. Магистерская диссертация размещена на 95 страницах, содержит 15 таблиц и 23 рисунка, использовано 60 источников литературы.

## Термины и определения

Моделирование развития чрезвычайной ситуации - условное физическое или математическое представление процесса возникновения и развития вероятной чрезвычайной ситуации путем построения и изучения её модели.

Интервальный прогноз - предсказание будущего, в котором предполагается некоторый интервал, диапазон значений прогнозируемого показателя.

Модель пожара – приближенное описание процесса пожара, сопровождающих его последствий, особенностей развития пожара в случае его возникновения, основанное на конкретной исходной информации по объекту.

## Перечень сокращений и обозначений

АС - автоматическая (автоматизированная) система

АСР - аварийно-спасательных работ

ГПН - Государственный пожарный надзор

ДПД - добровольная пожарная дружина

МЧС - Министерство чрезвычайных ситуаций

ОП - объект прогнозирования

ОФ - основные фонды

РСЧС - Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций

РФ - Российская Федерация

СОПБ - системы обеспечения пожарной безопасности

ЧС - чрезвычайные ситуации

# **1 Исследование различных методов моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами**

## **1.1 Понятие и сущность моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций**

Чрезвычайные ситуации представляют собой отклонение от нормального хода событий, следовательно, им предшествуют определенные условия. Выявление таких условий и принятие своевременных мер по их предотвращению возможно на базе прогнозирования.

В соответствии с ФЗ-68, статьи 1 «чрезвычайная ситуация - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей» [32].

Согласно определению А. А. Ковзель «прогнозирование чрезвычайных ситуаций - это опережающее отражение вероятности возникновения и развития чрезвычайной ситуации на основе анализа причин ее возникновения, ее источников в прошлом и настоящем. Основная цель прогнозирования чрезвычайных ситуаций - это подготовка исходных данных для принятия решения, определение всех возможных на данной территории источников ЧС, оценка вероятности их возникновения и возможных масштабов ЧС и их последствий» [12].

В прогнозировании чрезвычайных ситуаций большое значение имеет мониторинг, именно он позволяет оценить риски потенциальных источников опасности, выявить их изменения. Наблюдения за потенциальными источниками ЧС обычно фиксируются и малейшие изменения могут быть заметны в динамике. Это дает возможность во время принять превентивные

меры на объекте по предупреждению возникновения ЧС. Результаты мониторинга в динамике дают достоверную статистическую базу для прогнозирования, создания трендовых моделей развития ситуации и изменения отдельных показателей мониторинга в будущем. Все это является достоверной базой для принятия решений в деятельности органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям [34].

Существенным этапом процесса поиска вариантов снижения риска как возникновения ЧС так и их последствий является прогнозирование [3].

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций – опережающее предвидение возможности наступления такой ситуации, а также ее развития, на основе изучения информации о ситуации в прошлом и настоящем [52].

«Прогнозирование чрезвычайных ситуаций - опережающее отражение вероятности возникновения и развития чрезвычайных ситуаций на основе анализа возможных причин ее возникновения, ее источника в прошлом и настоящем» [5].

При подготовке прогнозов рассматриваются все возможные источники возникновения ЧС, характерные для региона.

Прогнозирование ЧС направлено «на определение места возможного возникновения ЧС, вероятности ее появления и оценки потенциальной возможности негативных последствий с максимально возможным учетом специфики технологического оборудования, условий протекания взрывоопасных процессов, пространственной организации помещений, своевременным реагированием на сигналы мониторинговых систем, отслеживающих состояние протекающих технологических процессов и оперативного выполнения адекватных прогнозов развития ситуаций» [20].

Цели прогнозирования – заблаговременное получение информации о возможном времени и месте ЧС [41].

Главное управление МЧС России указывает, что «цели прогнозирования – заблаговременное получение качественной и количественной информации о возможном времени и месте природных и

техногенных ЧС, характере и степени связанных с ними опасностей для населения и территории и оценка возможных социально-экономических последствиях ЧС» [36].

Как отмечает А. А. Ковзель: «основными задачами (объектами или предметами) прогнозирования являются:

- вероятности возникновения любого из источников чрезвычайных ситуаций и их масштабов;
- возможные продолжительные последствия при возникновении чрезвычайных ситуаций определенных типов, масштабов, временных интервалов или их определенных совокупностей;
- потребности сил и средств для ликвидации прогнозируемых чрезвычайных ситуаций» [12].

Прогнозирование возможных последствий осуществляется в два основополагающих этапа непосредственной реализации. Первая фаза называется «раннее прогнозирование», вторая – «оперативная фаза реагирования». Данные этапы различаются между собой по намеченным целям, фактическому объему и соответственно применяемым методам практического получения имеющейся исходной информации, а также практического использования необходимых результатов предварительного прогнозирования.

Раннее прогнозирование исполняется посредством использования современных автоматизированных систем и нормативным справочникам [11]. Оперативное прогнозирование по большей части осуществляется сразу после непосредственного наступления чрезвычайного события исключительно на основе собранных реальных данных в зоне чрезвычайного события [37].

Прогнозирование строится на основе трех источников информации:

- мониторинга состояния;
- оценки потенциала развития, например, на основе экстраполяции;

– прогноз и оценка его вероятности.

Общими для данных этапов можно считать применяемый метод и непосредственное содержание самого процесса прогнозирования, которое заключается в определении основных присущих характеристик чрезвычайных событий исключительно расчетным путем.

На рисунке 1 схематично представлен процесс прогнозирования чрезвычайных ситуаций [6].

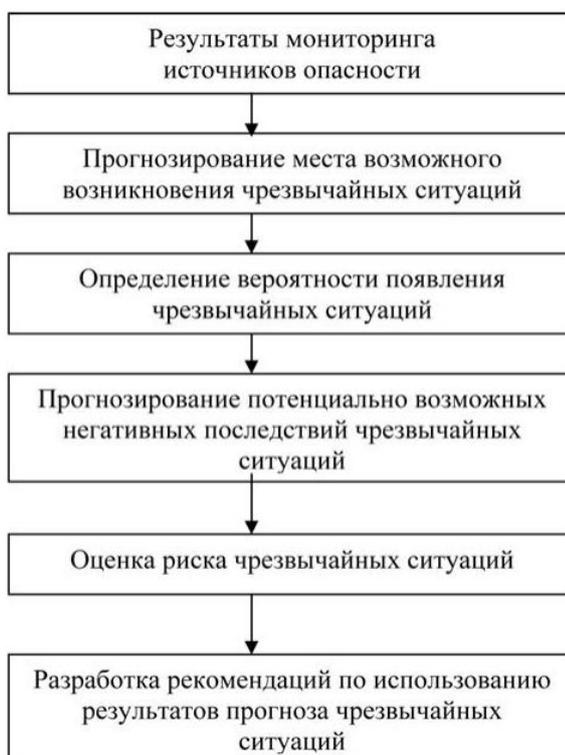


Рисунок 1 - Принципиальная схема прогнозирования чрезвычайных ситуаций

На всех этапах прогнозирования чрезвычайных ситуаций используется общий порядок действий:

- сбор и анализ необходимых исходных данных (чаще всего в виде мониторинга с фиксацией данных);
- выбор и разработка математического аппарата для прогнозирования (в том числе моделирование);

- выполнение промежуточных расчетов;
- оценка достоверности прогноза.

По длительности периода времени, на который распространяется прогноз, прогнозирование условно подразделяется на 3 типа:

- долгосрочное;
- среднесрочное;
- краткосрочное (оперативное) [12].

Оперативные прогнозы имеют целью получение исходных данных о возможной обстановке для принятия решения о защите населения и территории от поражающих факторов ЧС. Краткосрочный прогноз (часы, сутки) нужен с целью принятия неотложных тактических мер целенаправленных на защиту населения (например, эвакуации) [46].

Среднесрочное прогнозирование направлено на изучение ситуаций, развитие которых требует больше времени.

Результаты долгосрочного прогноза являются исходными данными для разработки перспективных и текущих планов по предупреждению и ликвидации ЧС [10].

В соответствии с методическими рекомендациями по организации деятельности подразделений мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций территориальных органов МЧС России (утв. МЧС России 25.12.2020 № 2-4-71-35-11) «МЧС России разрабатывают следующие виды прогнозов ЧС:

- долгосрочные (ежегодные и сезонные);
- среднесрочные (ежемесячные);
- краткосрочные (декадные);
- оперативные (на сутки);
- экстренные предупреждения (на период менее 24 часов)» [20].

В соответствии с методическими рекомендациями № 2-4-71-35-11 «прогноз ЧС формируется на основе:

- информации от подразделений (организаций, учреждений) территориальных органов федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и организаций, осуществляющих деятельность в сфере мониторинга состояния окружающей среды, контроля в области промышленной безопасности;
- информации подразделений МЧС России;
- данных (моделей) международных метеорологических агентств посредством открытых информационных систем и ресурсов;
- информационных систем и ресурсов федеральных органов исполнительной власти, территориальных органов федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций, а также иных открытых Интернет-ресурсов и систем;
- паспортов территорий и объектов, расположенных на данной территории;
- базы (банка) данных о ЧС» [20].

Методы прогнозирования подразделяются на три группы:

- эвристические (строятся на использовании мнений экспертов);
- статистические (строятся на основе обработки накопленного статистического материала и получении математических зависимостей);
- моделирование.

Эвристическое прогнозирование обширно используется с целью установления направленностей формирования общественных, а также многозначительных действий, формирования науки и техники [12].

Приближенные способы применяемого процесса прогнозирования строятся в практическом применении суждений квалифицированных

специалистов-экспертов и соответственно применяются исключительно с целью моделирования действий, формализовать которые фактически нельзя.

Прогноз по своей природе всегда носит приближенный характер.

Статистические способы осуществляемого на практике процесса прогнозирования строятся в основном на базовом основании качественного обрабатывания собранного статистического материала о присущих свойствах интересующих явлений и характерных действиях, а также наиболее точных связей, в полной мере объединяющих все имеющиеся сведения, характеристики с заданным периодом [12].

Математическое моделирование, применяемое в практической деятельности в большей части осуществляется исключительно на основе уже предварительно подготовленного и имеющегося статистического материала, являющегося в каждом конкретном случае исходным [7].

Итак, моделирование является одним из способов прогнозирования.

В соответствии с ГОСТ Р22.1.02–95 «моделирование чрезвычайных ситуаций предполагает собою опережающее отображение вероятности появления и формирования аварийного действия на основании анализа факторов его появления, его источников в минувшем, а также реальном времени» [40].

Моделирование ЧС представляет собой способ приблизительного выявления и оценки возможных обстоятельств, складывающихся вследствие ЧС [32].

Моделирование ЧС заключается в извлечении данных о возможном состоянии небезопасных объектов либо источников в конкретной местности, формировании естественных явлений, непосредственно приводящих к различного рода ЧС, а также анализ вероятных результатов при появлении ЧС различного характера [19].

В соответствии с методическими рекомендациями по организации деятельности подразделений мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций территориальных органов МЧС России (утв. МЧС России

25.12.2020 № 2-4-71-35-11) «моделирование - исследование объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих систем (объектов, процессов или явлений) с целью получения объяснений этих систем, а также для предсказания их поведения и характеристик. Моделирование развития ЧС - исследование процессов развития ЧС на их моделях, построение и изучение моделей развития ЧС с целью получения объяснений прогноза развития и характеристик ЧС» [20].

Моделирование чрезвычайных ситуаций - это имитация обстановки, на определённой территории: здании, помещении в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия в местах скопления большого количества людей [15].

Цели моделирования ЧС:

- заблаговременное получение сведений о вероятном моменте;
- заблаговременное получение сведений об участке возможных ЧС;
- заблаговременное получение сведений о характере и уровне сопряженных с ними угроз для жителей и местности, а также анализ вероятных общественно-финансовых последствиях ЧС [7].

В результате моделирования разрабатываются различные сценарии возможного развития событий. Основные направления таких решений:

- изменение архитектурных решений. При моделировании различных вариантов чрезвычайных ситуаций выявляются «узкие» места в архитектурных и планировочных решениях объекта или территории, которые в аварийных условиях способны привести к заторам и затруднить эвакуацию. В результате проведенного анализа разрабатывает предложения и варианты строительных решений, которые позволят избежать возможных заторов и минимизировать время эвакуации;
- управление пешеходными потоками. В результате моделирования и анализа разрабатываются рекомендации и варианты решения

организационных вопросов по разделению встречных потоков, что позволяет избежать заторов и сократить время эвакуации;

- разработка инструкций для работы аварийных служб. На основе моделирования разрабатываются сценарии для работы аварийных служб.

Существуют различные подходы к моделированию, причем каждый из них выбирается для конкретной ситуации. Модели могут описывать развитие чрезвычайной ситуации, факторы, приводящие к чрезвычайной ситуации, пути борьбы с чрезвычайной ситуацией, устранение ее последствий [23].

Основные подходы для целей моделирования ЧС представлены на рисунке 2.

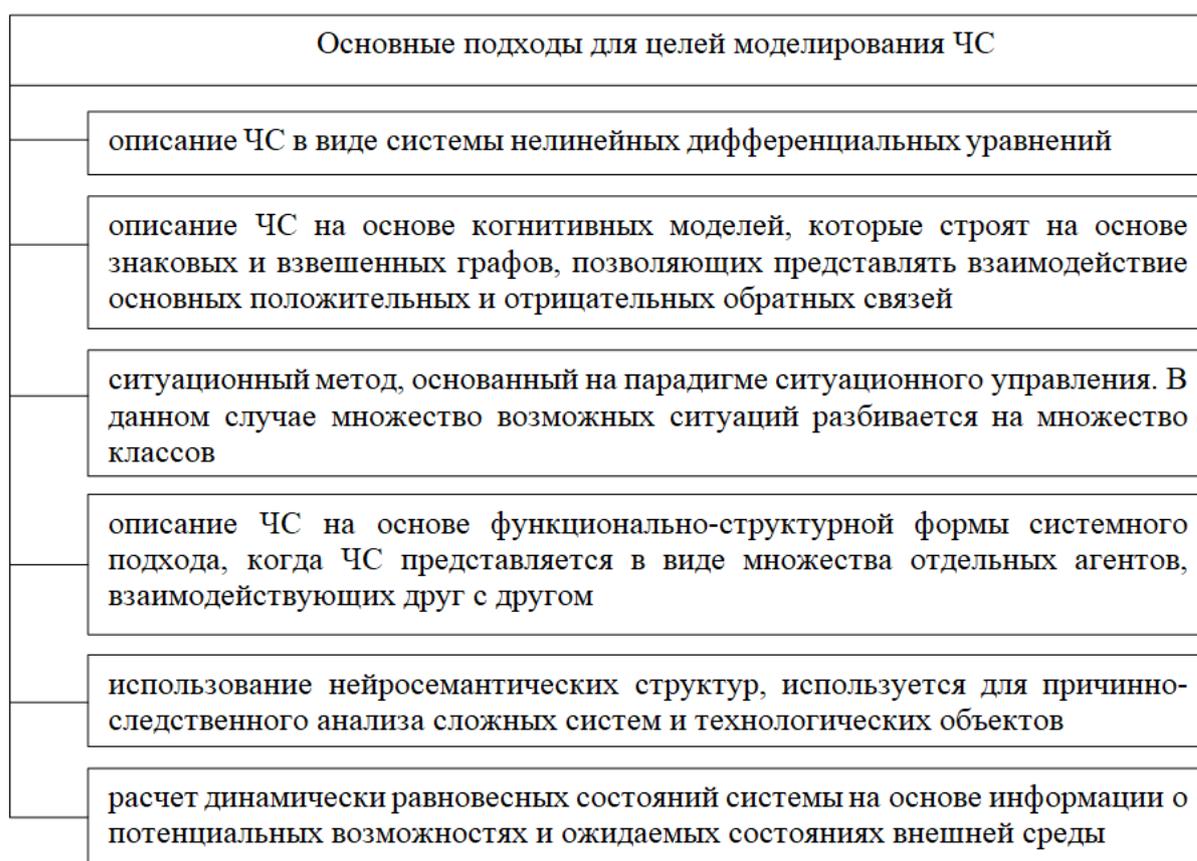


Рисунок 2 - Основные подходы для целей моделирования ЧС [5]

Таким образом, подходов к моделированию ЧС много, и каждый из них имеет свои особенности. Указанные методы могут применяться в совокупности друг с другом.

Схема построения математической модели для прогноза ЧС представлена на рисунке 3 [45].

Необходимым условием получения достаточно точной и надежной математической модели ЧС является проверка ее адекватности.



Рисунок 3 - Схема построения математической модели

Как указывают В.Ю.Радоуцкий и М.В.Литвин в своей монографии «процедуру моделирования различных ЧС подразделяют на два 2 этапа:

- моделирование самого появления ЧС;
- моделирование возможных сценариев, как формирования процесса, так и результатов ЧС» [24].

Таким образом, можно сделать вывод, что прогнозирование чрезвычайных ситуаций выражается в поиске вероятности возникновения чрезвычайной ситуации на основе изучения ее причин возникновения в прошлом. Современным способом прогнозирования является моделирование. Моделирование чрезвычайных ситуаций – это процесс создания модели как события, который содержит имитацию ситуации в процессе возможного наступления ЧС.

## **1.2 Методы моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами**

Негативным и относительно частым последствием наступления чрезвычайной ситуации является пожар. Под пожаром обычно понимают неконтролируемый процесс горения, сопровождающийся уничтожением материальных ценностей и создающий опасность для жизни людей [5].

Научно-технический прогресс привел к появлению множества пожароопасных объектов и факторов, от пожаров страдают законные интересы граждан, их имущество, нарушается нормальная жизнедеятельность образовательных, производственных, транспортных и иных важных объектов. Ежегодно в России возникает примерно 240 тысяч пожаров, от которых погибает порядка 19 тысяч человек и уничтожаются материальные ценности на десятки и даже сотни миллионов рублей. Для борьбы с пожаром большое значение имеют своевременное сообщение о пожаре, наличие и работоспособность средств противопожарной защиты и тушения пожаров. Каждый человек должен знать основные принципы прекращения горения. Необходимо организовывать правильную систему обеспечения пожарной безопасности на любом предприятии [5, с. 14].

При соблюдении необходимых требований по обеспечению пожарной безопасности достигается необходимый уровень противопожарной защиты.

Для предотвращения возгорания на любом объекте или же для их нивелирования на ранних стадиях изучают варианты развития событий во время пожара. Это позволяет быстро ликвидировать огонь во время возгорания, а также знать его направление и уязвимые места, что дает возможности вовремя принять противопожарные меры и ускоренно ликвидировать очаг возгорания [24].

Обеспечение пожарной безопасности является важной и особо значимой функцией современного государства.

«Система обеспечения пожарной безопасности – совокупность сил и средств, мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их тушение и проведение аварийно-спасательных работ» [17].

Основными документами, устанавливающими требования в области пожарной безопасности, являются Конституция Российской Федерации [14]; Федеральный закон № 69 «О пожарной безопасности» [33]; Федеральный закон № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [50]; Постановление Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» [29]; Постановление Правительства Российской Федерации от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [25]; Постановление Правительства РФ от 1 сентября 2021 г. № 1464 «Об утверждении требований к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системой пожарной сигнализации, системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре» [30].

Правила противопожарного режима постоянно обновляются. Так, с 1 марта 2023 года вступило в силу постановление Правительства РФ от 24.10.2022 № 1885 [31], которое изменяет правила противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденные постановлением Правительства РФ

от 16.09.2020 № 1479 [28]. Поэтому постоянно необходимо отслеживать и изучать данные изменения.

Итак, пожарная безопасность – государственная и общественная безопасность.

Методы моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами те же, что и при других чрезвычайных ситуациях, однако в данном случае могут быть конкретизированы.

Прогноз чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами нацелен на три основных этапа:

- прогноз вероятности возникновения с определением места наибольшей вероятности возникновения пожара, времени и факторов, способствующих этому;
- прогнозирование развития ситуации и распространения пожара (направления, скорости) при его возникновении, самого процесса;
- прогноз последствий возникновения пожара на конкретном объекте [44].

«Прогнозирование возникновения и возможных путей развития пожара на объекте – это один из способов реального предупреждения возгорания и уменьшения негативных его последствий. Прогноз составляется на основании анализа всех возможных неблагоприятных факторов, полей их действия, особенностей объекта, его пожароопасности и других данных» [43].

Согласно Приказу МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» среди важных факторов для расчета «последствий пожара выделяют:

- образования токсичных продуктов горения;
- падения тяжелых предметов;
- обрушения конструкций;

– блокирования эвакуационных путей» [26].

Важными «задачами при прогнозировании последствий пожаров на объекте являются:

- выявить потенциально опасные зоны для возгорания, а также возможные источники пожара;
- разработать возможные варианты возникновения пожара, моделирование дальнейшего хода его развития;
- оценить вероятность возникновения пожара по разным сценариям;
- прогнозирование защитных противопожарных мероприятий и действий по ликвидации огня;
- прогноз, оценка потерь и ущерба вследствие пожара;
- оценка пожарного риска, построение карт» [45].

В общем понимании прогнозы могут быть как качественными, так и количественными.

Количественный прогноз довольно тесно взаимосвязан с возможностью какого-нибудь события, которое случится в будущем, и определенными неотъемлемыми ему количественными характеристиками исходного события (математическое ожидание, дисперсия, численные характеристики функции принадлежности [16].

Эти прогнозы могут быть точечными и интервальными.

Точечный прогноз представляет собой прогноз, итог которого представляется в виде индивидуального значения, конкретной точки в определенный момент времени.

Интервальный прогноз представляет собой прогноз, результат которого отражается в варианте доверительного промежутка с определенной степенью вероятности а также выбранного периода упреждения (дальности прогноза по времени).

На практике сегодня применяются различные варианты прогнозирования, любой из которых в полном объеме описывается

поставленным способом прогнозирования. Разные прогнозы требуют использования разных методов. Например, краткосрочные и среднесрочные прогнозы чаще могут носить точный характер, а долгосрочный прогнозы – интервальный прогноз [38].

В настоящее время создано больше сотни разнообразных методов прогнозирования. Такое широкое множество методов прогнозирования значительно усложняет их массовое практическое использование, освоение каждого из методов достаточно сложно. Обычно эксперт выбирает 3- 5 методов прогнозирования, которые более подходят под конкретную задачу и их использует. Затем результаты этих прогнозов сопоставляются на предмет расхождения или корреляции, и делается вывод о достоверности данных методов прогнозов [55].

В основу классификаций методов прогнозирования могут быть заложены абсолютно различные кодификационные признаки [22].

Все методы прогнозирования можно разделить на два больших класса: фактографические (статистические) и эвристические методы. Как было отмечено выше эвристические методы редко используют при прогнозировании ЧС, связанных с пожарами. Эти методы строятся на использовании мнений экспертов, что добавляет большую субъективность к оценке ситуации. Однако часто эвристические методы используют как дополнение к статистическим, получают хороший аналитический прогноз.

Статистические методы базируются на использовании фактических (статистических) материалов, которые детально характеризуют изменения во времени совокупности или отдельных признаков объекта прогнозирования.

Наиболее часто при прогнозировании ЧС, связанных с пожарами могут быть использованы следующие статистические методы, причем все они основаны на данных мониторинга [47].

Прогнозная экстраполяция – статистический метод прогнозирования, основанный на трендовом прогнозе в будущее. Для этого метода необходимы данные мониторинга за желательно большим периодом или моменты времени.

Эти количественные данные анализируются сначала на общую тенденцию (зависимость), затем подбирается модель трендового прогнозирования: линейная, логарифмическая, но чаще экспоненциальная как более точная. Данный метод – составление системы уравнений, на базе которого уже можно сделать прогноз [22].

Метод «экспоненциального сглаживания основан на применении экстраполирующей функции с использованием экспоненциального убывания весов ее коэффициентов» [18].

Метод «гармонических весов основан на экстраполяции скользящего тренда с взвешиванием точек этой линии при помощи гармонических весов» [18].

Прогнозирование на основе метода сезонных колебаний уровней динамического ряда. При этом «под сезонными колебаниями понимаются такие изменения уровня динамического ряда, которые вызываются влияниями времени года. Проявляются они с различной интенсивностью во всех сферах жизни общества: производстве, обращении и потреблении» [34].

Метод «Дельфи» – это метод, используемый для оценки вероятности и исхода будущих событий [35].

Существуют и методы, объединяющие вышеописанные, которые вернее называть методиками. Например, метод прогнозирования вероятностей возникновения деструктивных событий.

«Прогнозирование пожаров происходит с использованием математических формул (1):

$$\ln Y_n = \ln T_n + \ln S_n, \quad (1)$$

где  $\ln Y_n$  – прогнозируемое количество пожаров;

$\ln$  – логарифм;

$Y_n$  – количество пожаров в конкретном периоде;

$T_n$  – тренд;

$S_n$  – изменения количества пожаров за 1 год;  
 $n$  – время (год)» [39].

«С целью получения более сглаженных достоверных сведений используют сглаживание временного ряда колебаний пожаров по годам методом скользящей средней» [48]. В этом случае средние данные получаются сглаженными, однако при прогнозировании на длительный срок отклонение незначительное.

«Формула скользящего среднего с периодом сглаживания  $n$  – лет имеет вид:

$$T_n = \frac{1}{n} (Lny_1 + Lny_2 + \dots + Lny_n), \quad (2)$$

где  $\tilde{T}_n$  – значение скользящего среднего в  $n$ -м году;  
 $y_n$  – значение величины временного ряда в  $n$ -м году;  
 $Ln$  – логарифм;  
 $n$  – количество лет» [39].

Раимбеков К.Ж. и Кусаинов А.Б. предлагают «использовать при прогнозировании пожаров статистический метод – тренд. После получения данного тренда (скользящего среднего за  $n$  лет) проводится его аппроксимация различными функциями (линейная, логарифмическая, экспоненциальная и полиномы различной степени)» [39].

«Имея прогноз тренда, из (2) получается прогноз количества пожаров по следующим формулам (3):

$$Lny_n = k \times \tilde{T}_n - Lny_{n-1} - Lny_{n-2} - \dots - Lny_{n+1-k}), \quad (3)$$

$$y_n = \exp(Lny_n), k \leq n$$

где  $Lny_n$  – прогнозируемое количество пожаров;  
 $Ln$  – логарифм;

$k$  – коэффициент;

$T_n$  – тренд (прогнозное значение);

$n$  – время (год)» [39].

«Для сравнения прогнозируемых данных с реальными можно подсчитать абсолютные и относительные погрешности прогноза (4):

$$\begin{aligned} a &= \tilde{y}_n - y_n; \\ d &= 100\% \frac{a}{\tilde{y}_n}, \end{aligned} \tag{4}$$

где –  $\tilde{y}_n, y_n$  прогнозные и фактические значения количества пожаров;  
а и d – абсолютные и относительные погрешности» [39].

Подобный прогноз легко получить с использованием функций приближения Microsoft Excel.

Представленные выше методы представляют базу прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их следствий [17].

Наиболее полная классификация методов прогнозирования представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Классификация методов прогнозирования

Самыми распространенными методами прогнозирования чрезвычайных ситуаций является математическое моделирование [21]. Математические модели удобны тем, что самым важным является сбор исходных данных, а далее сам расчет можно даже вести расчет по формулам или автоматизировать его в специальных программах.

Математические модели пожара в помещении условно делятся на три класса (три вида) от относительно простого к более сложному:

- интегральные;
- зонные;
- дифференциальные или полевые модели (рисунок 5) [34].

На рисунке 5 дана их краткая характеристика назначения и использования метода математического моделирования при моделировании пожара.

Каждая из этих моделей имеет принципиальные отличия. Однако, если эти модели использовать комплексно они будут дополнять друг друга.

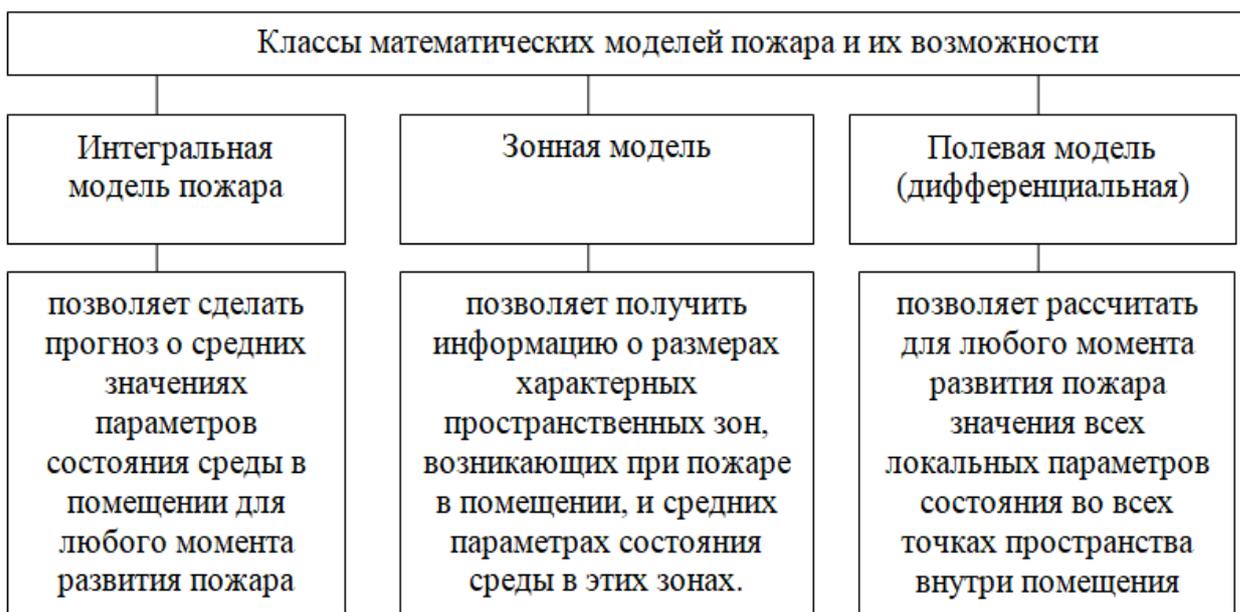


Рисунок 5 – Классы математических моделей пожара и их возможности

Интегральные модели считаются наиболее простыми в использовании, так как рассчитываются на основе системы дифференциальных уравнений. В таком уравнении имеется независимый аргумент – время. Незвестными уравнения часто выступают параметры состояния среды [51].

Зональные модели имеют исходно тот же принцип построения, а, именно, системы дифференциальных уравнений. Однако усложняется ситуация тем, что расчет идет по зонам.

Полевая модель является самой сложной, хоть и имеет в основании тоже системы дифференциальных уравнений. Однако ее производные описывают множество частных показателей и состояний объектов: температуры и их пространственно-временное распределение, изменение газовой среды, изменение насыщенности кислорода, оксида углерода в разные моменты времени, давление.

Важно отметить, что одна и та же ЧС может быть описана различными моделями. Происходит это потому, что каждая модель описывается с различной степенью детализации, точности, делает акцент на различных аспектах ситуации [53].

Однако чаще используют комплексный подход, объединяя различные типы. Структура типовой математической модели чрезвычайной ситуации и схема ее применения для прогнозирования показана на рисунке 6, которая помимо прочего включает оценку последствий первичного и вторичного воздействия.

Общим для всех моделей является необходимость сбора исходной информации, которая чаще всего происходит с помощью мониторинга. От качества и достоверности исходной информации зависит конечный результат всего моделирования.

Для получения более достоверного и реального прогноза рекомендуется вести прогнозирование пожарной ситуации разными моделями, а затем сопоставлять полученные результаты. Корреляция таких результатов при верном прогнозе находится в рамках допустимой погрешности.

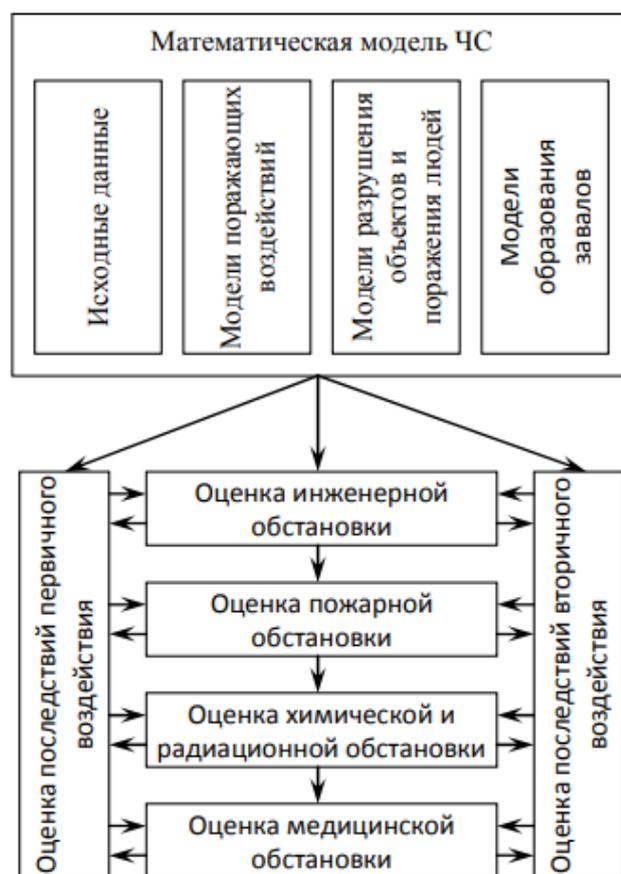


Рисунок 6 – Схема структуры математической модели и ее использование для прогнозирования последствий ЧС

Таким образом, методов моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами достаточно много. На практике сегодня применяются различные варианты прогнозирования, любой из которых в полном объеме описывается поставленным способом прогнозирования. Разные прогнозы и ситуации требуют использования разных методов.

Наиболее распространенные методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами – аналитические, где основой выступают статистические методы прогнозирования и дополняются экспертными заключениями. Самый популярный статистический метод прогнозирования – экстраполяция, особенно с использованием функций Microsoft Excel. В настоящее время создано больше сотни разнообразных методов прогнозирования развития пожарных ситуаций и их последствий.

### 1.3 Сравнение методов моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами

Важным видится сравнение вышерассмотренных методов моделирования. На практике чаще всего приходится иметь дело с моделями, которые носят стохастический характер, не позволяют оценить момент происхождения пожара.

Моделирование пожара – это «разработка математической модели пожара и соответствующей программы расчета, их усовершенствование и расчеты» [32].

Пример визуализации математического моделирования пожара представлено на рисунке 7.

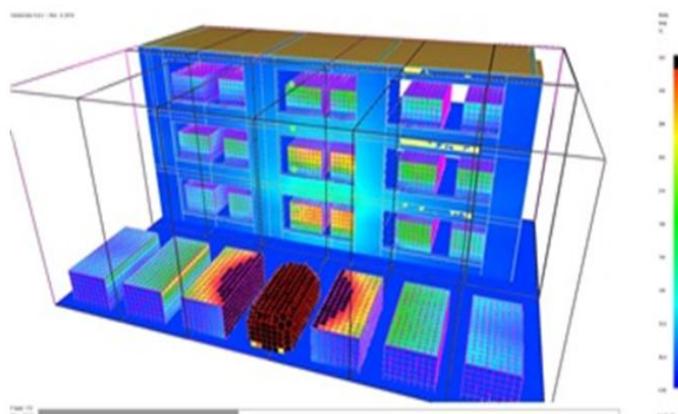


Рисунок 7 – Математическое моделирование распространения пожара

Расчеты делаются в программных приложениях. В частности, там моделируются все сценарии развития пожара в здании и по помещениям.

Моделирование пожаров в зданиях базируется на представлении пожара как физического явления теплопереноса при соответствующих критериях его развития [16]. Условия формирования пожара

характеризуются вариантом пожарной нагрузки и конструктивно-планировочными спецификами сооружения (помещения).

Александров М.В. указывает, что «различают модели детерминированные, вероятные, смешанные. Наиболее эффективным инструментом прогнозирования и изучения пожаров являются детерминированные математические модели.

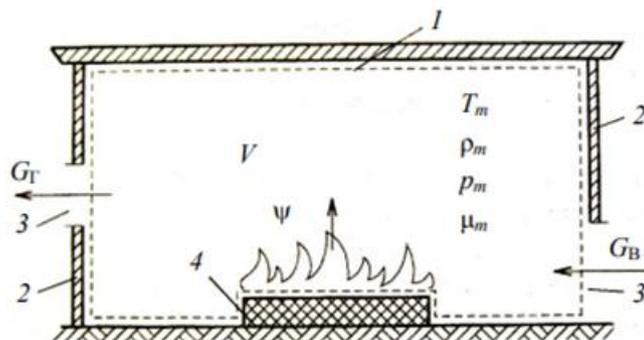
Детерминированные математические модели пожаров в зданиях можно разьединить на три группы:

- интегральные (модели первого поколения);
- зональные (модели второго поколения);
- полевые (модели третьего поколения)» [1].

Интегральные математические модели. Суть интегрального метода содержится в том, что состояние газовой сферы расценивают по термодинамическим параметрам, усредненным по всему размеру помещения.

Александров М.В. конкретизирует «область применения интегрального метода, в которой предсказанные моделью параметры пожара можно интерпретировать как реальные, практически ограничивается объемными пожарами, когда из-за интенсивного перемешивания газовой среды локальные значения параметров в любой точке близки к среднеобъемным. За пределами возможностей интегрального метода оказывается моделирование пожаров, не достигших стадии объемного горения, и особенно моделирование процессов, определяющих пожарную опасность при локальном пожаре. Наконец, в ряде случаев даже при объемном пожаре распределением локальных значений параметров пренебрегать нельзя» [1].

В такой модели подход к моделированию основывается на том, что объект исследования есть открытая термодинамическая система, важным и определяющим является газовая среда. Граница между термодинамической системой и внешней средой (контрольная поверхность) показана условно на рисунке 8 пунктирной линией [3].



1-контрольная поверхность (пунктирная линия); 2 – ограждения; 3 - проемы; 4-горящий материал;  $G_{г}$  – расход уходящих газов;  $G_{в}$  – расчет поступающего воздуха;  $\psi$  – скорость выгорания;  $T_m$  – температура газовой среды;  $\rho_m$  – плотность газовой среды;  $p_m$  – давление среды;  $\mu_m$  – оптическая плотность дыма

Рисунок 8 - Схема термодинамической системы пожара в помещении

Сам процесс пожара в таком подходе описывается достаточно просто: «через одни проемы выталкиваются из помещения нагретые газы, а через другие – поступает холодный воздух» [16].

Структура интегральной модели представлена на рисунке 9.

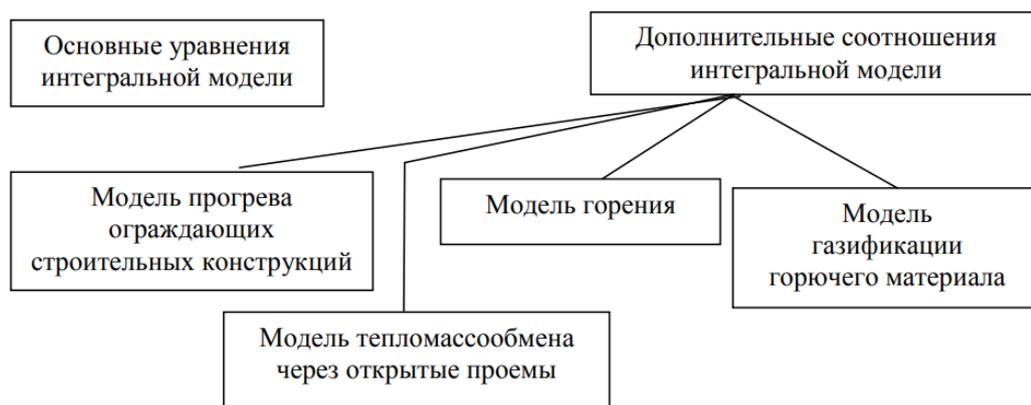


Рисунок 9 – Структура интегральной модели

В интегральных методах расчета и моделирования существуют средние объемные значения, например, средние температуры ограждающих конструкций и средние характеристики теплогазообмена через проемы [12].

«Развитие пожара можно описать достаточно детально с помощью зонных (зональных) моделей, основанных на предположении о формировании в помещении двух слоев: верхнего слоя продуктов горения (задымленная зона) и нижнего слоя невозмущенного воздуха (свободная зона)» [1].

Итак, при описании зональной модели используется положение о формировании в помещении двух слоев:

- верхний слой продуктов сгорания (дымная зона);
- нижний слой невозмущенного воздуха (свободная зона) [17].

Таким образом, «состояние газовой среды в зональных моделях оценивается через осредненные термодинамические параметры не одной, а нескольких зон, причем межзонные границы обычно считаются подвижными. Однако при создании зонных моделей необходимо делать большое количество упрощений и допущений, основанных на априорных предположениях о структуре потока. Такая методика не применима в тех случаях, когда отсутствует полученная из пожарных экспериментов информация об этой структуре и, следовательно, нет основы для зонного моделирования. Кроме того, часто требуется более подробная информация о пожаре, чем осредненные по слою (зоне) значения параметров» [1].

Задача модели оценить состояние газа в каждой зоне такой термодинамической модели.

Важное условие при моделировании зональной модели заключается в том, что границы между зонами считаются подвижными.

Структура зонной модели представлена на рисунке 10.

Пузач С.В. указывает, что «размеры и количество зон выбираются таким образом, чтобы в пределах каждой из них неоднородности температурных и других полей параметров газовой среды были возможно минимальными, или из каких-то других предположений, определяемых задачами исследований и расположением горючего материала.

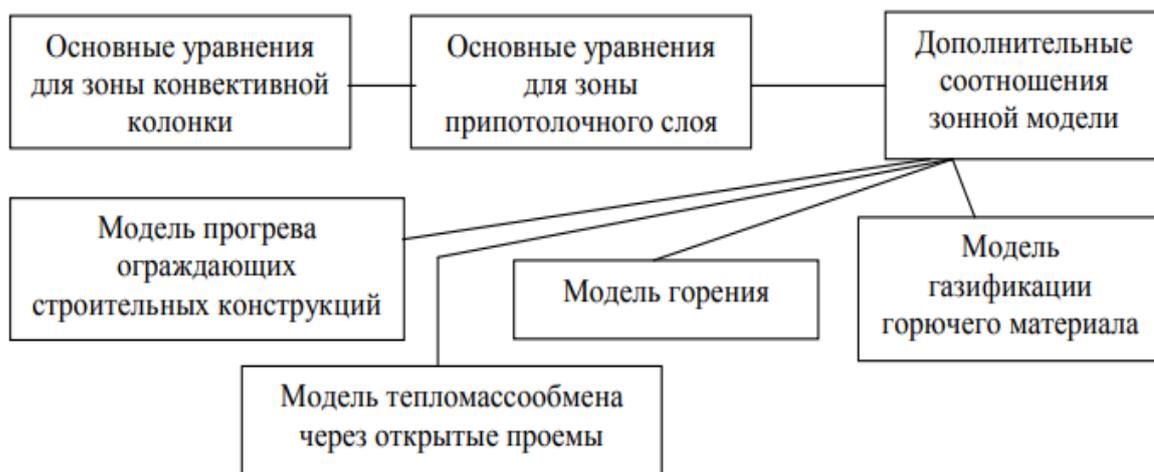
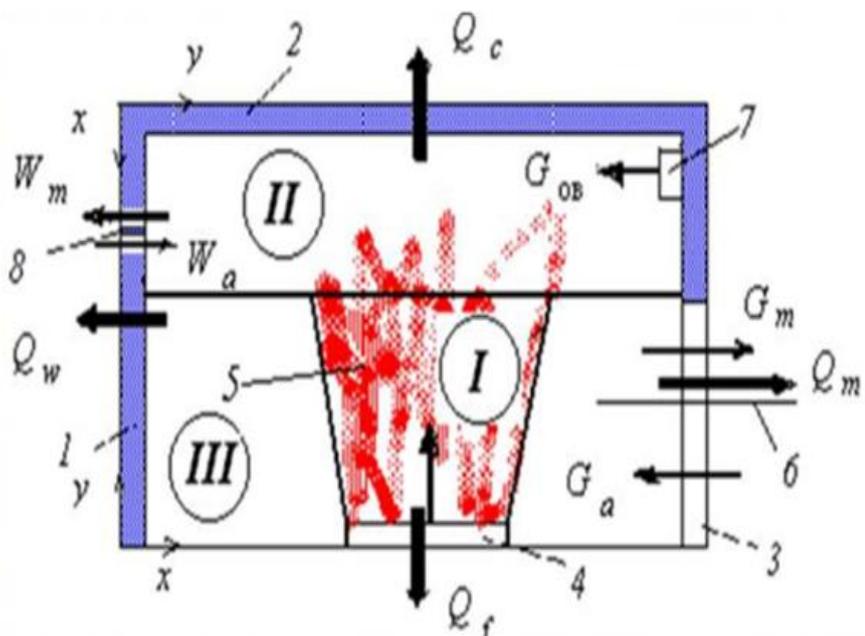


Рисунок 10 – Структура зонной модели [38]

В пределах каждой зоны можно более точно задать теплофизические свойства газовой среды и использовать формулы для расчёта суммарных тепловых потоков, отводимых в ограждающие конструкции, граничащие с данной зоной. Как правило, в этих моделях используются закономерности теплового и гидродинамического взаимодействия струйного течения со строительными конструкциями с условным разбиением на характерные области (критическая точка, область ускоренного течения, переходная область и область автомодельного течения)» [38].

Схема зонального теплообмена с подробными элементами показана ниже на рисунке 11.

Такой метод не может быть применен в полной мере в тех случаях, когда отсутствуют основы для зонального моделирования.



1 – стены; 2 – перекрытие; 3 – открытый проем; 4 – горючий материал; 5 – очаг горения; 6 – нейтральная плоскость; 7 – система пожаротушения; 8 – механическая приточно-вытяжная вентиляция

Рисунок 11 – Схема зонального теплообмена [38]

Полевые модели, обозначаемые в зарубежной литературе аббревиатурой CFD (computational fluid dynamics) [56], являются более мощным и универсальным инструментом, чем зональные; они основываются на совершенно ином принципе [57].

«Такие модели, по сравнению с интегральными и зональными, требуют значительно больших вычислительных ресурсов. Однако в последние двадцать лет, в связи с быстрым развитием компьютерной техники, полевые модели из чисто академической концепции превратились в важный практический инструмент. В настоящее время создан целый ряд компьютерных программ, реализующих полевой метод моделирования, которые достаточно точно описывают поля скоростей, температур и концентраций на начальной стадии пожара» [1].

Прогноз динамики развития событий определяется на основе математических вычислений. Для составления таких расчетов используются различные компьютерные программы.

Сравнение детерминированных моделей пожара приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение детерминированных моделей пожара

Вид модели	Назначение	Преимущества	Недостатки
Интегральная модель	Для зданий и помещений малого объема и относительно простой формы.	Быстрый и низкотрудоемкий уровень инженерных расчетов динамики опасных факторов пожара.	Не решена область корректного применения интегральной модели. Необходима экспериментальная информация.
Зональные модели	Для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения.	Быстрота расчетов динамики опасных факторов пожара. Используется условное разделение на зоны.	Необходима экспериментальная информация. В случае сложной термогазо-динамической картины пожара основные допущения далеки от реальности
Полевой метод	Для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград. Для помещений, в которых объекты различаются по размерам.	Позволяет оценивать эффективность применения различных систем защиты от дыма	Сложные предварительные расчеты. Долгий трудоемкий процесс. Необходима загрузка многих исходных данных.

Пузач С.В. указывает «основное достоинство вышеуказанных моделей заключается в том, что искомыми параметрами в любой момент времени являются поля температур, скоростей, давлений, концентраций компонентов газовой среды и частиц дыма по всему объёму помещения. Полевые модели наиболее сложны в математическом описании, так как они состоят из системы трехмерных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных законов сохранения массы, импульса и энергии. Для замыкания системы уравнений используются дополнительные соотношения

для расчёта турбулентного трения, тепломассообмена и лучистого теплообмена» [38].

Каждая из рассмотренных моделей пожара имеет свои достоинства и недостатки.

Помимо детерминированных есть и вероятностные математические модели [43].

«Вероятностная модель - это модель, которая, в отличие от детерминированной модели, содержит случайные элементы» [1].

С помощью вероятностного моделирования и программы вероятностного анализа безопасности можно рассчитать вероятность возникновения пожарного риска с учетом человеческого фактора, определить приоритетные направления снижения величины пожарного риска.

Выделяют также и смешанные (детерминистско-вероятностные) математические модели. Такая модель прогноза пожаров учитывает сценарий совместного возникновения техногенной нагрузки и грозовой деятельности, метеорологические условия [12].

Имитационное моделирование представляет интерес для исследования сложных систем в условиях априорной неопределенности. В модели может быть задано вероятное течение пожара, вероятные законы распределения и распространения тепловых потоков, моделируется процесс строительных работ.

При прогнозировании последствий опасных явлений, как правило, используют детерминированные или вероятностные методы.

Система прогнозирования пожарного риска представляет собой комплект математических моделей, способных прогнозировать три ключевых параметра: время возникновения, место происхождения пожара и его класс.

Вывод по разделу 1.

Обеспечение пожарной безопасности является важной и особо значимой функцией современного государства.

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций – это опережающее отражение вероятности возникновения и развития чрезвычайной ситуации на основе анализа причин ее возникновения, ее источника в прошлом и настоящем.

В настоящее время создано больше сотни разнообразных методов прогнозирования. Одним из способов прогнозирования является моделирование.

Моделирование чрезвычайных ситуаций - это имитация ситуации и обстановки, сложившейся на определённой территории в процессе возможного наступления ЧС. Наиболее распространенные методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами – аналитические, где основой выступают статистические методы прогнозирования и дополняются экспертными заключениями.

Одна и та же чрезвычайная ситуация может быть описана различными моделями.

## **2 Выбор метода моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты**

### **2.1 Анализ деятельности 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре**

Защиту территории и населения Ханты – Мансийского автономного округа – Югры в противопожарном отношении на 01.01.2023 год осуществляет группировка сил и средств подразделений пожарной охраны в количестве 10 314 человек и 1084 единицы основной и специальной пожарной техники [8].

«В целях реагирования на возможные ЧС, происшествия и пожары на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры создан 1 территориальный и 10 местных пожарно-спасательных гарнизонов, в состав которых входят следующие подразделения:

- федеральная противопожарная служба включает в себя 15 отрядов ФПС (7 территориальных, 8 договорных);
- в состав территориальных подразделений ФПС входят 31 пожарно-спасательная часть и 10 отдельных постов, «общей численностью 2729 человек. На вооружении подразделений имеется 250 единицы основной и специальной пожарной техники. Подразделения ФПС осуществляют защиту 23 населенных пунктов, численность которых составляет более 83 % от общей численности субъекта» [8];
- в состав договорных подразделений ФПС входят 26 пожарно-спасательных частей и 7 отдельных постов, общей численностью 2020 человек. На вооружении подразделений состоит 202 единицы основной и специальной пожарной техники. Договорные

- подразделения ФПС осуществляют защиту 4 населенных пункта, 48 объектов энергетического комплекса» [8];
- противопожарная служба включает в себя 9 филиалов по муниципальным районам, в состав которых входит 130 пожарных подразделений (42 пожарных частей, 88 пожарных команд), общей численностью 2495 человек. На вооружении подразделений состоит 317 единиц основной и специальной пожарной техники;
  - частная пожарная охрана включает в себя 10 организаций, в состав которых входит 86 пожарных подразделений, «общей численностью 2279 человек. На вооружении подразделений состоит 257 единиц пожарной техники. Подразделения частной пожарной охраны осуществляют защиту» [8] 37 организаций ТЭК (ООО Газпромнефть-Хантос, ООО «РН-Юганскнефтегаз», АО «РН-Няганьнефтегаз», АО «Самотлорнефтегаз», ПАО «Варьеганнефтегаз», АО «Славнефть-Магионнефтегаз», АО «Нижневартовская ГРЭС», ПАО «ОГК-2» - Сургутская ГРЭС-1, Няганьская ГРЭС ОАО Фортум и другие);
  - ведомственная пожарная охрана включает в себя 28 пожарных подразделений, «общей численностью 333 человека. На вооружении состоит 54 единицы пожарной техники» [8]. Подразделения осуществляют защиту объектов гражданской авиации, РЖД, УФСИН, ТЭК;
  - добровольная пожарная охрана. «На территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры зарегистрировано 837 общественных объединений и 7667 добровольных пожарных» [8], в том числе 8 общественных организаций численностью 750 добровольных пожарных зарегистрировано в органах Минюст России. На период пожароопасного сезона в 10 труднодоступных населенных пунктах организуется круглосуточное дежурство

добровольных пожарных команд из числа казачьих обществ, общей численностью 70 человек, 11 единиц мобильных средств пожаротушения [9].

В целях оперативного реагирования на возможные пожары, происшествия и чрезвычайные ситуации на территории территориального пожарно-спасательного гарнизона Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в ежесуточном режиме функционирует группировка сил и средств постоянной готовности пожарно-спасательных подразделений и аварийно-спасательных формирований Ханты-Мансийского автономного округа - Югры, в количестве 1650 человек личного состава и 520 единицы техники, в том числе от МЧС России – 580 человек и 170 единиц техники [9].

Такая многочисленная и сложная система противопожарной службы по Ханты - Мансийскому автономному округу – Югре необходима, о чем свидетельствует статистика. «За 2022 год в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре зарегистрировано 2339 пожаров. На пожарах погибло 53 человека, 91 человек получил травмы, причинен прямой материальный ущерб на сумму 203 180 т.р.» [2].

«Подразделениями государственной противопожарной службы на месте пожара спасено 178 человек и материальных ценностей на сумму 4 924 195 т.р. Эвакуировано с места пожара 4 189 человек. Основное количество пожаров – 424 пожара (40 % от общего количества пожаров в жилом секторе), а также погибших (26 человек или 66,7% от общего количества погибших в данной категории) и травмированных людей (36 человек или 73,4% от общего количества соответственно) зарегистрированы в жилых домах (многоквартирных и многоквартирных)» [2].

Кадры Главного управления МЧС России по ХМАО-Югре - важнейшее достояние, без сохранения и приумножения которого невозможно качественно выполнять задачи пожарной охраны.

Подготовка кадров - решающий фактор повышения эффективности управления системой МЧС России с учетом особенностей функционирования конкретных подразделений и служб, федеральной специфики.

Работа сотрудников подразделений Главного управления МЧС России по ХМАО-Югре направлена на выполнение основополагающих требований Федеральных законов РФ, Указов Президента Российской Федерации и других нормативных правовых документов.

Начальником регулярно проводятся мероприятия по комплектованию подразделений ГПС автономного округа личным составом, соответствующим установленным квалификационным требованиям. Проводится работа по снижению текучести кадров, закреплению их на службе и организации профессиональной подготовки для достижения высоких результатов в служебной деятельности.

Занимаемые сотрудниками (лицами рядового и начальствующего состава) должности составляют 64%, а должности, замещаемые работниками без специальных или воинских званий - 36% [2].

При анализе уровня образования личного состава пожарной охраны округа показывает, что, несмотря на меры по укомплектованию штатов личным составом с квалификацией инженера или техника пожарной безопасности, в настоящее время средний процент сотрудников и работников среднего звена не превышает 11% от общей численности личного состава.

Главными причинами этого является то, что основным источником комплектования подразделения пожарной охраны являются гражданские организации. Сотрудники, приходящие на работу из гражданских организаций, обычно не имеют специального образования, обучение проходит до начала работы.

Подразделения ФПС МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре представлены схематично на рисунке 12.

Сокращенное наименование анализируемого объекта: 7 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по ХМАО-Югре. Начальник отряда -

Люкшин Вадим Викторович. Адрес: г. Ханты-Мансийск, ул. Студенческая, 8а. [9].

Данная структура находится в подчинении Главного управления МЧС России по ХМАО-Югре.



Рисунок 12 - Подразделения ФПС МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре

7 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по ХМАО-Югре включает в себя следующие подразделения:

- пожарно-спасательная часть № 132. Адрес: г. Ханты-Мансийск, ул. Студенческая, 8а;
- отдельный пост пожарно-спасательной части № 132. Адрес: г. Ханты-Мансийск, ул. Тобольский тракт, 3а;
- пожарно-спасательная часть № 75. Адрес: г. Ханты-Мансийск, ул. Гагарина, 153а.

Территориальные отделы ГПН направлены главам муниципальных образований проекты «Положений о создании ДПД». Практически во всех муниципальных образованиях приняты «Положения об обеспечении первичных мер пожарной безопасности». Одним из функций руководителей предприятий является создание добровольных дружин и оказание содействия их деятельности.

В подразделениях Главного управления уровень обеспеченности по отношению к нормативному составляет:

- укомплектованность пожарно-техническим вооружением составляет 75%;
- боевым снаряжением пожарных - 85%.

На 80% обеспеченность таким имуществом как:

- средствами передачи данных - 75 %
- аппарат защиты органов дыхания - 90%;
- формой одежды - 75 % [9].

Сотрудничество государственной противопожарной службы с пожарной службой субъекта, подразделениями ведомственной и частной охраны. Они входят в состав Ханты – Мансийского регионального гарнизона пожарной охраны, ведется ежедневный учет их сил и средств.

Привлечение подразделений субъектовой, ведомственной и частной пожарной охраны к тушению пожаров осуществляется согласно утвержденных начальником Главного управления МЧС России по Ханты – Мансийскому автономному округу – Югре расписаний выездов, планов привлечения сил и средств подразделений местных гарнизонов пожарной охраны и планов прикрытия автодорог.

Таким образом, 7 пожарно-спасательный отряд ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре создан и функционирует в целях реагирования на возможные ЧС,

происшествия и пожары на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

## **2.2 Анализ существующих технических решений в области обеспечения пожарной безопасности 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС**

Анализ необходимо начать с описания особенностей функционирования и эксплуатации здания, выявления наиболее вероятных и значимых причин чрезвычайных ситуаций, в частности пожаров.

Для анализа и моделирования выбрано здание по адресу г. Ханты-Мансийск, ул. Гагарина, 153а. «Пожарно-спасательная часть № 75» - подразделение 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС.

Схема расположения объекта на местности на рисунке 13.

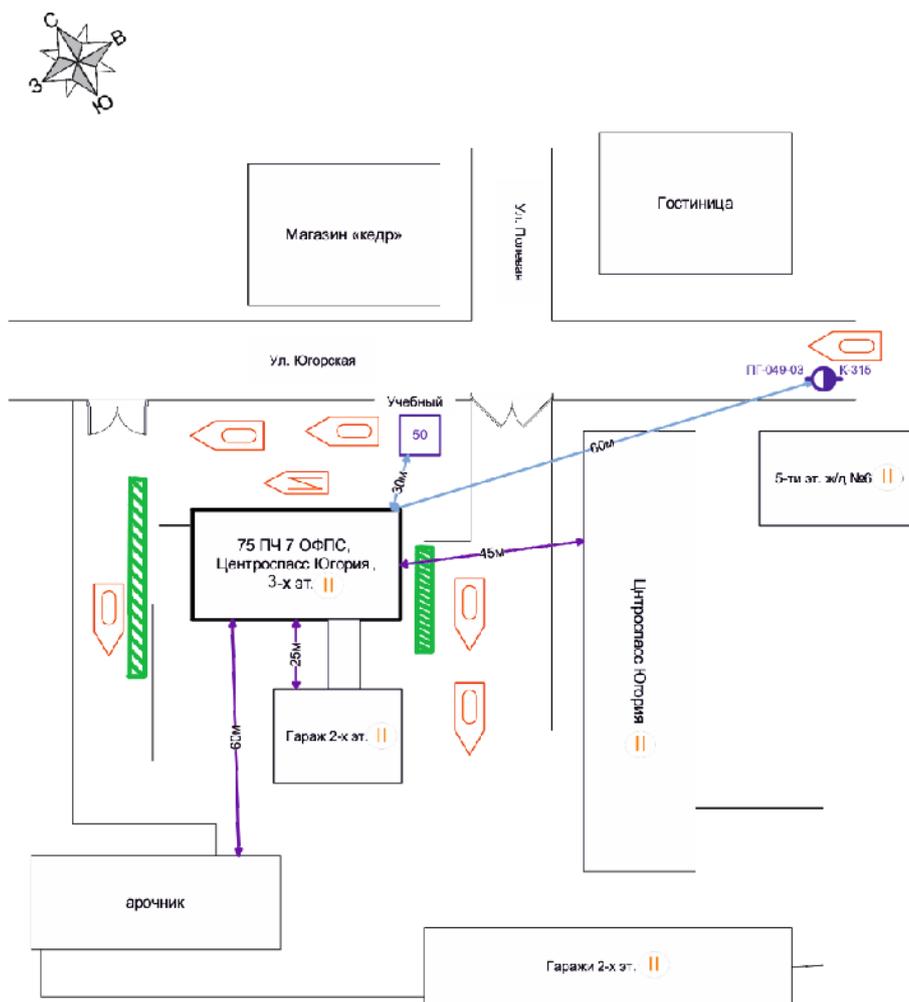


Рисунок 13 – Схема расположения объекта на местности

Кадастровая площадь объекта 86:12:0102003:123 составляет 426,2 м<sup>2</sup>.

Здание - 1994 г. постройки, трехэтажное, нежилое, перегородки железобетонные, перекрытие железобетонное, крыша шиферная.

Здание имеет три этажа, общая высота 16,5 м. Имеется 3 выхода из здания.

Поэтажное отключение электроэнергии производится на каждом этаже в электросчитах. Общее отключение производится на первом этаже в гараже боевых машин, в электросчитовой.

Используется система оповещения СОУЭ 2 типа.

С торца здания пристрой на 4 гаража с автоматическими воротами.

На втором этаже здания находятся: 12 кабинетов, серверная комната системного администратора, кухня, склад, спальня, туалет.

На третьем этаже здания находятся: 17 кабинетов, архив, туалет.

Системы видеонаблюдения отсутствуют.

Эвакуационные пути:

- первый этаж: один основной выход, два запасных выхода;
- второй этаж: две лестничные клетки, соединяющие все этажи и один запасной выход;
- третий этаж: две лестничные клетки, соединяющие все этажи и один запасной выход.

Отопление центральное водяное. В здании используется силовое 380 В и осветительное 220 В напряжение.

Здание по классу функциональной пожарной опасности относится к Ф4.4 – «здания пожарных депо. Работников не так много, массового скопления людей не наблюдается. Работа происходит круглосуточно, посменно. Присутствуют штатные взрослые работники с нормальным физическим состоянием».

Кроме того смежное здание Ф4.3. – административное здание органов управления, офисы. Коридорная система здания с кабинетами по обе стороны, находящиеся внутри осведомлены о путях эвакуации. Несколько небольших кабинетов, посетителей мало.

Численность людей в здании: днем – 20-90 человек; ночью – 1 сторож; 8 - дежурная бригада (до 20 человек).

Лестничные клетки железобетонные, задымляемые.

Системы видеонаблюдения отсутствуют.

Схема эвакуации имеется на каждом этаже, в количестве и на уровне соответствующем требованиям норм.

Автоматические установки пожаротушения отсутствуют. Первичные средства пожаротушения имеются согласно нормативам.

Основными системами, предотвращающими происхождение пожаров на выбранном объекте, являются: противодымная вытяжная вентиляция,

автоматическая пожарная сигнализация для обнаружения места загорания или задымления и сообщения о месте его возникновения на приемно-контрольный прибор (АПС), СОУЭ 2 типа.

В СОУЭ 2 типа совмещено звуковое оповещение и управление эвакуацией при помощи светового табло с надписью «выход». Оно установлено в коридорах, над дверными проемами у лестничных клеток, при входе на территорию предприятия. Табло оснащено статичным световым индикатором, что делает его заметным даже при сильном задымлении.

Здание оборудовано охранно-пожарной сигнализацией, шлейфы от извещателей выведены на ППК (марка «ГРАНИТ-16»), который находится на вахте. На этажах здания встроен оповещатель типа ИПР. Основное назначение ИПР – это формирование сигнала «Пожар» вручную очевидцами, обнаружившими признаки пожара в помещениях зданий, на территории объекта предприятия, где они находятся.

Выбор пожарных извещателей осуществлен в соответствии с особенностями защищаемого помещения, характером пожароопасных материалов, техническими данными извещателей на период сдачи здания в эксплуатацию.

Пожары в таких помещениях возникают, как правило, в результате небрежного, халатного обращения с огнем (курение, применение открытых источников огня), из-за неисправности, а также нарушения эксплуатации электроприборов, систем электрооборудования.

Чаще всего возгорание в таких помещениях возникает из-за того, что работники пренебрегают самыми простыми правилами пожарной безопасности. Однако порой причиной возгорания становится неисправная электропроводка.

Зафиксированных пожаров помещений 7 пожарно-спасательного отряда (далее – ПСО) ФПС ГПС на протяжении 10 лет не выявлено. Однако имелись редкие данные в ежедневных протоколах об очагах возгорания, которые были быстро ликвидированы.

Обычно моменты потенциальной пожарной опасности стараются не фиксировать в отчетной документации, поэтому для выявления основных потенциальных причин пожара и частоты возникновения потенциально-опасных ситуаций в 7 ПСО ФПС ГПС было решено провести экспресс-опрос.

Опрашивались анонимно работники учреждения в количестве 20 человек. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты опроса работников

Вопрос	Ответы						
	нет		да		частота (в среднем)		
1. Возникали ли в течение года потенциально-опасные ситуации пожара (возгорание, задымление, появление запаха дыма замыкание, другие). Если да, то как часто?	2		18		3,2 раза в год		
2. Оцените по 5-бальной шкале наиболее возможную потенциальную причину возникновения пожара в здании. Где «5» - максимально возможное значение, а «0» - минимальное. (количество выборов)	0	1	2	3	4	5	Средний балл
-курение	12	6	2	0	0	0	0,5
-замыкание проводки (устаревшая электропроводка)	18	2	0	0	0	0	0,1
-электрические приборы с дефектами, не соблюдение правил эксплуатации	17	2	1	0	0	0	0,2
-несоблюдение правил пожарной безопасности при работе с электрогазосварочным оборудованием	19	1	0	0	0	0	0,05

Опрос показал, что вероятность возникновения пожара на объекте имеется, а самые вероятные причины - человеческий фактор. Результаты опроса показали, что:

- частота возникновения на объекте потенциально-опасных ситуаций пожара - 3,2 раза в год;
- в качестве наиболее вероятной и потенциально-опасной причины возникновения пожара в здании оказалось курение.

Итак, главными причинами возгораний и пожаров 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре являются:

- курение вне специально отведенных мест и другие варианты небрежного использования источников огня;
- устаревшая электропроводка, приводящая к коротким замыканиям и перенапряжениям в электросети;
- несоблюдение правил по эксплуатации и обслуживанию электрооборудования;
- несоблюдение правил пожарной безопасности при работе с электрогазосварочным оборудованием.

Для демонстрации статистического метода прогнозирования – экстраполяции, рассмотренного в первой главе настоящего исследования проведем прогнозирование количества пожаров на основе прогнозирования вероятностей возникновения деструктивных событий ему предшествующих, самих пожаров не было за 15 лет.

В таблице 3 представлены результаты исследования по количеству возникновения потенциально-опасных ситуаций пожара в изучаемом здании в течение 15 лет.

Источники данных протоколы и опрос приведены в таблице 3, а аналитическое выравнивание показателей ряда динамики выполнено методом наименьших квадратов.

Подобный прогноз легко получить с использованием функций трендового прогнозирования в Microsoft Excel без промежуточных расчетов.

Таблица 3 - Исходные и промежуточные данные прогноза

Год	Количество потенциально-опасных ситуаций пожара	t	t <sup>2</sup>	y <sub>t</sub>
2008	1	1	1	1
2009	1	2	4	2
2010	1	3	9	3
2011	2	4	16	8
2012	3	5	25	15
2013	4	6	36	24
2014	4	7	49	28
2015	3	8	64	24

2016	5	9	81	45
2017	3	10	100	30
2018	2	11	121	22
2019	2	12	144	24
2020	1	13	169	13
2021	2	14	196	28
2022	3,2	15	225	48
ИТОГО	37,2	120	1240	315

Аналитическое выравнивание показателей ряда динамики произведем методом наименьших квадратов (5):

$$y = a + vt, \quad (5)$$

где  $t$  - порядковый номер года;

$a, v$  – параметры уравнения.

Решим систему уравнений.

$$\begin{cases} 15a + 120v = 37,2 \\ 120a + 1240v = 315 \\ a = (37,2 - 120v) / 15 \\ 120(37,2 - 120v) / 15 + 1240v = 315 \end{cases}$$

$$297,6 - 960v + 1240v = 315$$

$$280v = 315 - 297,6$$

$$v = 17,4 / 280$$

$$v = 0,0621$$

$$a = 1,9829$$

Таким образом, уравнение трендовой модели прогнозирования пожаров на исследуемом объекте представлено в виде функции выравнивания:  $y = 1,9829 + 0,0621 \times t$ .

Экстраполяция возникновения потенциально-опасных ситуаций пожара в ФПС ГПС с использованием функций трендового прогнозирования в Microsoft Excel без промежуточных расчетов представлена на рисунке 14.



Рисунок 14 – Экстраполяция возникновения потенциально-опасных ситуаций пожара в ФПС ГПС 2023-2025 гг. [рассчитано автором]

Перспективная экстраполяция:

- 2023 год:  $1,9829 + 0,0621 \times 16 = 2,97$
- 2024 год:  $1,9829 + 0,0621 \times 17 = 3,03$
- 2025 год:  $1,9829 + 0,0621 \times 18 = 3,1$

Модель прогнозирования возникновения потенциально-опасных ситуаций пожара в ФПС ГПС 2023-2025 годах, свидетельствует о росте таковых в будущем, а также подтверждает предыдущие расчеты.

Таким образом, методом экстраполяции выявлено, что ежегодно возникновения потенциально-опасных ситуаций пожара в ФПС ГПС согласно прогнозированию будет увеличиваться, что увеличивает вероятность

возникновение пожара. Поэтому необходимо совершенствовать систему противопожарной защиты.

Работники 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре, в свою очередь, обязаны:

- проходить инструктаж по правилам пожарной безопасности;
- проводить плановый осмотр оборудования и энергосетей;
- знать особенности использования средств пожаротушения.

В ходе анализа выявлено, что 7 пожарно-спасательном отряде ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре анализируемого здания требуется:

- установка противопожарного режима;
- определение мест для курения и их оборудование;
- установить специальные места для хранения горючих материалов, а также график и порядок их уборки;
- обесточивать помещение по окончании проведения работ.

В любом случае, основной причиной пожаров в 7 пожарно-спасательном отряде ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре является человеческий фактор, проявляемый в той или иной мере.

В настоящее время наблюдаются следующие особенности, касающиеся предупреждения пожара в анализируемом здании:

- оборудование, применяемое для оповещения о пожаре и тушения пожара, в основном технологически устарели;
- технические системы, способствующие предупреждению пожаров, не проходят своевременное обслуживание;
- персонал недостаточно проинформирован о действиях при возникновении возгораний или при возникновении неисправностей оборудования именно в данном помещении;

- персонал 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС не ознакомлен с функциональными особенностями применяемого на сервисе противопожарного оборудования;
- диспетчерский центр не оснащен современными устройствами, обеспечивающими быстрое реагирование служб при возникновении аварийных ситуаций.

Для выбора и совершенствования существующих технических решений в области обеспечения пожарной безопасности 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС необходимо изучить имеющиеся на рынке варианты.

Для эффективной и наиболее качественной службы представленных инженерных систем был проведен анализ нескольких инженерных технических решений, в результате которого были обнаружены недостатки и преимущества каждого образца. Проанализировав каждый вариант, намечены позитивные и отрицательные стороны введения данного технологического решения.

Существуют разновидности пожарных и охранопожарных систем, которые разделяют на следующие типы:

- пожарные извещатели (датчики), которые реагируют на изменение физических параметров (например, температура) при возникновении в помещении возгорания;
- приемно-контрольная станция, которая принимает сигналы от системы датчиков и передает их на основной пункт пожарной связи;
- источник питания;
- линии связи;
- световые или звуковые сигнальные устройства [41].

«Различают следующие типы пожарных извещателей:

- дымовые пожарные - средства, основанные на обнаружении;
- аэрозольных продуктов термического разложения (реагируют на дым);

- газовые - средства, основанные на обнаружении продуктов;
- газообразного состояния термического разложения (реагируют на газ);
- тепловые - средства, основанные на обнаружении тепла от источника пожара (реагируют на температуру);
- пожарные - средства, основанные на обнаружении оптического излучения пламени источника пожара (реагируют на пламя)» [41].

Максимальное распространение в различных автоматических средствах пожарной сигнализации получили дымные и тепловые пожарные извещатели. Их популярность объясняется простотой конструктивных решений данного типа извещателей и особенностями процесса горения большей части пожароопасных веществ.

В анализе технических решений рассмотрены следующие:

- извещатели;
- автоматическая пожарная сигнализация (АПС);
- система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)

Для определения наилучших технических решений для 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС проведен анализ основного противопожарного оборудования. На сайте российской базы патентов произведен выбор патентов по выбранному оборудованию [35].

Данные были привнесены в таблицу 4.

Таблица 4 - Анализ технических решений

Наименование	Преимущества технических решений	Недостатки известных технических решений
--------------	----------------------------------	--

Извещатели	Дымовые извещатели ИП 212-ЗСУ. Применяется в системах пожарной сигнализации и предназначены для обнаружения возгораний в закрытых помещениях различных зданий. Ручные извещатели ИПР-ЗСУ. Технические решения обладают преимуществом быстрого срабатывания и быстрого обнаружения наличия продуктов сгорания. звуковым оповещением «Рокот-2»	Чувствительность ИП 212-ЗСУ извещателя 0,05-0,2 дБ/м Принцип обнаружения ИПР-ЗСУ многоточечный, степень защиты (IP): IP41 тип соединения устройств: проводное. Недостатком является сложность конструкции и высокая стоимость конструкции и ее обслуживания.
Автоматическая пожарная сигнализация (АПС)	«Высокая эффективность пожаротушения и повышение безопасности процесса тушения пожаров при меньшем использовании огнетушащего	«Ряд параметров технических решений требуют ручного управления, что усложняет обслуживание данных устройств» [35]
Система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)	«Технические решения обладают повышенной надежностью и дополнительным источником бесперебойной работы, благодаря которому исключаются сбои в работе устройства» [35] СОУЭ 2: такие системы оповещения совмещают звуковое извещение со световыми табло «Выход» у выходов в лестничные клетки. СОУЭ 3 типа: речевое оповещение с передачей в автоматическом режиме специальных, заранее подготовленных текстов о необходимости эвакуации. Техническое решение: звуковой	Высокая информативность речевого оповещения, а также возможность иметь различные варианты текстов в зависимости от ситуации на защищаемом объекте. «Предназначен для трансляции речевой информации и предварительно записанных речевых сообщений при возникновении пожара или других экстремальных ситуаций» [35].

На основе данного анализа был выявлен ряд факторов, которым необходимо уделить особое внимание, и выбраны наиболее эффективные технические решения, применение которых в организации существенно улучшит пожарную безопасность.

По нормам, руководствуясь СПЗ.13130-2009, разделом 7 в данном здании необходим тип СОУЭ второго типа, так как тип здания «учреждения органов управления, научные организации, офисы до 6 этажей» [48].

Однако часть здания это «производственные и складские помещения, стоянки для автомобилей, архивы» с этажностью от 2 до 6. Для таких

объектов СПЗ.13130-2009 требуют установки СОУЭ третьего типа, так как в гараже для пожарных автомобилей имеются запасы ГСМ (таблица 5).

Таблица 5 – Выбор типа оповещения по СПЗ.13130-2009 (фрагмент)

Здание	Значение нормативного показателя	Наибольшее число этажей	Тип СОУЭ				
			1	2	3	4	5
«Учреждения органов управления, проектные организации, научные организации, конторы, офисы» СПЗ.13130-2009» [48]		До 6	-	x	-	-	-
		Более 6	-	-	x	-	-
«Производственные и складские здания, стоянки для автомобилей, архивы» [48]	А, Б, В, Г, Д А, Б В Г, Д	1	x	-	-	-	-
		2-6	-	-	x	-	-
		2-8	-	x	-	-	-
		2-10	-	x	-	-	-

Оптимальным вариантом может стать установка СОУЭ 3 типа. В здании уже стоит СОУЭ 2 типа и ей уже более 15 лет (с 2002 года).

Основной вывод, касающийся предупреждения пожара в анализируемом здании: оборудование, применяемое для оповещения и тушения пожара технологически устарело; технические системы не проходят своевременное обслуживание; персонал недостаточно проинформирован о действиях при возникновении возгораний или при возникновении неисправностей оборудования именно в данном помещении; персонал не ознакомлен с функциональными особенностями применяемого противопожарного оборудования.

### **2.3 Обоснование метода моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты**

Выявлено, что наиболее значимой причиной возможных аварий на предприятиях ФПС ГПС можно считать пожары. Для необходимого улучшения техносферной безопасности ФПС ГПС требуется наиболее пристальное внимание уделить именно используемым системам своевременного предотвращения возможных пожаров, как качественное и своевременное предупреждение, а также своевременное обнаружение пожара в полной мере может обеспечить наибольшую безопасность на каждом предприятии.

Для запланированной реализации поставленной цели необходимо поэтапно решить следующие ниже перечисленные задачи такие как:

- провести комплексный анализ всех существующих систем противопожарной защиты предприятия, современных стационарных средств оповещения о пожаре, имеющихся данных по практическому применению систем своевременного реагирования на фактическое возникновение неисправностей на конкретном предприятии;
- разработать наиболее оптимальный способ наиболее оперативного и комплексного оповещения о выявленных неисправностях, приводящим к возможному возникновению разнообразных пожароопасных ситуаций и о возникновении очагового пожара на предприятии.

Расчет пожара нужен для «оценки оперативности эвакуации и разработки событий по ее совершенствованию, а также других целей» [26].

В деятельности 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре используются программы специального назначения для моделирования пожаров - программные комплексы «Fenix+3», СИГМА-ПБ, OpenFoam, программы общего пользования: PHOENICS/FLAIR, Ansys – FLUENT [59].

Полевая модель развития пожара используется также в программах ANSYS [58] и OpenFoam [60], одновременно реализующих численные расчеты во многих областях – теплопередача, горение, химические реакции.

Первые условия возникновения пожара опасны для человека: пламя, высокая температура, напряженность термического излучения, ядовитые продукты горения, дымы [48], температура в очаге пожара через 1,12 мин достигает значения 365°C.

Существует ряд проблем, связанных с неопределенностью построения численной модели рассматриваемых объектов, что напрямую оказывает влияние как на получаемые результаты так на их доказательный уровень:

- мощность очага пожара, определяемая видом пожарной нагрузки;
- стадия пожара (начальная, развитая);
- время теплового воздействия;
- организация воздухообмена в помещении;
- климатические условия (наличие ветра, температура окружающей среды) [7].

Для учета всех необходимых требований к оценке нераспространения пожара между объектами защиты с помощью полевого моделирования используется следующий порядок проведения численного эксперимента.

В качестве аварийных ситуаций рассматриваются сценарии пожара, при которых реализуются наихудшие условия, определяемые наибольшей мощностью тепловыделения при пожаре и, соответственно, наибольшей интенсивностью теплового воздействия.

Данные условия создаются посредством моделирования развитой стадии пожара, когда принимается, что пожар охватывает все помещения на этаже, либо приниматься охват пламенем всех наружных сторон здания и кровли.

Поскольку в расчете рассматриваются наихудшие условия и оценивается максимальный падающий тепловой поток, то время моделирования определяется выходом мощности на стационарный максимальный уровень и задается расчетчиком, без привязки ко времени прибытия пожарных подразделений [54].

Блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания приведена на рисунке 15.

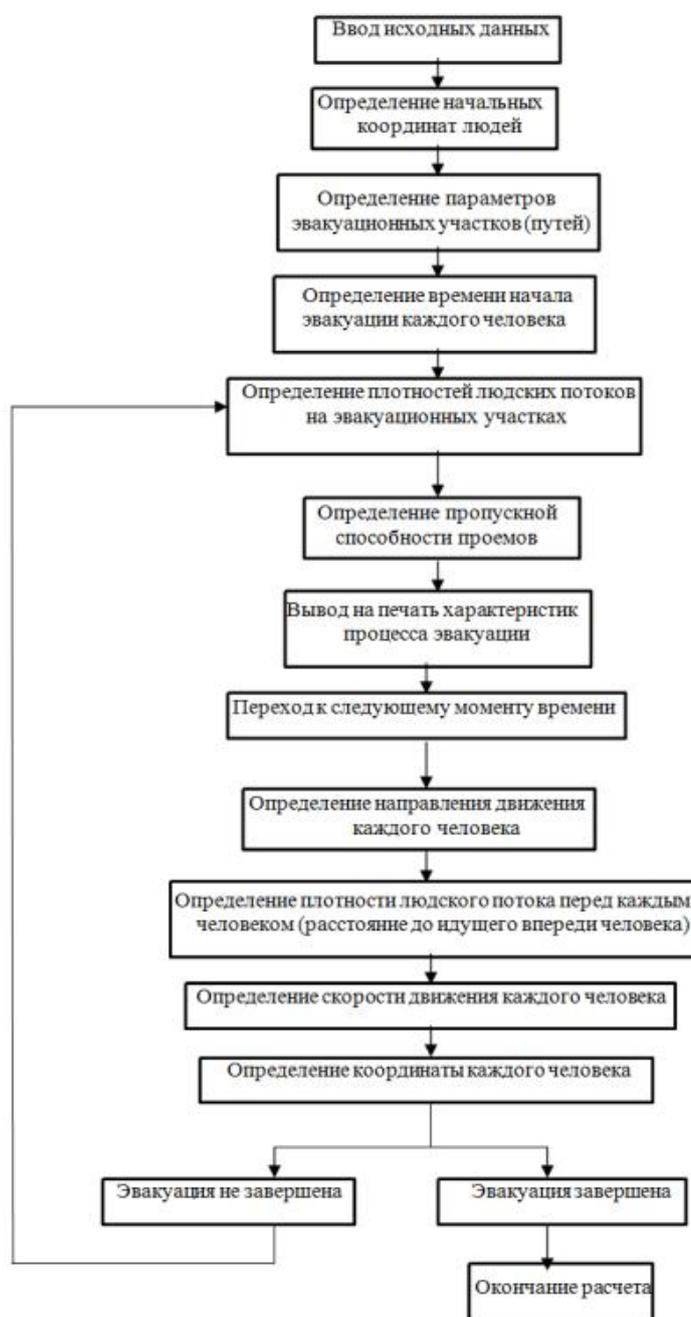


Рисунок 15 - Блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания [24]

Для построения математической модели был выбран полевой метод.

Задача моделирования – рассчитать и сопоставить время блокирования путей эвакуации и расчетное эвакуации людей при пожаре.

В схеме видно, что моделировании происходит на основе исходных данных о здании, о противопожарном обеспечении здания, начальных координатах людей, изучения параметров эвакуационных выходов, определения времени начала эвакуации, плотности людских потоков и много другого.

Так как в здании несколько эвакуационных выходов, то расчеты ведутся по каждому из них с учетом схемы эвакуации здания. В моделировании учитывается временной период блокирования отдельного эвакуационного выхода при полном задымлении. Учитывается также время начала эвакуации, пропускная способность проема, направление движения людей, их скорость движения. Окончание расчета происходит в том случае, когда эвакуация завершена.

Для определения расчетных величин пожарного риска в здании были рассмотрены следующие сценарии развития пожара. Рассмотрим три сценария. Моделирование динамики развития пожара проводилось по полевой модели с помощью компьютерной программы «Fenix+».

Объект моделирования - здание по адресу г. Ханты-Мансийск, ул. Гагарина, 153а. «Пожарно-спасательная часть № 75» - подразделение 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС.

Здание имеет три этажа, общая высота 16,5 м. Имеется 3 выхода из здания. Используется система оповещения СОУЭ 2 типа.

С торца здания пристрой на 4 гаража с автоматическими воротами.

Эвакуационные пути первого этажа: один основной выход, два запасных выхода.

Сценарий №1: очаг пожара находится в помещении спальни, расположенной на первом этаже здания, на уровне пола (рисунок 16).



Время горения 20,8 мин: блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В2 (рисунок 18).

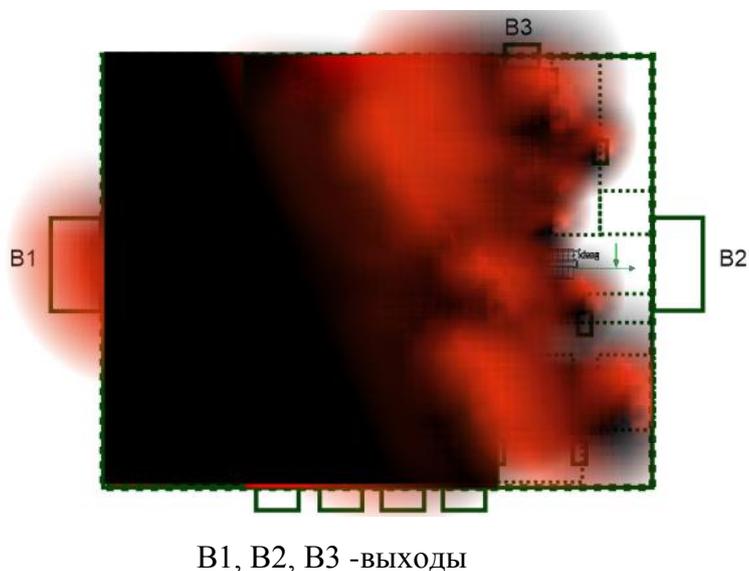


Рисунок 18 – Поля опасных факторов пожара на 20,8 мин горения

Время горения 35,85 мин: блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В3 (рисунок 19).

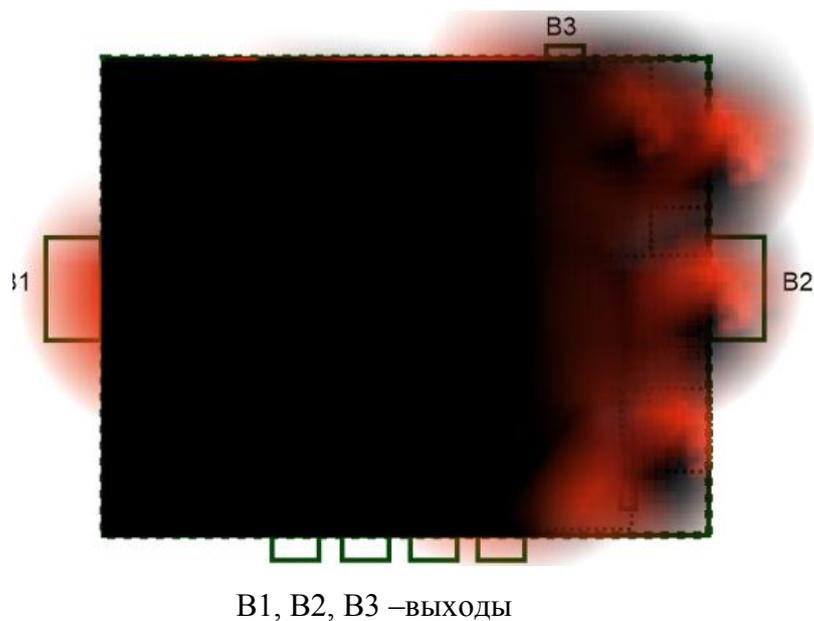


Рисунок 19 – Поля опасных факторов пожара на 35,85 мин горения

Время горения 41,55 мин - продолжительность пожара.

Таким образом, стоит отметить, что блокируются выходы по признаку потери видимости в следующей последовательности и временном интервале (таблица 6):

- 8,8 мин: эвакуационный выход В1;
- 20,8 мин: эвакуационный выход В2;
- 35,85 мин: эвакуационный выход В3.

Таблица 6 - Время блокирования путей эвакуации и расчетное время эвакуации

Этаж	Эвакуационный выход	Время блокирования путей эвакуации, мин	Расчетное время эвакуации, мин
1	В1	8,8	2,4
	В2	20,8	0,88
	В3	35,85	0,24

При возгорании на первом этаже время блокирования выходов путей эвакуации для всех этажей выше первого будет не выше данного значения. Результаты расчетов времени блокирования опасными факторами пожара обобщены в таблице 7 с учетом этажности здания.

Таблица 7 - Время блокирования путей эвакуации и расчетное время эвакуации

Этаж	Эвакуационный выход	Время блокирования путей эвакуации, мин	Расчетное время эвакуации, мин
1	В1	8,8	2,4
	В2	20,8	0,88
	В3	35,85	0,24
2	В1	8,8	4,4
	В2	20,8	6,16
	В3	35,85	5,24
3	В1	8,8	7,1
	В2	20,8	7,88
	В3	35,85	8,24

Из таблицы 7 видно, что время блокирования путей эвакуации больше, чем расчетное время эвакуации, однако при эвакуации с третьего этажа по выходу В1 это время практически совпадает (8,8 мин и 7.1 мин).

Сценарий №2: очаг пожара находится в помещении кухни, расположенной на втором этаже здания (рисунок 20).

На втором этаже здания находятся: 12 кабинетов, серверная комната системного администратора, кухня, склад, спальня, туалет.

Эвакуационные пути второго этажа: две лестничные клетки, соединяющие все этажи и один запасной выход.

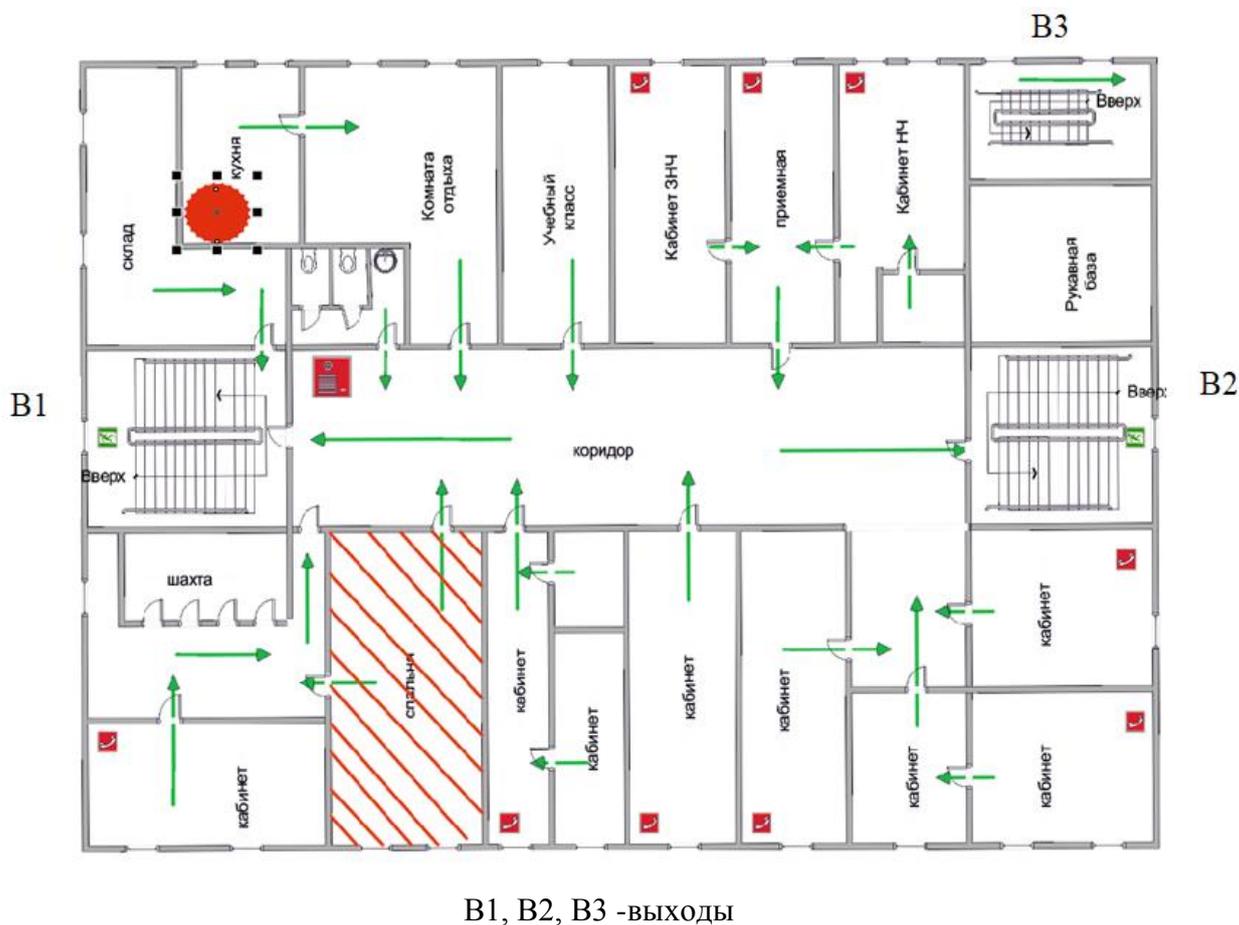
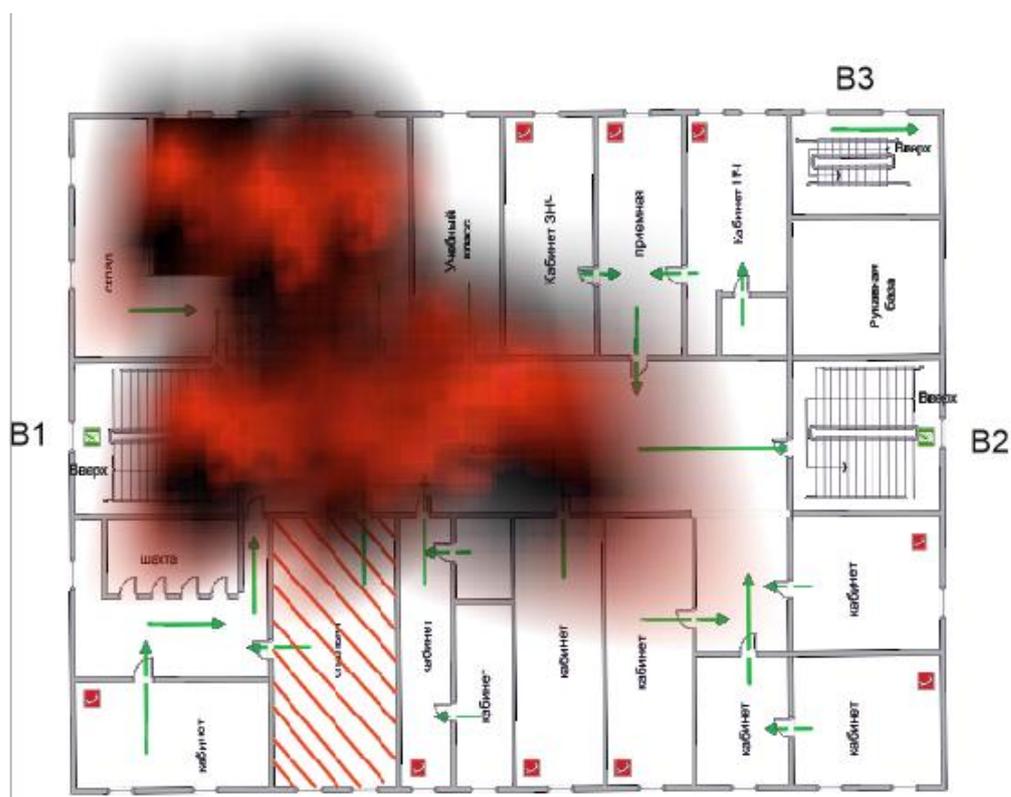


Рисунок 20 – Очаг возгорания по сценарию 2

Динамику данного варианта развития пожара можно проиллюстрировать следующими моментами.

Время горения 7,2 мин: блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В 1 (рисунок 21).



В1, В2, В3 -выходы

Рисунок 21 – Поля опасных факторов пожара на 7,2 минуте горения

Время горения 19,95 мин: блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В3.

Время горения 21,2 мин: блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В2.

Время горения 22,5 мин: продолжительность пожара, блокированы все выходы.

Из таблицы 8 видно, что время блокирования путей эвакуации больше, чем расчетное время эвакуации, однако при эвакуации с третьего этажа по выходу В1 это время практически совпадает.

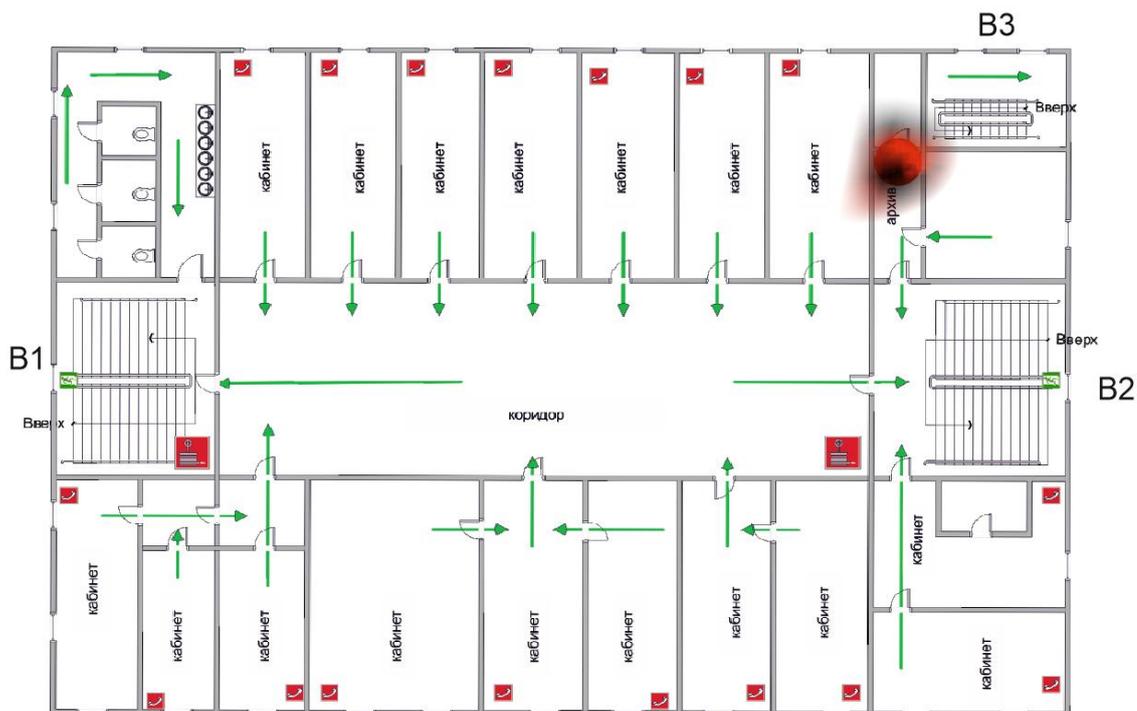
Таблица 8 - Время блокирования путей эвакуации и расчетное эвакуации (сценарий 2)

Этаж	Эвакуационный выход	Время блокирования путей эвакуации, мин	Расчетное время эвакуации, мин
1	B1	9,2	2,4
	B2	22,6	0,88
	B3	21,5	0,24
2	B1	7,2	4,4
	B2	21,2	6,16
	B3	19,95	5,24
3	B1	9,8	7,1
	B2	21,8	7,88
	B3	22,5	8,24

Сценарий №3: очаг пожара находится в помещении архива на третьем этаже, на уровне пола (рисунок 22).

На третьем этаже здания находятся: 17 кабинетов, архив, туалет.

Эвакуационные пути третьего этажа: две лестничные клетки, соединяющие все этажи и один запасной выход.



## Рисунок 22 – Очаг возгорания сценарий 3 - архив 3 этаж

Время горения 8,4 мин: блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В3.

Время горения 9,8 мин: блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В2.

Время горения 25,4 мин: блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В1.

Продолжительность пожара 32,5 мин.

Результаты расчетов времени блокирования опасными факторами пожара обобщены в таблице 9.

Таблица 9 - Время блокирования путей эвакуации и расчетное эвакуации

Этаж	Эвакуационный выход	Время блокирования путей эвакуации, мин	Расчетное время эвакуации, мин
1	В1	34,6	2,4
	В2	15,8	0,88
	В3	14,5	0,24
2	В1	28,2	4,4
	В2	11,5	6,16
	В3	9,4	5,24
3	В1	25,4	7,1
	В2	9,8	7,88
	В3	8,4	8,24

Для определения условий безопасной эвакуации людей нужно сравнить время блокирования путей эвакуации и расчетное время эвакуации для каждого эвакуационного выхода. Это время определяется согласно Приказа от 30 июня 2009 года № 382 «Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». «Время эвакуации определяется без учета времени задержки на оповещение людей о пожаре, все люди, находящиеся в здании, после получения сигнала о пожаре начинают движение к эвакуационным выходам одновременно» [24].

Таким образом, в результате проведенного расчета в программе моделирования получены количественные значения критерия оценки пожарной опасности. Данные значения необходимо сравнить с критическими, а именно со значениями времени эвакуации людей, полученными согласно методике ГОСТ 12.1.004- 91 [8].

Сравнение значений времени блокировки и времени эвакуации показывает, что условия безопасной эвакуации людей выполняются на всех путях эвакуации. Результаты расчетной оценки пожарной опасности объекта показали, что для обеспечения безопасной эвакуации людей не требуется проведения дополнительных противопожарных мероприятий.

Однако по сценарию 1 (пожар на первом этаже в помещении спальни), время блокирования путей эвакуации и расчетное время эвакуации при эвакуации с третьего этажа по выходу В1 практически совпадает (8,8 мин и 7.1 мин).

Следовательно, необходимо ускорить начало эвакуации третьего этажа при возгорании на первом этаже, следовательно, рекомендуется использовать речевую систему оповещения. Данная система может стать дополнительной, так как речевое сопровождение дает понимание, что данный факт не является обучением или проверкой работы автоматической системы.

Существующие современные программы облегчают проведение данной оценки. Однако, необходимо помнить о существующей неопределённости в задании начальных, граничных условий.

В каждом конкретном случае необходимо проведения обоснования выбора тех или иных параметров моделирования:

- форма горящей области,
- ветровая нагрузка,
- воздухообмен в помещении очага пожара,
- вид пожарной нагрузки.

Универсальность, всесторонний охват, высокая точность и фундаментальность - именно эти качества отличают полевой (дифференциальный) метод расчета пожара в зданиях различного назначения и функционала. Рассматривать различные полевые методы, применяемые при исследовании пожаров целесообразно в привязке к тем материалам, для исследования которых они в основном применяются, с описанием методик анализа, включая способы обработки получаемой информации. Полевые методы исследования позволяют осуществлять оценку термических поражений материалов.

Выводы по разделу.

Объект исследования - 7 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по ХМАО-Югре. Для анализа и моделирования выбрано здание по адресу г. Ханты-Мансийск, ул. Гагарина, 153а. «Пожарно-спасательная часть № 75» - подразделение 7ПСО ФПС ГПС.

Анализ выявил, что вероятность возникновения пожара на объекте имеется, а самые вероятные причины - человеческий фактор.

Методом экстраполяции выявлено, что ежегодно возникновения потенциально-опасных ситуаций пожара в ФПС ГПС согласно прогнозированию будет увеличиваться, что увеличивает вероятность возникновения пожара. Поэтому необходимо совершенствовать систему противопожарной защиты.

Для определения наилучших технических решений для ФПС ГПС был проведен анализ основного противопожарного оборудования.

Полевым методом с помощью компьютерной программы рассмотрены три сценария пожара определено время блокирования путей эвакуации. Выяснилось, что по сценарию «пожар на первом этаже», время блокирования путей эвакуации и расчетное время эвакуации практически совпадают при эвакуации с третьего этажа по выходу В1. Следовательно, необходимо ускорить начало эвакуации третьего этажа при возгорании на первом, следовательно рекомендуется использовать речевую систему оповещения.

### **3 Анализ результатов исследования и разработка рекомендаций по применению его результатов**

#### **3.1 Разработка рекомендаций по применению результатов моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты**

Анализ, проведенный в предыдущей главе выявил, что в анализируемом здании оборудование, применяемое для оповещения и тушения пожара технологически устарело. Кроме того технические системы не проходят своевременное обслуживание, а персонал не ознакомлен с функциональными особенностями применяемого противопожарного оборудования.

Предлагается установить речевую систему оповещения. Оптимальным вариантом может стать установка СОУЭ 3 типа. В здании уже стоит СОУЭ 2 типа и ей уже более 15 лет (с 2002 года).

Предлагается установить прибор звуковым оповещением «Рокот-2» и акустическую систему «АС-2-2». Дополнительное обоснование для СОУЭ 3 типа.

«Система речевого оповещения пожарная «Рокот» ТУ 4371-005-98410652-07 предназначена для трансляции речевой информации и предварительно записанных речевых сообщений при возникновении пожара или других экстремальных ситуаций» [4].

Система состоит из прибора управления оповещением «Рокот-2» (в дальнейшем - прибор) и акустических систем «АС-2», «АС-3» (в дальнейшем - АС), подключенных с помощью соединительных линий.

Электропитание прибора осуществляется от сети переменного тока 50 Гц напряжением 220 В при обязательном использовании аккумуляторной батареи 12 В, 7 Ач. [5].

Прибор предназначен для работы совместно с приемно-контрольными приборами серий «Гранит 1б», который уже используется на объекте.

Таким образом, данная акустическая система идеально подходит для установки в здании.

Audio-система АС-2-2 предназначена для воспроизведения звуковых сообщений в системе речевого пожарного оповещения «РОКОТ».

Устанавливается в линию оповещения приборов управления оповещением «Рокот», РОКОт, Rokot-2» и Rock 4.

Предназначена для закрепления в стене, а также для монтажа на нее.

Таблицы 10 и 11 содержат технические характеристики систем.

Таблица 10 - Технические характеристики «Рокот-2»

Характеристика	Значение характеристики
Напряжение питания сети переменного тока, 50 Гц, В	от 187 до 242
Мощность, потребляемая от сети переменного тока, Вт	Не более 25
Номинальная ёмкость аккумуляторной батареи, Ач	7
Диапазон рабочих температур, °С	-10, +50
Габаритные размеры, мм	285x210x95

Далее рассмотрим технические характеристики «АС-2-2» (таблица 11).

Таблица 11 - Технические характеристики «АС-2-2»

Характеристика	Значение характеристики
Номинальное входное сопротивление, Ом	42
Уровень звукового давления на расстоянии 3 м, дБ	84
Габаритные размеры, мм	140x200x67
Диапазон рабочих температур, °С	-30, +55
Срок службы, лет	не менее 10

В соответствии с Методикой определения расчетных величин индивидуального пожарного риска численным выражением индивидуального

пожарного риска является частота воздействия опасных факторов на человека, находящегося в здании.

Произведем расчет индивидуального пожарного риска.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска  $Q_{в,i}$  для  $i$ -го сценария пожара в зданиях рассчитывается по формуле (6):

$$Q_{в,i} = Q_{п,i} \times (1 - K_{ан,i}) \times P_{пр,i} \times (1 - P_{э,i}) \times (1 - K_{н.э,i}), \quad (6)$$

где  $Q_{в,i}$  - расчетная величина индивидуального пожарного риска;

$Q_{п,i}$  - частота возникновения пожара в здании в течение года. Так как статистическая информация отсутствует, принимаем  $Q_{п,i} = 0,04$  [20];

$K_{ан,i}$  - коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов.  $K_{ан,i} = 0,9$ , так как здание оборудовано системой АУП, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$P_{пр,i}$  - вероятность присутствия людей в здании;

$P_{э,i}$  - вероятность эвакуации людей из здания (0,999);

$K_{н.э,i}$  - коэффициент учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности [39].

Вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения (7):

$$P_{пр,i} = t_{функц,i} / 24, \quad (7)$$

где  $t_{функц,i}$  – время нахождения людей в здании в часах.

$$P_{пр,i} = 24 / 24 = 1,000$$

Коэффициент учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, рассчитывается по формуле (8):

$$K_{н.з,i} = 1 - (1 - K_{обн,i} \times K_{соуэ,i}) \times (1 - K_{обн,i} \times K_{пдз,и}), \quad (8)$$

где  $K_{обн,i}$  - коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{обн,i} = 0,8$ , так как здание оборудовано системой пожарной сигнализации, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{соуэ,i}$  - коэффициент соответствия системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией, требованиям нормативных документов;  $K_{соуэ,i} = 0,8$  ;

$K_{пдз,i}$  - коэффициент, учитывающий соответствие системы противодымной защиты, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;  $K_{пдз,i} = 0,8$  [39].

Подставив в формулу найденные значения получим, коэффициент учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности:

$$K_{н.з} = 1 - (1 - 0,8 \times 0,8) \times (1 - 0,8 \times 0,8) = 0,8704$$

Когда найдены все переменные формулы (6) можно рассчитать величину индивидуального пожарного риска:

$$Q_B = 0,04 \times (1 - 0,9) \times 1 \times (1 - 0,999) \times (1 - 0,8704) = 5,184 \times 10^{-7}$$

Результаты расчёта показывают, что индивидуальный пожарный риск для первого сценария не превышает значения, установленного Федеральным Законом №123-ФЗ [29]. В соответствии с ФЗ-123, статьи 93 пункт 1 «величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год» [50].

Отсюда можно сделать вывод, что в данном здании индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому и не превышает значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания точке.

Проведенные данные показали, что существующие объемно-планировочные, конструктивные, инженерные и организационно-технические решения системы обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого объекта защиты обеспечивают безопасную эвакуацию людей, однако требуют совершенствования [27].

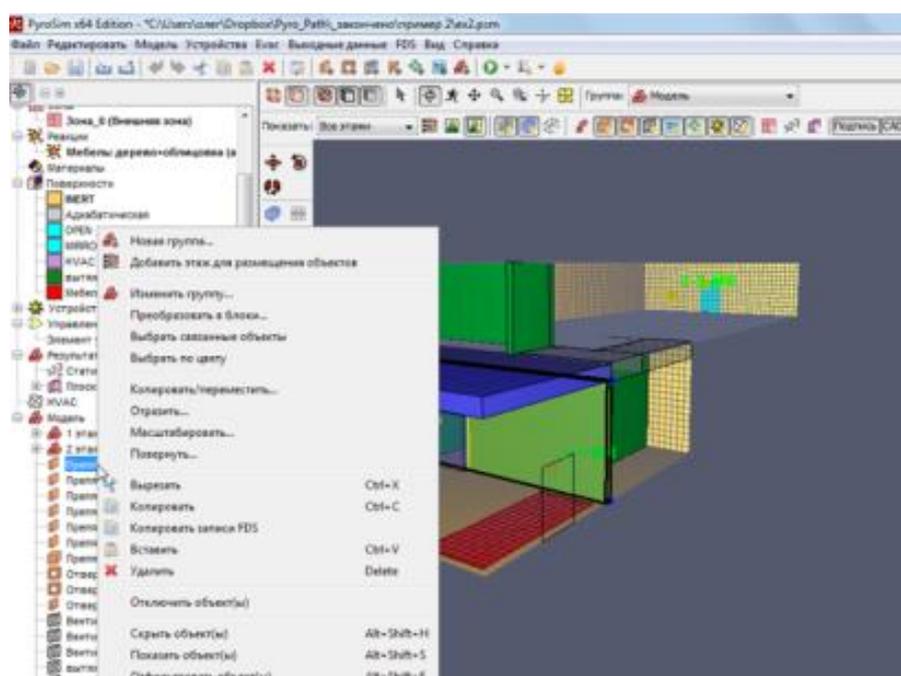
Кроме того, в качестве рекомендаций по применению результатов моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты можно предложить использование программного комплекса PyroSim [60] для быстрой и точной работы с Fire Dynamics Simulator (FDS) [56].

В настоящее время используется компьютерная программа «Fenix+3» для выполнения моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации из многоэтажных зданий, определения расчетной величины пожарного риска. Стоимость годовой лицензии «Fenix+3» 92,4 т.р. (продление годовой лицензии 79,8 т.р.) а стоимость программного комплекса PyroSim 49,9 т.р. (продление годовой лицензии бесплатно) [49].

Обоснованием для внедрения и использования данного программного комплекса является не только экономическая эффективность, а также функциональная, а, именно:

- модель соответствует «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (утвержденной приказом МЧС России №382 от 30.09.2009, с учетом изменений, вносимых в методику приказом МЧС России №749 от 12.12.2011 и приказом МЧС России №632 от 02.12.2015), а также «Методике определения расчетных величин пожарного риска на промышленных объектах» (утвержденной приказом МЧС России № 404 от 10.07.2009);
- программа PyroSim успешно прошла сертификацию в АНО «ПожСофт» и зарегистрирована в реестре Системы добровольной сертификации в области пожарной безопасности. Сертификация подтверждает, что программа прошла верификацию и отвечает требованиям нормативных документов [16].

Пример рабочего пространства представлен на рисунке 23.



## Рисунок 23 - Программа Pyrosim

Программный комплекс Fire Dynamics Simulator (FDS) реализует вычислительную гидродинамическую модель (CFD) тепломассообмена во время горения.

Стоит добавить, что данные по результатам моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты должны быть охраняемыми, не распространяться. Эти данные в руках «провокаторов» могут стать опасным инструментом, демонстрирующим слабые места объекта в отношении пожарной защиты. Необходимо разработать комплексную систему защиты информации, определить перечень организационных мероприятий по защите информации, включающих действия сотрудников служб безопасности для обеспечения безопасности информации [4241].

Для уменьшения финансового риска при возникновении чрезвычайной ситуации на объекте защиты, также рекомендуется провести противопожарное страхование объекта. В этом случае прямой ущерб, возникший в результате пожара, будет компенсирован страховой компанией.

Таким образом, прогнозирование динамики развития пожара в общественных зданиях с помощью моделирования в современных программных продуктах, дает возможность на основании полученных данных максимально точно предсказать, где и когда может случиться пожар.

### **3.2 Анализ эффективности внедрения результатов исследования**

В работе предложены основные рекомендации по применению результатов моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты:

- установить прибор звуковым оповещением «Рокот-2» и акустическую систему «АС-2-2».
- для уменьшения финансового риска при возникновении чрезвычайной ситуации на объекте защиты, также рекомендуется провести противопожарное страхование объекта. Стоимость страхового полиса от страховой компании «ВТБ» составит 18500 р. в год.

Совершенствование эффективности функционирования комплексной системы пожарной защиты во многом зависит от уровня руководства всем процессом и обеспечения безопасности данных.

Анализ эффективности внедрения результатов исследования происходит на основе сопоставления затрат и потенциальной экономии.

В стоимость монтажа входит установка системы речевого оповещения.

Стоимость оборудования указана в таблице 12.

Таблица 12 - Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Акустическая система «АС- 2-2»	63	650,0	23400,0
Прибор оповещения «Рокот-2»	1	7100,0	7100,0
Итого			30500,0

Услуги монтажа, также требуют затрат. Монтаж оборудования приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Стоимость монтажа оборудования

Наименование оборудования	Стоимость монтажа прибора, руб.	Количество, шт.	Сумма, руб.
Акустическая система «АС-2-2»	500	63	31500
Прибор управления оповещением Рокот-2»	1500	1	1500

Итого			33000
-------	--	--	-------

Общие затраты на оборудование и монтаж составят:

$$30500+33000= 64500 \text{ руб.}$$

Для работников, которые получают зарплату в размере среднего заработка и премии - 50%, каждое предприятие самостоятельно устанавливает систему премирования сотрудников и периодичность выплаты денежного вознаграждения или поощрения.

По установке работы выполняют:

- инженер по строительству, проектировщик;
- с учетом всех надбавок и премий, которые выплачиваются сотрудникам, должностной оклад составляет от 30 000 руб.;
- по словам представителей компании, в среднем инженеры-проектировщики тратят на разработку и монтаж установки один месяц;
- размер премии установлен в размере 50% от должностного оклада, а районный коэффициент составляет 30%;
- непрерывный стаж работы инженера составляет 10% от суммы должностного оклада и премии.

Основная зарплата в таблице 14.

Таблица 14 - Расчет основной заработной платы

Должность	Оклад, руб.	Время вып. работы, мес.	Сумма оклада, руб.	Премия (50%) руб.	Район. коэф. (30%), руб.	Надбавка за стаж (30%), руб.	Итого, руб.
Инженер	30000	1	30000	15000	6000	4500	49500

Расчет дополнительной зарплаты приведен в таблице 15.

Затраты на установку звуковой системы оповещения составляют 135666 руб. За основу для расчета экономического эффекта принимается самый дешевый вариант, установка речевой системы оповещения.

Таблица 15 - Калькуляция плановой себестоимости

Статьи затрат	Сумма, руб
Основная заработная плата	49500
Дополнительная заработная плата	4950
Отчисления на социальные нужды	16716,
Затраты на оборудование и установку	64500
Плановая себестоимость	135666

При условии, что пожарные риски не превышают установленную норму:

$$\mathcal{E} = C_n - \mathcal{Z}_{\text{пожарных рисков}} \quad (9)$$

Затраты на установку речевой систем оповещения составляют 135666 руб.

Оценку экономической эффективности внедрения предложенных мероприятий можно оценить как отношение превышения стоимостных оценок конечных результатов над совокупными затратами ресурсов (трудовых, материальных, капитальных) за расчетный период.

Общие затраты с учетом приобретения страхового полиса:

$$135666,0 + 18500,0 = 154166 \text{ руб.}$$

Несоблюдение рекомендаций «по снижению индивидуального пожарного риска может повлечь применение штрафных санкций к юридическому лицу и к должностному лицу с применением норм» Кодекса РФ об административных правонарушениях ст. 19.5 п. 13 в размере;

- «на должностное лицо в соответствии со ст. ст. 20.4 и 20.6 от 15000 руб. до 50000 руб.;
- на юридическое лицо в соответствии со ст. ст. 20.4 и 20.6 от 200000 руб. до 400000 руб.»[13]:

Итого административный штраф может составить от 215000 руб. до 450000 руб.

Таким образом, очевидно, что выполнение предложенного мероприятия по снижению пожарного риска для юридического и должностного лиц по минимальным ставкам экономически выгодно:  $215000 - 154666 = 60334$  руб.

Оценка экономической эффективности проведем по формуле (10) [35]:

$$\mathcal{E}_{эф} = \frac{\mathcal{ЭЭ}}{З} \times 100\%, \quad (10)$$

где  $\mathcal{E}_{эф}$  - экономическая эффективность от проектных мероприятий;

$\mathcal{ЭЭ}$  - экономический эффект;

$З$  - затраты на внедрение проектных мероприятий

В качестве экономического эффекта можно использовать сумму «сэкономленного» неуплаченного административного штрафа.

Рассчитаем экономическую эффективность по формуле (10) и получим:

$$\mathcal{E}_{эф} = \frac{215000}{154666} \times 100\% = 139,5\%$$

Таким образом, эффективность дополнительного противопожарного мероприятия, а именно повышение системы оповещения людей о пожаре до третьего типа и страхование, подтверждена.

Выводы по разделу.

Исходя из вышесказанного во второй главе необходимо обновить оборудование, применяемое для оповещения пожара. Оптимальным вариантом может стать установка СОУЭ 3 типа. Предлагается установить речевую систему оповещения.

В работе предложены три основные рекомендации по применению результатов моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты:

- установить прибор звуковым оповещением «Рокот-2» и акустическую систему «АС-2-2».
- для уменьшения финансового риска при возникновении чрезвычайной ситуации на объекте защиты, также рекомендуется провести противопожарное страхование объекта. Стоимость полиса страхования от страховой компании «ВТБ» составит 18500 р. в год.

Для улучшения техносферной безопасности ФПС ГПС требуется пристальное внимание уделить также своевременному обнаружению пожара.

Экономическая эффективность составит 139,5%. Эффективность дополнительного противопожарного мероприятия, а именно повышение системы оповещения людей о пожаре до третьего типа и страхование, подтверждена.

## Заключение

По первой теоретической части работы можно сделать вывод, что обеспечение пожарной безопасности является важной и особо значимой функцией современного государства.

В настоящее время создано больше сотни разнообразных методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Одним из способов прогнозирования является моделирование.

Моделирование чрезвычайных ситуаций - это имитация ситуации и обстановки, сложившейся на определённой территории в процессе возможного наступления ЧС. Наиболее распространённые методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами – аналитические, где основой выступают статистические методы прогнозирования и дополняются экспертными заключениями.

Все чаще, современные научные методы прогнозирования ЧС, связанные с пожарами основываются на математическом моделировании. Математическая модель пожара - изменение параметров состояния среды в течение времени, а также изменение параметров состояния различных элементов этой среды.

Во втором, аналитическом разделе отмечено, что объект исследования - 7 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по ХМАО-Югре. Для анализа и моделирования выбрано здание по адресу г. Ханты-Мансийск, ул. Гагарина, 153а. «Пожарно-спасательная часть № 75» - подразделение 7ПСО ФПС ГПС. Анализ выявил, что вероятность возникновения пожара на объекте имеется, а самые вероятные причины - человеческий фактор.

Методом экстраполяции выявлено, что ежегодно возникновения потенциально-опасных ситуаций пожара в ФПС ГПС согласно прогнозированию будет увеличиваться, что увеличивает вероятность возникновения пожара. Поэтому необходимо совершенствовать систему противопожарной защиты.

В здании стоит СОУЭ 2 типа, здание оборудовано охранно-пожарной сигнализацией, шлейфы от извещателей выведены на ППК (марка «ГРАНИТ-16»), который находится на вахте.

Полевым методом с помощью программы рассмотрены три сценария пожара, определено время блокирования путей эвакуации. В результате проведенного расчета в программе моделирования получены количественные значения критерия оценки пожарной опасности. По сценарию 1 (пожар на первом этаже), время блокирования путей эвакуации и расчетное время эвакуации практически совпадают при эвакуации с третьего этажа по выходу В1. Следовательно, необходимо ускорить начало эвакуации третьего этажа при возгорании на первом, рекомендуется использовать речевую систему оповещения. Необходимого улучшения техносферной безопасности ФПС ГПС требуется наиболее пристальное внимание уделить используемым системам своевременного предотвращения возможных пожаров, как качественное и своевременное предупреждение, а также своевременное обнаружение пожара в полной мере может обеспечить наибольшую безопасность на каждом предприятии.

По итогам работы, выявлены основные принципы успешной работы инженерных выводов и предложены подходящие средства для достижения цели пожарной безопасности.

В третьей разделе даны конкретные рекомендации по обновлению оборудования, применяемого для оповещения пожара. Оптимальным вариантом может стать установка СОУЭ 3 типа. Предлагается установить речевую систему оповещения.

Предложены основные рекомендации по применению результатов моделирования пожара и его опасных факторов для анализа пожарной безопасности объекта защиты:

- установить прибор звуковым оповещением «Рокот-2» и акустическую систему «АС-2-2».

– для уменьшения финансового риска при возникновении чрезвычайной ситуации на объекте защиты, также рекомендуется провести противопожарное страхование объекта. Стоимость страхового полиса страховой компании «ВТБ» составит 18500 р. в год.

Экономическая эффективность составит 139,5%. Эффективность дополнительного противопожарного мероприятия, а именно повышение системы оповещения людей о пожаре до третьего типа и противопожарное страхование объекта, подтверждена.

В результате выполнения магистерской диссертационной работы выполнены основные задачи, поставленные в начале работы. Был проведен анализ особенностей функционирования и эксплуатации предприятия, анализ технических решений в области обеспечения пожарной безопасности 7 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре.

Прогнозирование пожара и его моделирование может наглядно показать наиболее опасные с точки зрения пожарной безопасности, а также спроектировать наиболее безопасные эвакуационные пути.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Александренко М.В. Математическое моделирование пожара / М.В. Александренко, А.М. Ибрагимов // Международный научно-исследовательский журнал.- 2015. - №4 (35). - URL: <https://research-journal.org/archive/4-35-2015-may/matematicheskoe-modelirovanie-pozhara> (дата обращения: 21.06.2023).
2. Анализ пожаров и последствий от них, произошедших на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры за 2022 год [Электронный ресурс] Официальный сайт МЧС. URL: [https://86.mchs.gov.ru/uploads/resource/2023-01-20/10-statisticheskie-dannye\\_16741968781164992451.pdf](https://86.mchs.gov.ru/uploads/resource/2023-01-20/10-statisticheskie-dannye_16741968781164992451.pdf) (дата обращения: 25.03.2023).
3. Бадагуев Б. Т. Пожарная безопасность на предприятии. М.: Альфа-Пресс, 2017. 720 с.
4. Бадагуев Б. Т. Пожарная безопасность на предприятии. М.: Альфа-Пресс, 2018. 488 с.
5. Белякин С. К. Системы обеспечения пожарной безопасности: учебное пособие. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2019. 250 с.
6. Беляков Г. И. Пожарная безопасность: учебное пособие для среднего профессионального образования. М.: Издательство Юрайт, 2020. 143 с.
7. Временной ряд ARIMA: Википедия - свободная энциклопедия [Электронный ресурс] URL: <https://ru.Wikipedia.org/wiki/ARIMA> 9 (дата обращения: 12.02.2023).
8. Главное управление МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу [Электронный ресурс] : Официальный сайт МЧС URL: <https://86.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/podrazdeleniya-fps-mchs-rossii-po-hanty-mansiyskomu-avtonomnomu-okrugu-yugre/fgku-7-otryad-federalnoy-protivopozharnoy-sluzhby-po-hmao-yugre/> (дата обращения: 25.03.2023).

9. ГОСТ Р 22.1.01–95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях [Электронный ресурс] : Официальный сайт МЧС URL: <https://44.mchs.gov.ru/> (дата обращения: 25.03.2023).

10. Демидова Л. А., Никульчев Е. В., Соколова Ю. С. Классификация больших данных: использование SVM-ансамблей и SVM- классификаторов с модифицированным роевым алгоритмом // Cloud of science. 2016. №1. [Электронный ресурс] URL: <http://goo.gl/iXHHIP> (дата обращения: 12.03.2023).

11. Инженерное обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: в 3-х книгах: книга 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / Под ред. С. К. Шойгу. М.: ЗАО «ПАПИРУС», 1998. 166 с.

12. Ковзель А. А. Методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. // Молодой ученый. 2021. № 51. С. 537-542. — URL: <https://moluch.ru/archive/393/87061/> (дата обращения: 21.06.2023).

13. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ. [Электронный ресурс] : КонсультантПлюс // URL: <https://www.consultant.ru/document/consdocLAW34661> (дата обращения: 22.02.2023).

14. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс] : КонсультантПлюс // URL: <http://www.consultant.ru/>(дата обращения: 22.02.2023).

15. Кошелев А. С. Обеспечение огнестойкости несущих конструкций как основной фактор предотвращения опасных факторов пожара в общественных зданиях // Молодой ученый. 2022. № 4 (399). С. 61-64.

16. Кошелев А. С. Применение программных продуктов для моделирования опасных факторов пожара в общественных зданиях / А. С. Кошелев, Г. А. Переладов.: непосредственный // Молодой ученый. 2022. № 4 (399). С. 57-61.

17. Ложкин В. С. Памятка-инструкция для ответственного за обеспечение пожарной безопасности. М.: Безопасность труда и жизни, 2016. 513 с.

18. Лоскутов А. Ю. Анализ временных рядов. [Электронный ресурс] : Курс лекций. URL: [http://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Lectures\\_time\\_series\\_analysis.pdf](http://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Lectures_time_series_analysis.pdf) (дата обращения: 22.02.2023).

19. Методические рекомендации об организации расчета материального ущерба от пожаров должностными лицами органов государственного пожарного надзора. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 144 с.

20. Методические рекомендации по организации деятельности подразделений мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций территориальных органов МЧС России [Электронный ресурс] : МЧС России от 25.12.2020 № 2-4-71-35-11 (ред. от 25.12.2020). URL:<https://legalacts.ru/doc/metodicheskie-rekomendatsii-po-organizatsii-deyatelnosti-podrazdelenii-monitoringa-i-prognozirovaniya/> (дата обращения: 23.05.2023)

21. Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: пособие по применению / под ред. А.А. Абашкина. М.: ВНИИПО, 2014. 226 с.

22. Михайлов Ю. М. Пожарная безопасность в строительстве. М.: Альфа-Пресс, 2017. 144 с.

23. Михайлов Ю.М. Пожарная безопасность в офисе. М.: Альфа-Пресс, 2018. 120 с.

24. Моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций: монография / В.Ю. Радоуцкий, М.В. Литвин, М.А. Латкин. Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. 140с.

25. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] : Постановление

Правительства Российской Федерации от 30.12.2003 № 794 URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 24.03.2023).

26. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс] : Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 URL: <https://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 24.03.2023).

27. Об утверждении Положения о функциональной подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России от 04.03.2011 № 94 URL: <http://www.consultant.ru>. (дата обращения: 15.01.2023).

28. Об утверждении Порядка подготовки, представления прогнозной информации и организации реагирования на прогнозы чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России от 31.12.2002 № 632. URL: <http://www.consultant.ru>. (дата обращения: 15.01.2023).

29. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479 URL: <http://consultant.ru/> (дата обращения: 01.09.2022).

30. Об утверждении требований к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системой пожарной сигнализации, системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 1 сентября 2021 г. № 1464 URL: <http://consultant.ru/> (дата обращения: 11.10.2022).

31. О внесении изменений в Правила противопожарного режима в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 24.10.2022 № 1885, URL: <https://base.garant.ru/405573893/> (дата обращения: 01.03.2023).

32. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ (ред. от 04.05.2023). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c/) (дата обращения: 15.02.2023).

33. О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ. URL: <http://consultant.ru/> (дата обращения: 01.09.2022).

34. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 22 июля 2020 г. № 1084. URL: <http://consultant.ru/> (дата обращения: 01.09.2022).

35. Оценка экономической эффективности проектных решений: Методические указания к расчету экономической эффективности технологической и конструкторской разработок дипломных проектов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / ИВГПУ; Сост.: Н.В. Дудкова, А.В. Маркелов, В.А. Масленников. Иваново, 2014. 35 с.

36. МЧС России. Главное управление по Московской области [Электронный ресурс] : Официальный сайт МЧС Росси. URL: <http://50.mchs.gov.ru/deyatelnost/grazhdanskaya-oborona/zashchita-naseleniya/osnovnye-zadachi-edinoy-gosudarstvennoy-sistemy-preduprezhdeniya-i-likvidacii-chrezvychaynyh-situaciy/prognozirovanie-ugrozy-vozniknoveniya-chrezvychaynyh-situaciy-ocenka-socialno-ekonomicheskikh-posledstviy-chrezvychaynyh-situaciy/prognozirovanie-chs> (дата обращения: 12.03.2023).

37. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году / Под общей редакцией А.В. Матюшина. М.: ВНИИПО, 2016, 124 с. [Электронный ресурс] : Статистический сборник. URL: <http://goo.gl/clDxut> (дата обращения: 12.03.2023).

38. Пузач С.В., Колодяжный С.А. Особенности пожарной опасности многофункциональных центров с атриумами. Выпуск № 1 (65), 2016. [Электронный ресурс] : Технологии техносферной безопасности URL:

<http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/18-01-16.ttb.pdf> (дата обращения: 12.03.2023).

39. Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б. Прогнозирование пожаров статистическим методом // Технологии техносферной безопасности. Кокшетауский технический институт КЧС МВД Казахстан. 2017. № 2 (72).

40. РФ. Росстандарт. ГОСТ Р 22.1.02-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения : утв. Постановлением Госстандарта России № 625 от 21.12.1995. М., 2008. 52 с.

41. Рыбаков А. В. Технология прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного характера на пожаровзрывоопасных объектах: монография. М.: РГСУ, 2017. 298 с.

42. Рыбин А.А. Проблемы надлежащего обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации опасного производственного объекта // Студенческий форум: электрон. научн. журн. 2022. № 33(212). URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/212/117879> (дата обращения: 01.03.2023)/

43. Ситков М. А. Обеспечение пожарной безопасности в российской федерации: проблемы административно-правового регулирования // Символ науки. 2020. № 6. [Электронный ресурс] : Электронный журнал. URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 03.12.2022).

44. Сметанкина Г. И., Романченко С. А. Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности общественных зданий // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. № 1 (7).

45. Смирнов С.Н. Противопожарная безопасность. М.: ДиС, 2020. 144 с.

46. Собурь С. В. Пожарная безопасность предприятия: Курс пожарно-технического минимума: Учебно-справочное пособие. М.: ПожКнига, 2017. 480 с.

47. Соломин В. П. Пожарная безопасность: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 224 с.

48. СП 3.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Приказ МЧС РФ от 25.03.2009 № 173 URL: [https://34.mchs.gov.ru/uploads/resource/2021-09-01/13-2-1-3-svody-pravil\\_16305053711445279639.pdf](https://34.mchs.gov.ru/uploads/resource/2021-09-01/13-2-1-3-svody-pravil_16305053711445279639.pdf). (дата обращения: 15.02.2023).

49. Сравнение программ для расчета пожарного риска [Электронный ресурс] : Расчет пожарного риска URL: <https://propb.ru/articles/blog-servisa-fabrika-raschetov/sravnienie-programm-dlya-rascheta-pozharnogo-riska-chast-1/> (дата обращения: 02.04.2023).

50. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ. URL: [baz.garant.ru](http://www.garant.ru). (дата обращения: 15.02.2023).

51. Технологии техносферной безопасности [Электронный ресурс] : Интернет-журнал Выпуск № 2 (72), 2017. URL: <http://academygps.ru/ttb>. (дата обращения: 15.02.2023).

52. Цвиркун А. Д., Резчиков А. Ф., Самарцев А. А., Иващенко В. А., Кушников В. А., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю. Математическая модель динамики развития пожара в помещениях // УБС. 2018. № 74. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 19.12.2022).

53. Федоров В.С. Основы обеспечения пожарной безопасности. М.: АСВ, 2016. 176 с.

54. Щапова А. Е. Методика обеспечения пожарной безопасности в библиотеке // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. № 8.

55. Blue Younder TSFresh [Электронный ресурс] : URL: <https://github.com/blue-yonder/tsfresh> (дата обращения: 05.02.2023).

56. Hans Chris. Elastic net regression modeling with the orthant normal prior // Journal of the American Statistical Association 106.496 (2011): 1383-1393.

57. Hima Suresh, Dr. Kumudha Raimond mining association rules from time series data using hybrid approaches // International Journal Of Computational En-

gineering Research (ijceronline.com). [Электронный ресурс] : URL: [http://www.ijceronline.com/papers/Vol3\\_issue3/AD03301810188.pdf](http://www.ijceronline.com/papers/Vol3_issue3/AD03301810188.pdf) (дата обращения: 18.02.2023).

58. Rob J Hyndman, George Athanasopoulos Forecasting: principles and practice // OTexts, 2014. [Электронный ресурс] : URL: <https://www.otexts.org/fpp> (дата обращения: 15.02.2023).

59. Rob J. Hyndman, Yeasmin Khandakar Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R // Journal of Statistical Software (www.jstatsoft.org). [Электронный ресурс]: URL: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v027i03> (дата обращения: 15.12.2022).

60. Troitzsch J.H. Fires, statistics, ignition sources, and passive fire protection measures. J. Fire Sci. 2016, 34, 171-198.