

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) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Иновационные технологии пожаротушения: анализ преимуществ и практика применения

Обучающийся

В.Е. Камышев
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель
Консультант

к.т.н. А.В. Краснов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Содержание

Введение.....	3
Термины и определения	10
Перечень сокращений и обозначений.....	11
1 Анализ современных технологий пожаротушения	12
1.1 Анализ технологий тушения пожаров на промышленных объектах и в общественных зданиях.....	12
1.2 Практические аспекты применения технологий пожаротушения	30
2 Инновационные технологии пожаротушения.....	39
2.1 Анализ инновационных технологий пожаротушения.....	39
2.2 Разработка проекта внедрения инновационной технологии пожаротушения	49
3 Экспериментальная апробация внедрения инновационной технологии пожаротушения.....	64
3.1 Результаты внедрения инновационной технологии пожаротушения на АО «АвтоВАЗ»	64
3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации	70
Заключение	78
Список используемых источников.....	81

Введение

Актуальность инновационных технологий пожаротушения обусловлена растущей сложностью и разнообразием пожарных опасностей в современном мире, а также изменениями в характере этих опасностей, связанными с урбанизацией, ростом промышленности, изменением климата и деятельностью человека. С ростом плотности населения, массовым строительством и активным использованием высокотехнологичных материалов вопрос эффективного и быстрого реагирования на пожары становится особенно актуальным. Инновационные технологии пожаротушения открывают новые возможности для повышения эффективности пожаротушения, значительного сокращения временных, материальных и человеческих затрат на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций, а также существенного уменьшения материального ущерба, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов.

Современные технологии пожаротушения направлены на улучшение качества защиты, сокращение времени реагирования и снижение воздействия на окружающую среду. Эти технологии включают использование дронов, робототехнических систем, автоматических систем обнаружения угроз и внедрение экологически безопасных огнетушащих веществ. Например, дроны, оснащенные искусственным интеллектом, могут не только обнаруживать пожары на ранней стадии, но и принимать меры по их тушению в труднодоступных местах, где традиционные методы были бы неэффективны или невозможны. Инновационные подходы к пожаротушению играют ключевую роль в создании устойчивых и безопасных условий жизни для людей, что делает их неотъемлемой частью современных стратегий защиты и предотвращения угроз.

Объект исследования – система пожарной безопасности на промышленном предприятии.

Предмет исследования – инновационные технологии пожаротушения.

Цель исследования – повысить эффективность технологии пожаротушения путем применения беспилотных летающих аппаратов с камерами высокого разрешения, тепловизорами и средством первичного пожаротушения.

Гипотеза исследования заключается в том, что повышение эффективности пожаротушения можно добиться, если будут:

- проанализированы существующие технологии пожаротушения на промышленных объектах и в общественных местах, их технические характеристики, достоинства и недостатки, выполнен сравнительный анализ эффективности применения;

- исследованы практические аспекты использования различных технологий пожаротушения, представлена статистика по применению, проанализированы проблемы практического применения различных технологий;

- выполнен поиск инновационных технологий пожаротушения по патентам на изобретения и научно-техническим публикациям, произведен анализ сущности, достоинств и недостатков, представлены описания, оценка возможности и проблемы внедрения инновационных технологий на практике;

- разработан подход интеграции беспилотного летательного аппарата с существующими технологиями пожаротушения

- представлен проект по внедрению инновационной технологии пожаротушения, спрогнозированы достигаемые положительные эффекты;

- проанализированы результаты внедрения, рассчитаны затраты на внедрение оборудования, технологий и усовершенствованного метода тушения пожара, сделан вывод о рентабельности внедрения и сроке окупаемости.

Задачи исследования:

- проанализировать существующие технологии тушения пожаров на промышленных объектах и общественных зданиях;

- провести исследование практических аспектов применения технологий пожаротушения;

- проанализировать инновационные технологии пожаротушения;
- разработать подход интеграции беспилотного летательного аппарата с существующими технологиями пожаротушения;
- разработать проект внедрения инновационной технологии пожаротушения;
- проанализировать и оценить результаты внедрения методов защиты от пожара на объекте;
- проанализировать и оценить эффективность предлагаемых мероприятий.

Теоретико-методологическую основу исследования составили:

- статистические данные по пожарам и их последствиям, по эффективности применения дронов для обнаружения и мониторинга пожаров в труднодоступных районах;
- системный подход, позволяющий оптимизировать процессы обнаружения возгораний и их локализации с использованием инновационных технологий пожаротушения;
- аналитические данные по результативности использования инновационных технологий в системе пожаротушения;
- положение о порядке эксплуатации беспилотных летательных аппаратов в условиях промышленных пожаров;
- регламент проведения испытаний и внедрения беспилотных систем в пожарных подразделениях;
- требования стандарта к автономности, техническим характеристикам и программному обеспечению дронов для обнаружения пожаров.

Основой для данного исследования послужили современные подходы к разработке автономных инновационных систем и установок пожаротушения, а также внедрение и применение технологий искусственного интеллекта для сбора, обработки данных и нормативно-правовая база, регламентирующая использование таких систем в Российской Федерации. Кроме того, были

использованы данные о влиянии инновационных систем пожаротушения на сокращение времени обнаружения, реагирования и предотвращения распространения огня. Результаты производственного контроля показали эффективность внедрения инновационных систем пожаротушения на крупных промышленных объектах и на природных территориях.

Для достижения цели исследования и решения ключевых задач в работе используются следующие методы исследования:

- аналитический метод. На основе изучения научной литературы, статей в Интернете, нормативных документов и технических отчетов проводится анализ современных технологий пожаротушения.
- метод сравнительного анализа. Эффективность разрабатываемой технологии сравнивается с существующими решениями;
- метод патентного поиска. Изучение зарегистрированных патентов и свидетельств об авторском праве в области пожаротушения позволяет выявить передовые технологии, оценить их уровень новизны и определить, какие из них могут быть адаптированы для разработки инновационной системы;
- прогностический метод. Используется для прогнозирования развития технологий в области пожаротушения на основе анализа тенденций, а также для оценки долгосрочных последствий внедрения предлагаемой инновационной системы;
- метод экономической оценки. Оцениваются затраты на внедрение и эксплуатацию новой технологии, а также потенциальные экономические выгоды, связанные со снижением ущерба от пожаров и эксплуатационных затрат.
- метод системного анализа. Комплексный подход к изучению проблемы, который объединяет результаты всех предыдущих методов, позволяя сделать выводы о целесообразности внедрения предлагаемой технологии и ее потенциале для масштабирования.

Опытно-экспериментальная база исследования. Работа осуществлялась на базе НТЦ «Промышленной и экологической безопасности» в Федеральном

государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования Тольяттинский государственный университет.

Научная новизна исследования заключается в разработке и обосновании подходов к интеграции инновационных технологий пожаротушения в существующую инфраструктуру мониторинга и ликвидации пожаров на промышленном объекте.

Теоретическая значимость исследования заключается в проведении комплексного анализа существующих инновационных технологий пожаротушения, выявлении их сильных и слабых сторон, а также в изучении перспектив объединения систем пожаротушения с технологиями искусственного интеллекта, большими данными и географическими информационными системами. Эти аспекты подчеркивают, что исследование не только обобщает существующие данные, но и предлагает новое решение в области инновационных технологий пожаротушения.

Практическая значимость исследования заключается в

- возможности применения полученных результатов для совершенствования инфраструктуры противопожарных технологий, а именно использования беспилотных летательных аппаратов, способных обнаруживать источники пожара и осуществлять первоначальное тушение;
- проведении анализа пожарной опасности с использованием искусственного интеллекта на базе FireNet, который является инновационной вспомогательной технологией к основной системе пожаротушения.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечиваются адекватностью исходной теоретической и методологической базы, использованием теоретических методов исследования, соответствующих проблеме, предмету, цели и задачам исследования.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в анализе нормативной и локальной документации, анализе инновационных систем пожаротушения, также автором рассчитаны затраты на внедрение

оборудования, технологий и усовершенствованного метода тушения пожара, сделан вывод о рентабельности внедрения и сроке окупаемости.

Апробация и внедрение результатов работы велись на протяжении всего исследования. Результаты докладывались на IX Международной научно-практической конференции «Молодой исследователь 2024», состоявшейся 5 декабря 2024г. в городе Пенза.

На защиту выносятся:

- результаты анализа существующих технологий пожаротушения на промышленных объектах и общественных зданиях, которые показали, что одной из экологичных и безопасных к здоровью человека является порошковый тип пожаротушения;
- результаты исследования практических аспектов применения технологий пожаротушения показали, что интеллектуальные технологии управления пожаротушения помогают оптимизировать использование ресурсов и улучшить общую безопасность объекта;
- результаты анализа инновационных технологий пожаротушения показывают, что использование современных решений позволяет значительно повысить эффективность ликвидации возгораний, минимизировать ущерб и повысить безопасность объектов;
- результаты подхода интеграции технологии пожаротушения демонстрируют возможность объединения БПЛА и стационарных средств для достижения максимальной эффективности при борьбе с огнем;
- результаты проекта внедрения инновационной технологии пожаротушения подтверждают, что новые методы и технические решения позволяют ускорить процесс тушения пожаров и снизить затраты на их ликвидацию;
- результаты оценки внедрения методов защиты от пожара на производственном объекте свидетельствуют о повышении уровня безопасности, сокращении вероятности возникновения возгораний и минимизации ущерба при чрезвычайных ситуациях;

– результаты анализа и оценки эффективности предлагаемых мероприятий указывают на необходимость комплексного подхода, учитывающего современные технологии и стандарты противопожарной защиты.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, содержит рисунки и таблицы, список использованной литературы. Основной текст работы изложен на 85 страницах.

Термины и определения

В работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Дрон — беспилотный летательный аппарат, который способен автономно перемещаться в воздухе и не требует непосредственного пилотирования.

Нейросеть — это тип машинного обучения, при котором компьютерная программа имитирует работу человеческого мозга.

Огнетушащие вещества - вещества, обладающие физико-химическими свойствами, позволяющими создать условия для прекращения горения;

Патент — охранный документ, удостоверяющий исключительное право, авторство и приоритет изобретения, полезной модели, промышленного образца либо селекционного достижения.

Пожар - неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Пожарная безопасность - состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров.

Система обеспечения пожарной безопасности - совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их тушение и проведение аварийно-спасательных работ

Требования пожарной безопасности - специальные условия социального или технического характера, установленные в целях обеспечения пожарной безопасности законодательством Российской Федерации, нормативными документами или уполномоченным государственным органом.

Перечень сокращений и обозначений

АУП – автоматическая установка пожаротушения

БПЛА – беспилотный летательный аппарат.

ГВП – генераторы пены высокой кратности

ГЖ – горючие жидкости

ГОВА – генератор огнетушащего аэрозоля

ГОТВ – газовые огнетушащие вещества

ИИ – искусственный интеллект.

ЛВЖ – легко воспламеняющаяся жидкость

ОП – огнетушащий порошок

ОТВ – огнетушащее вещество

СМПУ – самоходный мобильный пункт управления

СОУЭ – система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

ТРВ – тонкораспыленная вода

ФИПС – Федеральный Институт Промышленной Собственности.

ЧС – чрезвычайная ситуация.

1 Анализ современных технологий пожаротушения

1.1 Анализ технологий тушения пожаров на промышленных объектах и в общественных зданиях

На протяжении всей истории пожары создавали значительные трудности для людей и наносили ущерб окружающей среде. Однако благодаря научно-техническому прогрессу, промышленным технологиям и системам пожаротушения людям удалось значительно сократить ущерб, наносимый пожарами.

«Система пожаротушения определяется как «комплекс взаимосвязанных технических средств, предназначенных для локализации и тушения пожара на конкретном объекте». Этот метод защиты объектов от пожара считается наиболее эффективным. Так как другие средства пожаротушения (такие как пожарный гидрант или огнетушитель) требуют активного участия человека в тушении пожара, в то время как системы пожаротушения работают автономно, тем самым защищая жизнь человека от опасности» [32].

«При проектировании и установке систем пожаротушения на предприятиях, промышленных объектах или в местах массового скопления людей необходимо иметь ввиду следующие факторы: характер основных средств и материальных ценностей, имеющих на объекте, конструктивные особенности зданий и сооружений, климатические условия региона, а также наличие людей в помещениях. Только путем анализа и учета всех вышеперечисленных факторов можно гарантировать высокий уровень противопожарной защиты объекта с помощью правильно подобранной системы пожаротушения» [35].

Для эффективного обнаружения, предотвращения и тушения пожаров на сегодняшний день используются разнообразные технологии, каждая из которых обладает своими уникальными особенностями и сферой применения,

классификация данных технологий по видам представлена на рисунке 1, что позволяет лучше понять их принципы работы и область использования.



Рисунок 1 - Виды установок пожаротушения [35]

Рассмотрим вышеизложенные технологии более подробно, выделив их достоинства и недостатки:

«Пожаротушение специальным газом: принцип действия этого типа основан на введении газа в пространство с открытым пламенем, что значительно снижает количество кислорода, необходимого для поддержания реакции горения, в результате чего химическая реакция горения ослабевает и полностью прекращается» [28].

«В соответствии с нормами установки автоматических систем пожаротушения, в них могут использоваться следующие ГОТВ:

- двуокись углерода;
- различные хладоны;
- азот, аргон, фтор и соединения на их основе» [11].

Некоторые разновидности ГОТВ нельзя применять на объектах с массовым или постоянным пребыванием людей (например, опасную для жизни двуокись углерода). В этом случае используются безопасные виды хладонов, но стоит отметить, что они увеличивают цену таких систем газового пожаротушения.

«Газовые системы пожаротушения классифицируются по способу хранения ГОТВ и по способу тушения:

- в зависимости от способа хранения газового огнетушащего вещества существует два типа систем: централизованная, в которой для хранения используются баллоны, установленные в отдельном помещении, а газ подается в защищаемые помещения по трубопроводам; и модульная, в которой газовое огнетушащее вещество хранится в модулях, расположенных непосредственно в защищаемых помещениях. Модуль газового пожаротушения представляет собой комбинацию баллона для хранения газового огнетушащего вещества под давлением или в сжиженном виде и устройства отсечки и выпуска;

- в зависимости от метода тушения они подразделяются на два типа: объемные газовые системы пожаротушения создают среду, неблагоприятную для продолжения реакции горения во всем объеме защищаемого помещения, а локальные газовые системы пожаротушения предназначены для защиты отдельного объекта (например, дорогостоящего оборудования)» [9].

«Благодаря использованию современных технологий, системы газового пожаротушения обладают рядом важных преимуществ:

- относительная безопасность. Модули газового пожаротушения, заполненные безопасными типами хладагентов (например, фторкетонам), могут использоваться даже в помещениях с большим скоплением людей. Хладагенты не проводят электричество, что позволяет безопасно тушить оборудование под напряжением. Кроме того, системы газового пожаротушения имеют преимущество в том, что не оказывают вредного воздействия на материалы и

вещества, что означает минимальный риск потери или повреждения имущества во время пожара;

– легкая очистка помещений при срабатывании автоматической системы пожаротушения. Газ не оставляет следов на поверхностях и может быть удален путем усиления вентиляции или проветривания помещений».

Волкова С.Н. и Маркова Л.Ю. в работе: «Газовое пожаротушение как один из видов систем противопожарной защиты» выделяют ряд преимуществ в системах газового пожаротушения, а именно: «системы газового пожаротушения применяются для защиты различных объектов от крупных предприятий до отдельных помещений. Монтаж, ремонт и обслуживание систем газового пожаротушения гораздо легче по сравнению с другими видами», «...в отличие от воды, пены или порошка, газовые огнетушащие вещества распространяются равномерно по всему объему защищаемого помещения» [3]. Использование данного типа систем пожаротушения на предприятии гарантирует локализацию и тушение возгораний под корпусами оборудования, на уровне пола под стеллажами, на потолке в вентиляционных каналах и в других труднодоступных местах.

Описав преимущества, необходимо отметить и недостатки газовых систем пожаротушения, а именно их высокую цену и низкую эффективность при тушении тлеющих веществ: волокнистых, сыпучих и пористых материалов. Однако некоторые материалы не поддаются тушению углекислым газом и соединениями азота, к ним предъявляются высокие требования по скорости эвакуации и повышенные требования по герметичности.

Далее рассмотрим тушение пожара с помощью специальной пены. Принцип тушения пожара с помощью огнетушащей пены заключается в следующем: состав пены препятствует попаданию кислорода к горючим веществам, предотвращая их возгорание. «Пенотушащие системы в основном используются в нефтехимической и химической промышленности для тушения пожаров, связанных с горючими жидкостями и газами в резервуарах, горючими веществами и нефтепродуктами, расположенными как внутри, так и снаружи

зданий, а также в ангарах для самолетов, складах растворителей или спиртов. Спринклерные системы пожаротушения используются для защиты помещений в локальных зонах, расчетной площади объекта, оборудования, а также резервуаров с легковоспламеняющимися жидкостями, отдельного оборудования и трансформаторов» [17].

Разработка пенных систем пожаротушения основана на технологии комбинированной подачи пены низкой и средней вспениваемости. Эта технология уже хорошо известна и проверена многолетней эксплуатацией с высокими показателями эффективности, что позволило закрепить бренд Purga. За последние 5-10 лет они претерпели радикальную модернизацию, в результате чего появился новый тип пневмомеханической пены, основанный на запатентованной технологии, которая отличается по своей структуре, вязкости, диспергируемости, реологическим, тиксотропным и другим свойствам от всех ранее известных пен на основе углеводородных пенообразователей. Эта пена получила название «гибридная пена».

Гибридная пена представляет собой сложную многокомпонентную структуру, состоящую из пузырьков с различной степенью множественности, от низкой до высокой. Отличительной особенностью этой пены является то, что в областях повышенной множественности образуются утолщенные каналы Гиббса-Плато, придающие материалу особые свойства. Благодаря смешиванию неоднородных пузырьков эта структура демонстрирует исключительную стойкость к высоким температурам, что позволяет ей сохранять свой объем без значительных повреждений.

Этот эффект обусловлен синергетическим взаимодействием нескольких ключевых процессов: интенсивным охлаждением, блокированием доступа кислорода путем насыщения зоны горения водяным паром, снижением концентрации горючих газов и изоляцией теплопередачи. Сочетание этих факторов не только снижает скорость химических реакций, но и способствует постепенному погасанию пламени при достижении критической температуры

погасания. Решающую роль в обеспечении эффективности гибридной пены играет высокая степень ее дисперсии.

Современные пенные системы пожаротушения широко используются для защиты стратегически важных объектов, включая транспортную инфраструктуру, промышленные зоны, складские комплексы и нефтехимические предприятия. Пена обладает высокой степенью покрытия, образуя плотный защитный слой, который препятствует попаданию кислорода в зону горения.

«В отличие от воды, которая быстро испаряется под воздействием высоких температур, пена обеспечивает длительный эффект благодаря своей низкой плотности и высокой адгезии к горящим поверхностям. Эти свойства позволяют использовать пену для тушения жидких углеводородов и других горючих веществ.

Пенотушащие системы отличаются от традиционных водяных систем своей конструкцией и дополнительными элементами. Эти системы оснащены не только трубопроводами, насосами, распылителями, сигнализацией и блоком управления, но и пеногенераторами, которые состоят из дозирующих устройств и смесителей, в которых вода смешивается с пенообразующей жидкостью».

По кратности пены установки классифицируются следующим образом:

- низкая кратность (до 20 единиц) - обеспечивает устойчивый защитный слой, но тушение занимает больше времени;
- средняя кратность (20–100 единиц) - баланс между скоростью тушения и плотностью покрытия;
- высокая кратность (более 200 единиц) - применяется при масштабных пожарах, быстро заполняя объём и изолируя очаг возгорания [39].

Пенообразовательные системы не могут функционировать без дозаторов, которые регулируют смешивание воды и пенообразователя. Различные типы дозаторов определяют стабильность системы, качество пены и ее стоимость. Ниже представлены основные варианты:

- трубка Вентури – компактное устройство, отличающееся простой конструкцией. Однако оно не способно поддерживать постоянное соотношение пены и может вызывать скачки давления в магистральном трубопроводе;
- дозирующий бак – обеспечивает равномерную подачу пены с заданными характеристиками, но имеет громоздкие размеры. Используется на предприятиях, складах и других крупных объектах;
- дозатор с электродвигателем – наиболее технологичный вариант, позволяющий точно контролировать состав и соотношение пены. Однако такие устройства требуют сложного обслуживания и значительно увеличивают стоимость системы.

Конструктивные особенности распылительных устройств в пенотушащих системах позволяют разделить их на несколько основных типов:

Спринклерные системы. Подобно водяным системам, спринклерные системы не содержат в трубопроводе постоянно огнетушащее вещество. Подача воды, предварительно смешанной с пенообразователем, активируется при срабатывании датчиков. Процесс вспенивания происходит непосредственно при выходе смеси из спринклеров.

Спринклерные системы. Они оснащены специальными тепловыми запорными элементами, которые реагируют на повышение температуры. Давление в системе поддерживается, и пена образуется после срабатывания теплового запора, который инициирует выпуск смеси воды и пенообразователя.

Генераторы воздушно-механической пены (ГВП). В этих системах пена формируется в отдельной установке и уже в готовом виде поступает в трубопровод для дальнейшего распределения.

К числу основных достоинств пенных установок относятся:

- безопасность для людей – компоненты пены нетоксичны и не оказывают вредного воздействия на здоровье;
- экономичное потребление воды – по сравнению с традиционными методами пожаротушения требуется меньше жидкости;

- возможность регулирования коэффициента вспенивания и гибкость в настройке его распределения в зависимости от условий эксплуатации.

Однако существуют определенные ограничения, связанные с водяными огнетушащими веществами:

- непригодность для использования при низких температурах, что ограничивает их применение в холодильных камерах;
- недопустимость использования для тушения оборудования под напряжением;
- сложность установки и обслуживания из-за систем с большим количеством компонентов, требующих регулярного осмотра [1].

Пена является эффективным огнетушащим веществом, но традиционные методы на водной основе по-прежнему играют важную роль. Тушение пожара с помощью воды осуществляется с помощью нескольких механизмов:

- метод водяного охлаждения. Когда капли жидкости вступают в контакт с пламенем, они поглощают тепло, снижая температуру горячей поверхности и ослабляя интенсивность реакции горения;
- воздушно-водное тушение. В таких системах сначала через спринклерные форсунки подается поток воздуха, а затем вода, что улучшает распределение жидкости в зоне пожара.

Принцип действия заключается в том, что при попадании воды в зону пожара одновременно решаются несколько задач. Во-первых, резкое понижение температуры предотвращает дальнейшее распространение огня. Во-вторых, водяной пар образует барьер, ограничивающий доступ кислорода, тем самым останавливая процесс горения.

С древних времен вода была основным средством тушения пожаров, но современные технологии позволили значительно повысить эффективность этого метода на различных объектах.

Водяные системы пожаротушения классифицируются по типу спринклеров как системы затопления или спринклерные системы. Рассмотрим каждый тип подробнее. Дождевые системы представляют собой комплексы

открытого типа, в которых вода начинает поступать в спринклеры только после получения сигнала от пожарных извещателей. Эти системы известны как «сухотрубные», поскольку трубы не заполнены водой постоянно. Преимуществом является возможность вручную отключить систему в случае ложной тревоги, что предотвращает ненужное затопление помещений. Спринклерные системы также подходят для эксплуатации при температурах ниже нуля [43].

В спринклерных системах спринклеры оснащены герметичными термозамками (например, стеклянными колбами, заполненными термочувствительной жидкостью). При достижении критической температуры колба разбивается, открывая выход для воды. Главным преимуществом является локализованная активация — активируется только спринклер, расположенный в зоне пожара, а не вся система. Это позволяет сэкономить ресурсы и уменьшить ущерб от воды.

В отличие от традиционных водяных систем, системы тонкораспыленной воды (ТРВ) работают по другому принципу. Вместо струи жидкости они создают водяной туман, который представляет собой смесь мелких капель и газа. Эта технология значительно повышает эффективность тушения при минимальном потреблении воды. Существует два типа систем ТРВ:

- системы с вытесняющим газом — вода и газ хранятся отдельно, и при срабатывании датчиков они смешиваются и подаются в трубопровод под давлением;
- системы с заранее подготовленными огнетушащими веществами — смесь уже находится в резервуарах и подается немедленно, что сокращает время реагирования.

Преимуществом систем тонкого распыления воды является их безопасность и доступность по сравнению с другими технологиями. Водяные системы пожаротушения значительно дешевле, но имеют ряд недостатков. Например, для установки системы пожаротушения на водной основе требуется прокладка труб, но следует отметить, что это не всегда возможно; под

напряжением находящееся оборудование и некоторые виды веществ не могут быть потушены водой, например: топливо, щелочные металлы и другие химические соединения; для оборудования и обслуживания насосной станции пожаротушения требуется отдельное помещение, которое может быть не предусмотрено на объекте.

Следующий исследованный тип, аэрозольное пожаротушение, предполагает «...подачу специально подготовленного аэрозоля (тумана) в очаг пожара с образованием облака, которое не рассеивается в течение как минимум 15 минут после активации генератора аэрозоля для тушения пожара. Этого времени достаточно для понижения температуры пламени, уменьшения тепловыделения и тушения пожара» [5]. После анализа технологий пожаротушения можно сделать вывод, что аэрозольные системы пожаротушения превосходят другие технологии пожаротушения благодаря своим преимуществам. Они обеспечивают высокую надежность с точки зрения пожаротушающей способности при низкой стоимости на кубический метр защищаемого пространства. Аэрозолеобразующий пожаротушающий состав в результате самовозгорания выделяет пожаротушающий аэрозоль, который «...состоит из смеси высокодисперсных твердых частиц, частиц соединений щелочных, редкоземельных металлов, N_2 , CO_2 , H_2O » [7]. В настоящее время для производства аэрозольных средств пожаротушения используются аэрозольные генераторы, которые бывают двух типов: механические и термомеханические. Рассмотрим эти типы подробнее.

Термомеханические генераторы производят конденсационные и механические аэрозоли. Это происходит в результате механического дробления аэрозолеобразующей жидкости при ее подаче в камеру сгорания воздушно-топливной смеси, с последующим испарением, выбросом паров в окружающую среду через сопло распылительного устройства, смешиванием с наружным воздухом, конденсацией и превращением в аэрозоль. Технологии аэрозольного пожаротушения с использованием таких генераторов применяются для защиты

отдельных зон на промышленных и транспортных объектах, в том числе в электрических помещениях.

При срабатывании аэрозольной системы пожаротушения вокруг источника возгорания создаются условия для самозатухания. Это происходит за счет воспламенения аэрозолеобразующего заряда и выброса мелкодисперсных частиц в защищаемое помещение, которые оседают в виде взвеси в воздухе и на поверхностях. Они вступают в реакцию с молекулами горящего вещества и замедляют процесс горения. Когда генератор аэрозоля перестает работать, тушащее аэрозольное облако в течение определенного времени (20-30 минут) поддерживает необходимую концентрацию, предотвращая повторное возгорание, поскольку запас твердой топливной смеси рассчитан таким образом, чтобы его хватило для поддержания тушащей концентрации аэрозоля в защищаемом помещении.

Аэрозольные системы или ГОА могут работать как автономно, так и в составе автоматических систем противопожарной защиты и пожаротушения. В первом случае каждый модуль запускает процесс тушения отдельно, используя пусковое устройство, установленное на модуле. Это может быть автоматический запуск от пиропатрона или электрической спирали, тепловой запуск от пожарного шнура или непосредственно от источника возгорания, либо механический запуск от капсулы, содержащей термоактивное вещество.

Аэрозольные генераторы, интегрированные в общую сеть, активируются путем дистанционного управления панелью управления системой пожаротушения, которая получает сигналы от пожарных извещателей.

Аэрозольные системы пожаротушения характеризуются широким диапазоном рабочих температур от -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$, что превышает диапазон следующих систем пожаротушения: водяных, пенных и порошковых систем. Еще одним преимуществом является минимизация риска вторичного повреждения материальных ценностей из-за отсутствия коррозионного воздействия аэрозольных частиц. Конструкция этого типа противопожарной

системы проста, что упрощает установку и обслуживание на промышленных или общественных объектах.

Однако аэрозольные системы имеют ряд недостатков. В процессе генерации аэрозоля температура может достигать 130–500 °С, что может привести к тепловому повреждению окружающих товаров и имущества. Существует риск возгорания в непосредственной близости от генераторов из-за попадания на поверхность несгоревших частиц твердого топлива. Кроме того, аэрозольные системы не предусматривают возможность повторной зарядки, в результате чего при активации устройства требуется полная замена компонентов. После активации системы необходимо провести тщательную влажную уборку для удаления остатков аэрозоля.

Установки порошкового пожаротушения подразделяются на установки кратковременного и импульсного действия в зависимости от продолжительности подачи ОП. Они предназначены для тушения пожаров классов: А (за исключением материалов, способных гореть без доступа воздуха; горючих материалов, склонных к самовозгоранию и тлеющих внутри слоя (хлопок, травяная мука, зерно и т.п.); изделий из древесины при высоких значениях пожарной нагрузки; В; С (кроме водорода) и электроустановок под напряжением

Огнетушащий порошок – «...это мелко измельченная минеральная соль (карбонат, бикарбонат, хлорид натрия или калия, а также другие химические соединения), в которую добавляют элементы, препятствующие слеживанию смеси и образованию комков» [8].

Когда огнетушащая смесь вступает в контакт с источником возгорания, частицы порошка нагреваются и испаряются, образуя облако газа и плотную корку. Этот процесс препятствует поступлению кислорода к источнику возгорания, что приводит к тушению пожара.

Порошковые системы пожаротушения широко используются на таких критически важных объектах, как склады легковоспламеняющихся жидкостей, производственные помещения и архивы, где хранятся документы и материалы,

которые нельзя тушить водой. Эти системы обеспечивают эффективное тушение пожара, сводя к минимуму риск повреждения материально-технических средств и имущества и предотвращая распространение огня.

Классификация автоматических порошковых систем пожаротушения основана на методах распределения тушащего порошка. Модульные порошковые системы пожаротушения могут обеспечивать различные типы распределения порошка в защищаемом пространстве. Первый тип — объемное распределение, при котором тушащее вещество покрывает весь объем помещения, обеспечивая равномерное покрытие и максимальное снижение концентрации кислорода. Второй тип — локальное распределение, при котором порошок подается в определенную зону, например, на стеллаж или оборудование, что позволяет быстро локализовать и потушить пожар.

Эти системы играют ключевую роль в обеспечении пожарной безопасности на критически важных объектах, где традиционные методы пожаротушения могут быть неэффективными или нежелательными. Использование порошковых систем пожаротушения значительно снижает риск возникновения и распространения пожаров, обеспечивая надежную защиту имущества и предотвращая возможные человеческие жертвы.

Отметим ряд преимуществ модулей порошкового пожаротушения. Эта система недорогая и отличается простотой конструкции и монтажа модульных систем. Порошок для тушения пожара может храниться в течение длительного времени и относительно прост в обслуживании. Стоит отметить, что системы порошкового пожаротушения универсальны и могут работать в достаточно широком диапазоне температур, а именно от -50 до +50 °C.

Однако, помимо своих преимуществ, эта технология пожаротушения имеет существенные недостатки, которые необходимо учитывать при ее использовании. Основная проблема заключается в ее ограниченной эффективности при тушении горения. Порошок действует исключительно на поверхность, на которую он наносится, и не может проникнуть в труднодоступные места, такие как пространства под большими корпусами

оборудования или в толщу тлеющих материалов, включая деревянные опилки, текстиль и бумагу. Это означает, что очаги пожара могут оставаться активными, что потенциально увеличивает риск повторного возгорания.

Кроме того, использование порошковых систем пожаротушения представляет высокий риск для здоровья человека и окружающей среды. В процессе распыления порошка выделяются токсичные газы, которые могут представлять серьезную опасность для дыхательных путей и кожи. Кроме того, на горячих поверхностях порошковая корка может образовывать плотный слой, который требует немедленного удаления, чтобы предотвратить дальнейшее повреждение оборудования и материалов.

В зависимости от типа конструкции механизма, существуют следующие разновидности систем пожаротушения:

- модульная система пожаротушения;
- агрегатные установки пожаротушения;
- микрокапсулированные системы пожаротушения.

Эффективность и функциональность систем пожаротушения в значительной степени зависят от типа огнетушащего вещества, используемого для тушения пожара. В зависимости от конструктивных особенностей в качестве огнетушащих веществ могут использоваться вода, пена, инертные газы, порошковые составы или аэрозоли. Выбор огнетушащего вещества является важным этапом проектирования здания, поскольку он определяет эффективность и надежность системы пожаротушения.

Многие автоматические системы пожаротушения требуют наличия специальных помещений для хранения огнетушащих веществ размещения оборудования для контроля и управления системой. В некоторых случаях устанавливаются трубопроводы для подачи огнетушащих веществ непосредственно к защищаемым объектам.

Таким образом, комплексная оценка всех аспектов проектирования и эксплуатации систем пожаротушения является ключевой задачей для обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы: разнообразие систем пожаротушения, представленных на рынке, предоставляет широкие возможности для выбора оптимального варианта для любого объекта. При проектировании систем пожарной безопасности необходимо учитывать ряд ключевых факторов, таких как характер пожарной нагрузки, наличие людей на объекте, герметичность помещений и другие параметры, обеспечивающие надежную защиту имущества и жизни людей от воздействия огня. Водяные и пенные системы пожаротушения должны быть интегрированы в проект здания на этапе проектирования, в то время как модульные порошковые или газовые системы пожаротушения могут быть установлены в уже построенных и даже введенных в эксплуатацию зданиях или отдельных помещениях.

Если основной целью является не только защита помещений от пожара, но и обеспечение высокой безопасности инвентаря, установка автоматической газовой системы пожаротушения представляется наиболее экономически эффективным решением, несмотря на высокую стоимость таких систем. В долгосрочной перспективе проектирование и установка газовой системы пожаротушения должны рассматриваться как стратегические инвестиции в безопасность людей и сохранение имущества.

Газопорошковые системы пожаротушения используются для объемного или локального тушения пожаров классов А, В, С и электрооборудования без ограничений по пробивному напряжению. Газопорошковая смесь не оказывает негативного воздействия на защищаемые материалы, оборудование и нефтепродукты, что делает ее безопасной для окружающей среды. Однако следует отметить, что использование таких систем может привести к резкому снижению видимости в защищаемых помещениях, что требует дополнительного внимания при их использовании.

Газопорошковые огнетушительные модули обеспечивают объемное тушение пожара, что принципиально отличается от классических и импульсных порошковых огнетушительных модулей и по своей сути сходно с газовыми и аэрозольными огнетушительными составами. Определяющими характеристиками газопорошкового тушения являются: концентрация

огнетушащего вещества и интенсивность подачи газопорошкового огнетушащего вещества.

Характерной особенностью газопорошкового пожаротушения является его способность достигать тушащего эффекта за счет локального создания тушащей концентрации в зоне возгорания в течение времени, необходимого для тушения источника пожара, которое, согласно экспериментальным данным, составляет примерно 2 секунды. Это фундаментальное свойство делает газопорошковую технологию пожаротушения значительно менее чувствительной к уровню утечки в защищаемом помещении, в отличие от газовых и аэрозольных систем. Таким образом, газопорошковые установки демонстрируют высокую эффективность не только при тушении пожаров в помещениях, но и при локализации пожаров на открытых пространствах и наружных установках, что подтверждается их широким применением в различных отраслях промышленности и инфраструктуре. Сводная информация представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительная таблица систем пожаротушения

Значимые характеристики	Типы пожаротушения						
	Водяное	Пенное	ТРВ	Газовое	Порошковое	Газопорошковое	Аэрозольное
Объёмное тушение	-	+/-	-	+	+/-	+	+
Тушение локально по объёму	-	+	-	+/-	+/-	+	-
Тушение по площади	-	+	+	-	+	+	-
Тушение электроустановок под напряжением	-	-	+/-	+	+	+	+/-
Тушение в помещениях с использованием электроники	-	-	+/-	+	+/-	+/-	+/-
Диапазон эксплуатации -50 +50С	-	-	-	+/-	+	+	+
Воздействие на объекты тушения	-	-	+/-	+	+/-	+/-	+/-
Экологическая безопасность	+	-	+	+/-	+/-	+/-	+/-
Эксплуатационные расходы	+	-	+/-	+	+	+	+
Возможность многократного использования	+	+	+	+	-	-	-
Итого «+»	3	4	7	8	9	9	7

Оказывается, одной из наиболее эффективных систем пожаротушения на сегодняшний день, а также относительно безвредной для окружающей среды и безопасной для здоровья человека, является порошковое пожаротушение. Наименее предпочтительным вариантом является пенотушение, ввиду высокой стоимости огнетушащего вещества по сравнению с другими типами систем пожаротушения, необходимости специальной утилизации, а также того факта, что работающее оборудование подвергается серьезной опасности короткого замыкания.

Проанализировав технологии пожаротушения, которые были известны и проверены годами, стоит обратить внимание на современные инновационные

разработки в области пожаротушения, учитывая развитие предприятий и, соответственно, опасность для человека и окружающей среды.

Роботы стали частью современной жизни: роботы-пылесосы, роботы-посудомоечные машины, а в области пожаротушения роботы стали актуальной технологией, которая «...позволяет безопасно и эффективно тушить пожары без участия человека. Роботизированные технологии активно используются в условиях высокой температуры и задымления, где работа пожарного затруднена» [46]. Наземные роботы оснащены системами дистанционного управления и средствами пожаротушения, такими как водометы и датчики. Современные модели интегрированы с ИИ, что позволяет им самостоятельно анализировать ситуацию и выбирать оптимальные стратегии тушения пожаров..

Отдельно стоит отметить технологии искусственного интеллекта. Они широко используются в анализе и прогнозировании пожаров. «На основе данных о погодных условиях, рельефе местности и растительности искусственный интеллект моделирует возможные пути распространения пожара». Системы анализа данных могут автоматически обнаруживать возгорания на основе тепловых аномалий или дыма, что ускоряет реагирование на чрезвычайные ситуации [29].

Следующим современным достижением являются беспилотные летательные аппараты, или дроны. Это одна из наиболее перспективных областей развития на сегодняшний день. «Дроны оснащены тепловизионными камерами, оптическими камерами и газовыми датчиками для раннего обнаружения пожаров» [50]. Использование БПЛА позволяет осуществлять мониторинг больших территорий, в том числе труднодоступных зон, передавая данные в режиме реального времени для быстрого принятия решений. Некоторые модели дронов предназначены для доставки огнетушащих веществ к источнику пожара.

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод, что в последние годы в системы пожаротушения активно внедряются инновационные технологии, что значительно повышает эффективность тушения пожаров и

минимизирует риски для спасателей. Сочетание проверенных веками огнетушащих веществ с инновационными разработками 21 века сводит к минимуму опасность и риски для материальных, природных и человеческих ресурсов.

1.2 Практические аспекты применения технологий пожаротушения

На протяжении всей истории человечества пожары представляли серьезную угрозу как для жизни людей, так и для окружающей среды. Благодаря постоянному совершенствованию научно-технического прогресса, промышленных технологий и, вместе с этим, систем пожаротушения, людям удалось значительно сократить ущерб, наносимый пламенем. В частности, современные системы пожаротушения позволяют не только быстро обнаруживать пожары, но и тушить их за минимальное время, значительно сокращая масштабы бедствия.

Для проведения детального анализа динамики пожаров на промышленных объектах был проведен тщательный анализ статистических данных за период с 2019 по 2023 год [36]. Полученные результаты систематизированы и представлены в таблице 2, где наглядно продемонстрированы тенденции развития пожарных ситуаций на промышленных предприятиях.

Таблица 2 - Распределение основных показателей обстановки с пожарами за 2019-2023 гг.

Год	Количество пожаров, ед.	Процент от общего кол-ва пожаров	Прямой материальный ущерб, тыс. руб.	Процент от общего ущерба	Погибло, чел	Процент от общего кол-ва погибших
2019	3 546	0,75	2 089 945	11,50	72	0,84
2020	3 438	0,78	7 132 712	34,17	83	1,00
2021	3 589	0,92	1 783 532	10,98	110	1.30
2022	1 949	0,55	3 764 821	20,13	32	0,41
2023	2 168	0,60	4 404 236	19,86	30	0,38

На основании статистических отчетов можно сделать вывод, что с 2019 по 2021 год количество промышленных пожаров оставалось примерно на одном уровне. В отличие от 2022 года, когда количество пожаров сократилось на 45,7% по сравнению с предыдущим годом, что свидетельствует об эффективных инновациях в системе пожаротушения, а также об использовании современных огнестойких материалов, автоматизации производственных процессов и разработке современных систем мониторинга и контроля, позволяющих быстро реагировать на чрезвычайные ситуации. В 2023 году было зафиксировано одно из самых низких показателей по количеству пострадавших и погибших за 5-летний период.

Эфраимов С.А. в статье «Проблемы обеспечения пожарной безопасности в России, возникающие из-за недостаточного оснащения жилых домов средствами предотвращения и тушения пожаров» поднимает проблему контрафакта и фальсификата средств пожаротушения, когда отдельные производители пытаются на чем-то сэкономить, упростить, чтобы быть прибыльным и конкурентноспособным. Нельзя не согласиться с данным фактом, однако выпускается достаточно много сертифицированной продукции надлежащего качества, которая разрабатывается и изготавливается на российских и совместных предприятиях» [44].

Бакулина Е.С. рассматривает антропогенное воздействие на природную среду и технологии обеспечения экологической безопасности при монтаже и эксплуатации комплексных систем, направленные на обеспечение пожарной безопасности. Действительно на экосистеме сказывается негативное влияние продуктов горения: дым, высокотемпературные потоки и много др. Опасность заключается в том, что химический состав изменяется, будь то: температура воздуха, воды и почвы, а также многих других параметров окружающей среды. Однако вредное воздействие можно сократить благодаря выбору биоразлагаемого вещества в борьбе с пламенем для автоматических установок пожаротушения; раздельный сбор бытовых отходов также благоприятно влияет на сокращение вредного воздействия, за счет использования

специальных контейнеров на промышленных площадках, выполнение требований и технологий в области охраны окружающей среды при строительстве по восстановлению природной среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов; по истечении срока службы инженерной системы разрабатываются методы по безопасному выводу её из эксплуатации.

Некоторые авторы противопоставляют автономные установки автоматическим и выделяют их в отдельную группу, но Долговидов А.В., Сабинин С.Ю. и Теребнев В.В. считают, что автономные установки - частный случай АУП [34]. Можем с этим согласиться так как они также включают в себя функцию автоматического срабатывания без участия человека, но с особенностью независимости от внешних ресурсов.

Аэрозольное пожаротушение заключается в следующем- специально подготовленный аэрозоль подается в очаг возгорания, образуя там облако из огнетушащей смеси, которое остается эффективным не менее 15 минут после отработавшего генератора. Эффективность аэрозольного пожаротушения доказана в работе Прохоренко К.В. экспериментально «...при проверке аэрозолеобразующих составов и аэрозольных установок пожаротушения в лабораторных и полигонных условиях» [31].

Существуют следующие способы прекращения горения:

- охлаждение;
- разбавление;
- изоляция;
- химическое торможение реакции.

Классификация вышеизложенных способов представлена в работе Теребнева В.В. и А.В. Подгрушного, а также схематично представлена на рисунке 2. Стоит отметить, что не существует единого способа прекращения горения при воздействии на очаг пожара, процесс тушения имеет комбинированный характер.



Рисунок 2 - Виды способов предотвращения горения [34]

Существует множество способов тушения пожаров, и каждый из них может быть реализован с помощью различных методов или их комбинаций. Например, пена может использоваться для создания изолирующего слоя на поверхности легковоспламеняющейся жидкости, которая подается через слой горючего материала. Также используются пеноподъемники, установленные струи и другие средства.

«На рынке представлено множество систем пожарной сигнализации и пожаротушения, что позволяет выбрать оптимальный вариант для любого объекта. При проектировании учитывается характер пожарной нагрузки, наличие людей и герметичность помещений. Это обеспечивает надежную защиту имущества и людей от пожара.

Водяные и пенные системы должны быть предусмотрены на этапе проектирования здания. Модульные порошковые или газовые системы пожаротушения могут быть установлены в уже построенном здании или отдельном помещении.

Если необходимо не только защитить свои помещения от пожара, но и сохранить материальные активы, наиболее эффективным решением может стать автоматическая система газового пожаротушения. Хотя такие системы дорогостоящие, их стоимость считается инвестицией в безопасность людей и сохранение имущества» [11].

Наиболее распространенной проблемой в области пожаротушения является недостаток подготовки и образования. Не обладая знаниями о правильных методах пожаротушения, люди могут подвергать себя опасности и даже усугублять пожар. Поэтому обучение пожарной безопасности и правильному использованию противопожарного оборудования имеет решающее значение.

В области обучения пожарной безопасности происходят изменения, «...с внедрением виртуальной реальности и других интерактивных технологий для создания реалистичных симуляций пожаров, что позволяет людям безопасно учиться и практиковаться в тушении пожаров» [38].

Эффективная борьба с пожарами — это многогранная задача, в которой задействованы различные факторы, от знаний до продуктов и систем. Быстрая индустриализация и урбанизация в развивающихся странах, а также увеличение площади офисных помещений будут стимулировать рыночный спрос в сегменте коммерческой пожарной безопасности. Ожидается, что рост рынка будет стимулироваться все более широким применением беспроводных технологий в системах пожарной безопасности, увеличением человеческих и материальных потерь в результате пожаров, а также строгими правилами пожарной безопасности. Кроме того, еще одной важной тенденцией, наблюдаемой во всем мире, является выпуск новых продуктов с усовершенствованными техническими характеристиками и сложной конструкцией. Своевременная установка и надлежащее функционирование таких систем будут способствовать спасению жизней в случае пожара.

Ожидается, что применение и использование систем пожаротушения будет стабильно расти по мере развития коммерческих предприятий и

корпораций. Строгие правила общественной безопасности в сочетании с продолжающимся расширением коммерческой базы будут иметь положительное влияние на бизнес-среду для систем пожаротушения.

Август 2022 г. - Firetrace International, поставщик технологий пожаротушения на 35 континентах, открыл представительства в Индии и Китае, чтобы обеспечить поддержку в области пожарной безопасности для этих растущих рынков возобновляемой энергии. Расширение Firetrace означает, что владельцы и операторы получают улучшенный доступ к технологиям пожаротушения компании, которые защищают активы, сообщества и инвестиции в случае пожара на объектах возобновляемой энергетики.

По данным Fireline Corporation, «...Системы пожаротушения, интегрированные со стандартными системами противопожарной защиты, такими как спринклеры и пожарные сигнализации, могут снизить риск гибели людей на 82% и ущерба имуществу на 71% при любом коммерческом пожаре» [49].

Проанализировав общие статистические данные о пожарах и их последствиях за 2019–2023 годы в Российской Федерации, можно сделать вывод о ежегодном снижении количества пожаров [30] (см. табл. 3).

Таблица 3 - Сведения о пожарах и их последствиях в Российской Федерации за 2019-2023 гг.

Год	Наименование показателя	ФГИС ФБД «Пожары» (ведомственная статистика МЧС России)	Сведения о пожарах и их последствиях на объектах и подведомственных территориях федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих самостоятельный учет пожаров и их последствий	Итоги по РФ
2019	Количество пожаров, ед.	471428	112	471547
	Погибло, чел.	8557	9	8568
	Травмировано, чел.	9462	17	9476
	Прямой ущерб, тыс. руб.	18170465	-	18170465
2020	Количество пожаров, ед.	439316	89	439384
	Погибло, чел.	8311	4	8314
	Травмировано, чел.	8414	16	8435
	Прямой ущерб, тыс. руб.	20876501	-	20876501

Продолжение таблицы 3

Год	Наименование показателя	ФГИС ФБД «Пожары» (ведомственная статистика МЧС России)	Сведения о пожарах и их последствиях на объектах и подведомственных территориях федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих самостоятельный учет пожаров и их последствий	Итоги по РФ
2021	Количество пожаров, ед.	390784	94	390829
	Погибло, чел.	8472	3	8474
	Травмировано, чел.	8395	7	8402
	Прямой ущерб, тыс. руб.	16248594	-	16248794
2022	Количество пожаров, ед.	352519	94	352612
	Погибло, чел.	7749	31	7777
	Травмировано, чел.	8148	29	8163
	Прямой ущерб, тыс. руб.	18701209	-	18701209
2023	Количество пожаров, ед.	360841	72	360942
	Погибло, чел.	7816	9	7823
	Травмировано, чел.	8494	12	8507
	Прямой ущерб, тыс. руб.	22179315	-	22179415

Снижение количества пожаров в период с 2019 по 2023 год может быть связано с усилением контроля со стороны надзорных органов, что позволяет объективно оценивать уровень пожарной безопасности как на общественных, так и на промышленных объектах, а также соблюдение законодательных требований в этой области. Еще одним важным фактором является постоянное развитие и внедрение современных технологий в области обнаружения и тушения пожаров. Однако следует отметить, что не все хозяйствующие субъекты готовы интегрировать эти инновационные разработки в свою практику.

Анализ данных, позволяет сделать вывод, что только в 0,01% случаев пожар был потушен исключительно с помощью автоматических систем пожаротушения. Это свидетельствует о том, что большинство современных технологических решений направлено на обеспечение безопасности самих пожарных, а не на полное исключение необходимости их непосредственного участия в процессе тушения пожаров.

Степень исследований в области инновационных систем пожаротушения находится на высоком уровне. Со временем внедряются автоматические

системы пожаротушения, что свидетельствует о развитии этой области. Этот вывод подтверждается статистическими данными: за последние три года на сайте научной библиотеки elibrary было опубликовано более 2500 научных публикаций, на сайте cyberleninka.ru — более 1300 работ, а на сайте Scientific Correspondent — более 450 научных работ. Стоит отметить, что научный журнал «Молодой ученый» довольно часто публикует статьи на тему инновационных технологий, систем и устройств для тушения пожаров».

Вопрос совершенствования нормативно-правового регулирования в сфере пожарной безопасности является актуальной и ключевой задачей для Министерства по чрезвычайным ситуациям России. Благодаря внедрению риск-ориентированного подхода к надзору в сфере пожарной безопасности отменена практика постоянных проверок и система «палочной». Из сферы надзора выведено более 730 тысяч объектов с низким уровнем риска, что составляет более 30% от их общего числа [12]. За последние пять лет общее количество проверок по всем видам надзора сократилось в три раза.

Инновационные системы пожаротушения, несмотря на свой потенциал, сталкиваются с рядом проблем при практическом применении, одной из таких проблем является сложность адаптации современных технологий к реальным условиям чрезвычайных ситуаций. Пожары часто возникают в сложных и труднодоступных местах, где использование новых систем может быть затруднено из-за их технических ограничений. Также возникает вопрос о надежности оборудования, которое должно выдерживать экстремальные температуры, высокую влажность и другие неблагоприятные факторы.

Финансовые аспекты также играют важную роль. Разработка и внедрение инновационных технологий требуют значительных инвестиций, а их обслуживание зачастую обходится дорого. Это может ограничивать распространение таких систем, особенно в регионах с ограниченным бюджетом, не всегда возможно продемонстрировать, что новые технологии обеспечивают достаточный уровень эффективности по сравнению с традиционными методами пожаротушения.

Организационные проблемы включают отсутствие единой системы интеграции новых технологий с существующими методами. Это проявляется в недостаточной координации между службами, что может замедлить реагирование на чрезвычайные ситуации. Кроме того, отсутствие квалифицированных специалистов для работы с инновационным оборудованием и технологиями управления процессами может препятствовать эффективному использованию таких систем.

Правовая сторона также представляет собой значительное препятствие. Отсутствие четких правил использования современных технологий в пожаротушении ограничивает их применение. Это особенно актуально в ситуациях, когда новые технологии могут повлиять на окружающую среду или представлять опасность для людей.

Необходимо также учитывать экологические аспекты. Некоторые инновационные решения могут иметь нежелательные последствия для экосистемы, например, из-за использования химических огнетушащих веществ или высокого энергопотребления. Это поднимает вопрос о балансе между эффективностью новых технологий и их воздействием на природу.

Вывод по разделу 1. Таким образом, инновационные системы пожаротушения обладают большим потенциалом для повышения эффективности тушения пожаров, их практическое внедрение сопряжено с рядом проблем. Решение этих проблем требует междисциплинарного подхода, включающего технические усовершенствования, экономическую поддержку, законодательное регулирование и улучшение подготовки специалистов.

2 Инновационные технологии пожаротушения

2.1 Анализ инновационных технологий пожаротушения

Инновационные технологии пожаротушения играют ключевую роль в обеспечении безопасности людей, имущества и окружающей среды. Для решения проблем в области пожаротушения необходимо использовать передовые технологии управления, которые позволяют эффективно и быстро реагировать на пожары.

Патенты на изобретения в области пожаротушения играют важную роль в обеспечении безопасности и спасении жизней. Они являются результатом научных исследований, инженерных разработок и творческого подхода специалистов, направленных на создание более эффективных и безопасных средств пожаротушения.

Статистика патентов в области пожаротушения позволяет оценить динамику технологического развития в этой сфере, выявить наиболее перспективные направления исследований и определить лидеров в разработке новых методов и средств пожаротушения. Так, согласно сайту Федерального института промышленной собственности (ФИПС), за последние три года было выдано 116 патентов по «Технологиям пожаротушения». Согласно статистике сайта Роспатента, в 2022 году количество поданных заявок осталось примерно на уровне 2021 года. В то же время в 2023 году наблюдалась тенденция к увеличению количества заявок на изобретения, поданных российскими заявителями [42]. Инновационные технологии управления пожаротушением позволяют сократить время реагирования, минимизировать ущерб и повысить эффективность процесса тушения пожара. Рассмотрим некоторые из них на примере патентов.

Передвижная импульсная многоствольная установка порошкового пожаротушения представлена на рисунке 3.

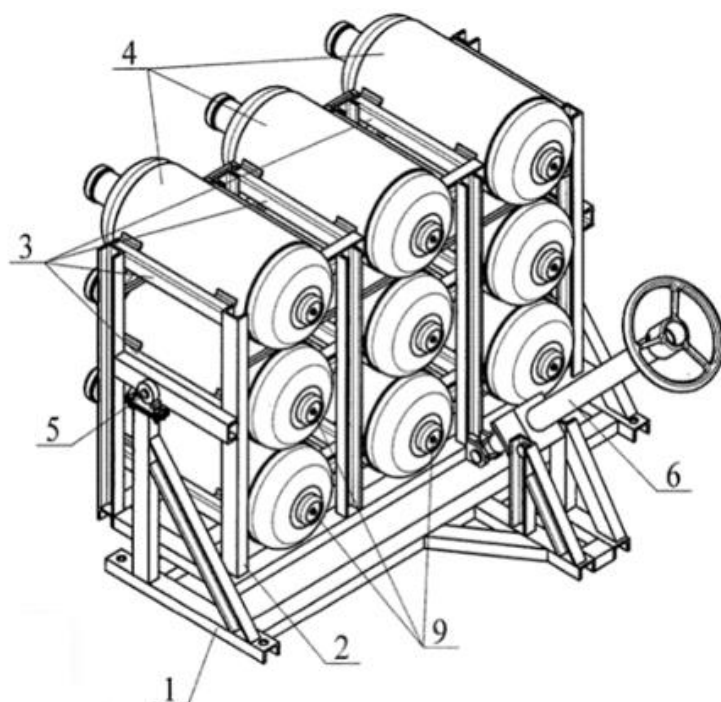


Рисунок 3 - Передвижная импульсная многоствольная установка порошкового пожаротушения [22]

Груздев А.Г., Никитин Д.Н. и Тишков А.Е. излагают, что: «Задачей настоящего изобретения является создание простой в эксплуатации передвижной импульсной многоствольной установки порошкового пожаротушения, позволяющей повысить эффективность, расширить эксплуатационные возможности и удобства, диапазон областей применения в соответствии с существующей потребностью за счет создания условий по устранению нарушения целостности потока огнетушащего вещества и быстрой потери его скорости, по обеспечению режима практически непрерывной эксплуатации при тушении путем минимизации потерь времени при перезарядке при одновременном повышении надежности получения функционального результата и компактности установки в целом. Предлагаемая конструкция установки включает станину (1), съемную кассету (2) со стволами, которые выполнены сменными и представляют собой модули порошкового пожаротушения многократного использования. Эти направляющие (3) содержат огнетушащий порошок, заменяемый газогенератор, а также электрические

разъемы (9) для подключения к пульту управления. Станина соединена с кассетой поворотной осью (5), что позволяет через систему тяг (6) изменять наклон кассеты в вертикальной плоскости с фиксацией кассеты. Корпус модулей выполнен с переменным диаметром, что способствует устранению нарушения целостности потока огнетушащего вещества и предотвращению быстрой потери его скорости» [22, с. 1]. Компактность и надежность конструкции, а также возможность минимизации времени на перезарядку обеспечивают практически непрерывную работу установки, расширяя её эксплуатационные возможности.

Изобретение интеллектуальной собственности Груздева А.Г., Никитина Д.Н., Тишкова А.Е. отличается эффективностью и удобством в эксплуатации, минимизирует время на перезарядку и обеспечивает практически непрерывную работу. Ключевые особенности: сменные модули стволов, которые расширяют эксплуатационные возможности; система тяг, фиксаторов и установочных элементов, которая предотвращает нарушение целостности потока огнетушащего вещества и сохраняет его скорость; электрические разъёмы для каждого модуля; надёжность и компактность установки. Области применения: тушение низовых пожаров в лесном хозяйстве; ликвидация аварий на газовых и нефтяных скважинах.

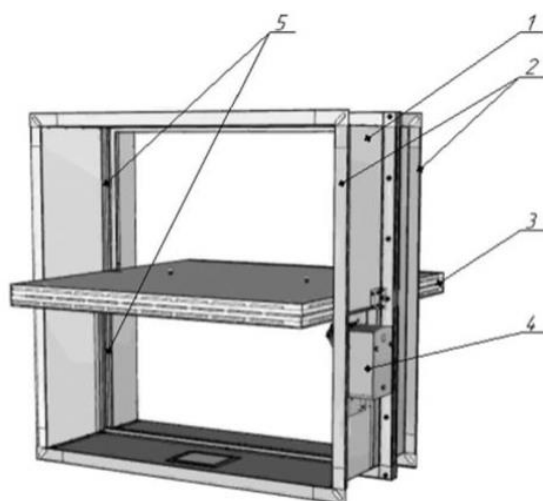


Рисунок 4 - Клапан противопожарный [21]

На рисунке 4 представлен клапан противопожарный, изобретение автора, Третьякова Д.В., «предназначено для перекрытия вентиляционных каналов или проемов в строительных конструкциях зданий. Этот клапан устанавливается в системах основной общеобменной вентиляции и служит для предотвращения поступления воздуха в помещение во время пожара, а также для удаления газов и дыма после пожара, особенно в помещениях, защищаемых газовыми, аэрозольными или порошковыми установками пожаротушения» [21, с.1].

Противопожарный клапан, предложенный Третьяковым, состоит из корпуса (1), в котором на фиксированных осях (2) размещена поворотная заслонка (3) с электроприводом (4), который позволяет ей вращаться с помощью рычажного механизма. Особенностью конструкции является корпус, разделённый на две части с теплоизоляционным материалом между ними, а также Z-образные уплотнители (5), наполненные теплоизоляционным материалом, для герметизации клапана в закрытом положении. Поворотная заслонка выполнена коробчатой формы с металлическими элементами и теплоизоляционным наполнителем по боковым и торцевым сторонам. Основная техническая задача, решаемая изобретением, заключается в создании надежного противопожарного клапана, который обеспечивает высокую огнестойкость и герметичность. Технический результат достигается за счёт использования теплоизоляционных материалов в корпусе и уплотнителях, что обеспечивает высокую надёжность, эффективное перекрытие доступа воздуха и ограничение теплопередачи.

Закрытое акционерное общество "Источник плюс" описывает свой генератор огнетушащего аэрозоля (рисунок 5) как компактное устройство, предназначенное для повышения эффективности пожаротушения. Оно работает на основе пиротехнической композиции, создающей высокодисперсные твердые частицы аэрозоля, которые выделяются в защищаемый объем [7, с. 1-3]. Этот генератор состоит из корпуса (1) и цилиндра охлаждения (2), которые соединены и частично перекрывают друг друга, образуя кольцевой эжекционный зазор (3). В пашке (4) установлен аэрозолеобразующий состав,

окруженный теплоизолирующей прослойкой (5) из термостойкого эластичного материала. Корпус закрыт крышкой (6) с воспламенителем (7) и распределенными по условной окружности (8) сквозными отверстиями (9). «Канал, соединяющий входное и выходное сечение каждого сквозного отверстия, выполнен с наклоном к внутренней поверхности цилиндра охлаждения таким образом, что его ось симметрии (10) является касательной к условной окружности, по которой распределены центры входных сечений сквозных отверстий. Свободный объем корпуса между шашкой и крышкой представляет собой камеру сгорания (11)», а на цилиндре охлаждения закреплен завихритель (12), который способствует равномерному смешиванию аэрозоля с воздухом. Дополнительно, на выходе из цилиндра может быть установлено стопорное кольцо, регулирующее проходной поток.

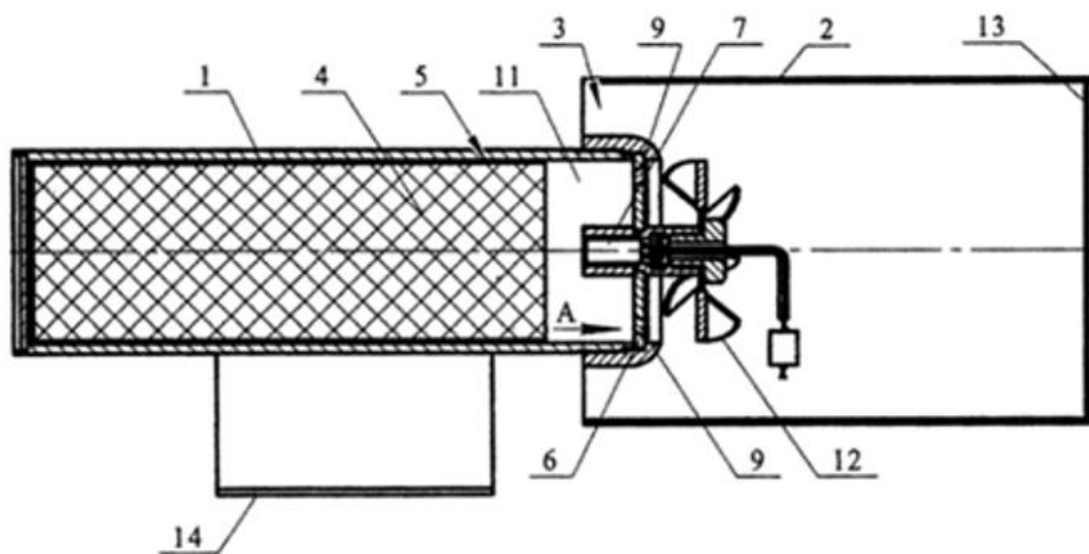


Рисунок 5 - Генератор огнетушащего аэрозоля [19]

Основной задачей изобретения является создание генератора, который повышает эффективность пожаротушения за счет уменьшения высокотемпературных и пожароопасных зон, а также улучшения прочностных характеристик генератора при транспортировке и эксплуатации в условиях повышенных нагрузок или сейсмической активности. Теплоизолирующая

прослойка положительно влияет на эксплуатационные характеристики генератора и увеличивает гарантийный срок его хранения. При срабатывании устройства аэрозоль охлаждается в цилиндре и очищается от раскаленных примесей, поступая в защищаемую зону в виде чистого аэрозоля, что эффективно тушит пожар и не повреждает оборудование [19, с. 4].

Следующий изученный нами патент, выданный Леонову А.Г., Довгодушу С.И., Харламову И.В. и Акционерному обществу "Военно-промышленная корпорация "Научно-производственное объединение машиностроения", описывает авиационный комплекс для обнаружения и тушения очагов возгорания, предназначенный для использования в пожароопасный период. Этот комплекс включает в себя БПЛА со складываемыми несущими поверхностями, оснащенный аппаратурой для обнаружения и идентификации очагов возгорания, бортовой емкостью для воды и автоматической системой заправки, а также СМПУ для корректировки полетного задания и машину для эксплуатации и технического обслуживания [23, с. 1]. Авиационный комплекс выдвигается на площадку для запуска БПЛА, который затем осуществляет мониторинг и тушение очагов возгорания. В процессе эксплуатации используется машина для заправки БПЛА топливом и водой. Способ применения комплекса заключается в выдвигании его на площадку для запуска, а затем в выполнении различных маневров для тушения огня, таких как сброс воды с бортовой емкости и забор воды из природных водоемов для повторных вылетов. В случае отсутствия водоемов БПЛА возвращается на базу для дозаправки и повторного выполнения задания. Этот подход направлен на повышение оперативности и эффективности тушения пожаров, включая труднодоступные районы, однако имеет недостатки, такие как отсутствие средств целеуказания для точного сброса воды в реальном времени и возможная опасность для людей, находящихся рядом с очагом возгорания из-за подрыва "бомб" с пламягасящим веществом.

Далее нами был проанализирован ряд патентов с точки зрения оценки возможности и проблем внедрения инновационных технологий на практике.

Таким образом, проанализировав патент Вдовина А.В. и Чудаева А.В. «Узел управления дренчерный с электроприводом», суть которого заключается в том, что разработка электроуправляемая, имеет нормально-закрытый клапан, у которого «вход соединен с последовательно установленными краном шаровым нормально-открытым с устройством контроля положения ручки управления, патрубком входным с фильтром механических примесей и манометром, которые установлены в средней части входного патрубка вертикально и соосно, при этом выход электроуправляемого нормально-закрытого клапана соединен с последовательно установленными входным патрубком с двумя сигнализаторами давления, которые расположены под углом 60° к вертикальной оси в одной плоскости, перпендикулярной оси выходного патрубка, внизу патрубка выполнено дренажное отверстие» [26]. Был обнаружен ряд недостатков:

- сложность синхронизации секций;
- возможные неисправности ручного управления;
- неточности в срабатывании сигнализаторов давления.

Эти трудности можно устранить с помощью следующих мер: внедрение современных технологий связи и управления (PLC или SCADA) для обеспечения координации между участками; также можно использовать высококачественные шаровые краны и устройства контроля положения; в график технического обслуживания следует включить проверку ручного управления; кроме того, манометры следует регулярно калибровать для обеспечения их точности.

Изучен патент скрытого спринклерного оросителя, задача которого является «повышение быстродействия срабатывания по сравнению с традиционными скрытыми спринклерными оросителями» [27]. Технический результат достигается с помощью скрытого устройства для дождевого орошения, состоящего из картриджа и термочувствительной крышки, удерживаемой на месте термочувствительным сплавом, причем термочувствительная крышка имеет ряд небольших отверстий. Был выявлен ряд проблем:

Многочисленные небольшие отверстия могут привести к неравномерному распределению тепла по покрытию, что может вызвать задержки в срабатывании спринклеров в определенных зонах. Решением этой проблемы является тщательное тестирование и калибровка спринклеров перед установкой, чтобы обеспечить их правильную работу и устойчивость к внешним воздействиям.

Конструкция с небольшими отверстиями может не подходить для всех типов потолков и помещений, что ограничивает ее универсальность и применение в различных условиях. Поэтому лучше использовать конструкции спринклерных систем, которые не зависят от большого количества небольших отверстий в крышке. Множественные отверстия увеличивают общую площадь поверхности, подверженной воздействию окружающей среды, что может привести к ускоренной коррозии и износу материала крышки. По этой причине для изготовления теплочувствительной крышки следует использовать более прочные и коррозионностойкие материалы.

Проанализировав описание полезной модели к патенту «Устройство порошкового пожаротушения», которое относится к области противопожарной техники одноразового использования, конкретно устройствам пожаротушения автономным, в которых огнетушащее вещество выбрасывается с помощью взрыва [24]. Нами были предложены следующие улучшения:

- внедрение электронной системы активации с возможностью дистанционного управления и активации, что повысит точность и снизит зависимость от огневых труб, или установка датчиков для автоматической активации при обнаружении пожара;
- разработка модульного корпуса, который позволит заменять иницирующий элемент и огнетушащее вещество, делая устройство многоразовым и более экономичным;
- замена корпуса из пенополистирола в устройстве на альтернативные материалы, которые являются более долговечными, устойчивыми к высоким

температурам и механическим повреждениям, а также негорючими. Например, поликарбонат, полиамид.

Проанализировав патент Усманова Э.Ф., Речицкой Е.Ф., Железчикова К.В. «Устройство газопорошкового пожаротушения для замкнутого помещения» [20], нами был обнаружен ряд недостатков, а именно: сложность монтажа и демонтажа, размещение системы в корпусе, который крепится к потолку, что ограничивает возможность ее перемещения и установки в других местах без значительных изменений в конструкции, а также система занимает значительное место на потолке, что может быть проблемой в помещениях с низкими потолками.

Патент «Устройство для объемного аэрозольного пожаротушения»: устройство содержит «корпус, снабженный днищем и сопловой крышкой, аэрозолеобразующий заряд, выполненный в виде без канальной шашки, защитно-крепящий слой, камеру догорания, сформированную внутри корпуса, узел запуска, установленный в крышке, и соединенную с корпусом насадку, при этом в центральной части торцевой поверхности заряда со стороны днища выполнена полость, заполненная пламегасящим составом, сопловая крышка снабжена соплами с критическим сечением и выступающей внутрь корпуса тепловой защитой, сопла выполнены таким образом, что проходят через крышку с тепловой защитой и выступают наружу от внешней поверхности крышки, при этом устройство содержит антиадгезионный разделительный слой, нанесенный на внутреннюю поверхность боковой стенки корпуса и расположенный между защитно-крепящим слоем и указанной поверхностью, причем защитно-крепящий слой имеет такую конфигурацию, что внешняя боковая поверхность тепловой защиты крышки контактирует с ним» [25]. Технический результат предлагаемого изобретения заключается в «обеспечении эффективной работоспособности изделия в условиях длительного теплового воздействия на элементы конструкции». Однако данная разработка имеет ряд недостатков, решение которых предлагается ниже:

- риск отказа узла запуска - возможно применение электронных или механических систем дублирования, а также регулярно проводить тестирование и техническое обслуживание узла запуска;
- проблема неравномерного распределения пламегасящего состава-внедрить механизмы, обеспечивающие постоянное смешивание или перемешивание состава;
- отсутствие термической стабильности- разработка эффективной системы теплоотвода и теплоизоляции для критических компонентов, использование материалов и покрытий, устойчивых к длительному тепловому воздействию.

Исходя из всего вышеизложенного, можем прийти к следующему выводу: В статье проанализирован ряд запатентованных разработок различных систем пожаротушения, обоснованных необходимостью использования самых современных, разнообразных и эффективных технологий для предотвращения и тушения пожаров.

Модуль порошкового пожаротушения обеспечивает быстрое и эффективное тушение пожара путем распыления порошка на горящий объект. Аэрозольный генератор пожаротушения также является эффективным средством тушения пожаров за счет образования аэрозольных частиц, которые подавляют горение. Использование противопожарного клапана обеспечивает автоматическую активацию системы пожаротушения в случае возгорания, что значительно сокращает время реагирования и помогает предотвратить распространение огня. Мобильная импульсная многоствольная порошковая система пожаротушения позволяет быстро и эффективно тушить пожары на больших площадях, обеспечивая оптимальное покрытие объекта порошком. Мобильный контейнер для хранения и распределения жидкости обеспечивает возможность быстрого подачи воды или других пожаротушащих жидкостей на объект пожара, что также способствует эффективной борьбе с пожарами.

Таким образом, изучение различных технологий пожаротушения позволяет выбрать оптимальный вариант для различных видов пожаров, типов

зданий, температур, а также обеспечить оптимальную защиту от пожаров, минимизировать потенциальные угрозы для жизни и здоровья людей и сохранить материальные ценности.

Современные технологии управления пожаротушением включают в себя использование современного оборудования, систем мониторинга и автоматических устройств для обнаружения и тушения пожаров. Новейшие технологии управления пожаротушением позволяют быстро реагировать на пожары, минимизировать ущерб и спасать жизни людей. Централизованные системы управления пожаротушением обеспечивают своевременное реагирование на сигналы пожарной тревоги и координацию действий пожарных бригад. Системы управления могут включать в себя такие элементы, как автоматические спринклеры, дымовые датчики, системы оповещения и эвакуации. Технологии управления пожаротушением включают разработку планов эвакуации, обучение персонала и проведение пожарных учений. Использование технологий управления пожаротушением помогает снизить вероятность возникновения пожаров и обеспечивает быстрое реагирование на чрезвычайные ситуации. Автоматизированные системы управления пожаротушением повышают эффективность работы пожарных, позволяя им быстро и эффективно тушить пожары. Между тем, интеллектуальные технологии управления пожаротушением помогают оптимизировать использование ресурсов и повысить общую безопасность объекта.

2.2 Разработка проекта внедрения инновационной технологии пожаротушения

Перед созданием проекта по внедрению инновационной технологии пожаротушения мы выбрали объекты, на которых можно было реализовать эту разработку. Результаты представлены ниже, а именно характеристики объекта, на котором разработка была реализована АО «АвтоВАЗ».

АО «АвтоВАЗ» является одним из крупнейших автомобилестроительных предприятий России, представляющим собой сложный промышленный объект с высокими требованиями к пожарной безопасности. Производственная деятельность компании связана с использованием большого количества горючих материалов, сложных технологических процессов и оборудования, что определяет высокую пожарную нагрузку и необходимость принятия эффективных мер по тушению пожаров.

Пожароопасность объекта заключается в том, что производственные помещения АО «АвтоВАЗ» состоят из производственных, складских, административных и транспортных зон, каждая из которых имеет определенные риски. Рассмотрим каждую из них более подробно.

Производственные цеха: технологические процессы, такие как сварка, окраска и сборка, сопряжены с использованием легковоспламеняющихся веществ, лакокрасочных материалов, а также образованием легковоспламеняющихся аэрозолей и газов. Вероятность возникновения пожаров связана с коротким замыканием электрооборудования, перегревом оборудования и ненадлежащим использованием материалов.

На складах хранятся большие количества горючих материалов, в том числе краски и лаки, пластиковые компоненты, упаковочные материалы и запасные части. Высокая концентрация таких материалов создает значительную пожарную нагрузку.

Хранение и транспортировка транспортных средств и топлива создают дополнительные риски, связанные с возможным возгоранием топлива или аккумуляторов.

Энергетическая инфраструктура включает в себя трансформаторные подстанции, котельные и другие объекты, где присутствуют горючие масла, высокое напряжение и риск перегрева.

Пожарная нагрузка на объекте обусловлена использованием лакокрасочных материалов (в малярных цехах), наличием синтетических материалов, пластиковых и резиновых элементов в производственных и

складских помещениях, хранением топлива, масел и аккумуляторов, а также большим количеством оборудования с высокой тепловой нагрузкой. Эти факторы увеличивают скорость распространения огня, выделение токсичных газов и затрудняют тушение пожаров.

Анализ существующих систем пожарной безопасности показал, что на объектах АО «АвтоВАЗ» Используются стационарные автоматические системы пожаротушения, системы сигнализации и системы эвакуации. Следует отметить, что традиционные системы пожаротушения не всегда эффективны в условиях быстрого распространения огня в больших помещениях, ручное тушение пожара требует времени для прибытия пожарных подразделений, что может привести к увеличению ущерба, а мониторинг потенциальных источников возгорания может быть затруднен из-за масштабов объекта и сложности контроля отдельных зон. Именно поэтому использование беспилотных летательных аппаратов с функциями обнаружения пожара и первичного тушения является перспективным решением для таких объектов, как АО «АвтоВАЗ». Дроны способны быстро обнаруживать очаги пожара благодаря тепловизионным камерам и другим датчикам, что сокращает время начала тушения. БПЛА могут работать в зонах с ограниченным доступом для пожарных или стационарного противопожарного оборудования, таких как складские помещения с высокими стеллажами. Дроны могут доставлять огнетушащие вещества (порошки, пены или гели) непосредственно к источнику пожара, что особенно важно для быстрого тушения небольших пожаров. Использование БПЛА сводит к минимуму необходимость участия человека на начальных этапах пожара.

Для повышения эффективности пожарной безопасности на объекте целесообразно внедрение гибридной системы, объединяющей традиционные АУПТ с инновационными технологиями.

Для достижения цели исследования — повышения эффективности технологий пожаротушения — и решения выявленных проблем в данной работе используются различные методы исследования. Эти методы позволяют

выявить слабые места и разработать более эффективные методы пожаротушения, а также обеспечить комплексный подход к поиску решений поставленных задач. Методы исследования взаимосвязаны и применяются последовательно на каждом этапе работы. Сначала проводится аналитическое исследование теоретических основ, затем — моделирование и разработка прототипа. Затем проводится оценка технологии с помощью сравнительного анализа для определения ее значимости. Патентный поиск помогает изучить потребности и современные технологические достижения. Прогностический метод позволяет оценить перспективы внедрения системы и ее влияние на отрасль пожаротушения. Такой подход гарантирует, что разработка будет не только инновационной, но и отвечающей реальным потребностям пользователей, а также экологическим и экономическим требованиям.

Мы предлагаем разработку инновационной системы пожаротушения: беспилотный летательный аппарат, способный обнаруживать и тушить пожары на начальной стадии, анализировать ситуацию с помощью искусственного интеллекта (ИИ) на базе FireNet. БПЛА относится к типу летательных аппаратов. Корпус изготовлен из композитных материалов (углеродное волокно), что обеспечивает легкость, прочность и устойчивость к высоким температурам. Технические характеристики:

- источник питания: оснащен литий-ионными батареями высокой емкости, обеспечивающими автономный полет продолжительностью до 1,5 часа. Может заряжаться от современных энергоэффективных источников питания;
- радиус действия: до 1500 м от базовой станции;
- скорость полёта: 15-20 м/с в крейсерском режиме;
- сенсорное оборудование: высокоточный тепловизор для обнаружения источников тепла и определения температуры окружающей среды. Рабочий диапазон температур: от -40°C до +1500°C;
- камера кругового обзора высокого разрешения 4K с частотой 60 кадров в секунду для записи и трансляции видео в реальном времени;

- интеграция с искусственным интеллектом для анализа видеопотока.

Интеллектуальные возможности разработки: обнаружение возгораний: использование нейронной сети FireNet для распознавания пожаров, анализа их интенсивности и определения зоны распространения. Распознавание зон задымления и зон с аномальной температурой на расстоянии до 1000 метров. Искусственный интеллект в режиме реального времени обрабатывает данные с тепловизора и камеры, создает карту пожара и прогнозирует его развитие. Встроенные алгоритмы принимают решение о передаче данных наземным службам или активации аварийных сигналов. Автономная навигация: встроенные модули GPS и GLONASS обеспечивают точное позиционирование и планирование маршрута. Лидар для обхода препятствий и безопасного полета в сложных условиях (например, густой дым, низкая видимость).

Коммуникационные возможности:

- передача данных: Мгновенная отправка видеопотока и тепловых данных в реальном времени на базовую станцию;
- шифрование сигнала для защиты информации;
- возможность интеграции с наземными системами управления пожаротушением и командными центрами.

Пример сценария: после запуска БПЛА проводит разведку территории с высоты 100-200 метров, используя тепловизор для поиска температурных аномалий. При обнаружении пожара система FireNet анализирует данные и создает прогноз распространения пожара. Информация передается в режиме реального времени на базу, где принимаются решения о дальнейших действиях. Устройство может проводить первичную тушение пожара путем выпуска порошкового агента.

На основе результатов сравнительного анализа БПЛА, представленных в патенте (глава 2.1), описан авиационный комплекс, включающий беспилотный летательный аппарат (БПЛА), предназначенный для тушения пожаров с помощью воды. Система требует дополнительных механических действий для подготовки БПЛА, что снижает его оперативную эффективность. Кроме того,

для заправки и установки устройства требуются другие машины, что также увеличивает время реагирования. Предлагаемая нами конструкция, основанная на БПЛА с искусственным интеллектом для обнаружения и первоначального тушения пожаров с помощью порошкового агента, имеет ряд существенных преимуществ. Во-первых, точность обнаружения и тушения. В отличие от метода, описанного в патенте, в котором используется вода, система искусственного интеллекта позволяет более точно и быстро обнаруживать источники пожара. Искусственный интеллект может автоматически оценивать ситуацию, выбирать оптимальный метод тушения и корректировать действия в режиме реального времени, что значительно повышает эффективность тушения. Во-вторых, использование порошковых агентов вместо традиционных методов тушения, таких как вода, значительно снижает риски для людей и окружающей инфраструктуры, поскольку устраняет потенциальную опасность, связанную с использованием «бомб», содержащих огнетушащие вещества. В-третьих, интеграция ИИ с системами тушения позволяет БПЛА работать быстрее и точнее, что особенно важно в труднодоступных и опасных местах, где традиционные методы могут быть неэффективны. Благодаря высокой маневренности и способности работать в сложных условиях, БПЛА может контролировать территории, недоступные для традиционных сил.

Среди других преимуществ БПЛА стоит отметить их способность интегрироваться с другими технологиями, такими как GPS и системы передачи данных. Это позволяет не только точно определять местоположение пожаров, но и координировать действия различных служб, направляя их в наиболее угрожаемые регионы. Таким образом, БПЛА становятся элементом мультисетевого управления в пожаротушении, повышая общую эффективность реагирования.

Сложность разработки и эксплуатации таких устройств требует значительных инвестиций как в денежном, так и во временном выражении. Однако преимущества, которые они предлагают, делают их незаменимыми в современном мире, где изменение климата и деятельность человека приводят к

увеличению числа пожаров. Использование FireNet AI позволяет точно оценивать ситуацию и прогнозировать развитие пожара, что делает этот подход эффективным и экономически выгодным.

FireNet — это модель глубокого обучения с помощью ИИ, основанная на гибридной архитектуре [48]. Архитектура состоит из базы знаний, рабочей памяти и структуры управления. Она предназначена для быстрой и точной классификации пожарных и непожарных зон в сценариях обработки изображений в реальном времени.

Модель сочетает в себе преимущества архитектур, что улучшает возможности извлечения признаков и значительно снижает вычислительные затраты. Отличительной особенностью FireNet является использование функции активации, которая демонстрирует более высокую производительность по сравнению с традиционными функциями активации для задач обнаружения пожаров.

Научно-техническая основа решения включает в себя несколько ключевых аспектов. Во-первых, использование нейронных сетей для анализа тепловых и оптических данных обеспечивает высокую точность обнаружения пожаров даже на ранних стадиях. Во-вторых, БПЛА могут быть оснащены мультиспектральными камерами, которые обнаруживают аномалии в видимом спектре, а также встроенными датчиками для анализа параметров окружающей среды, таких как температура, влажность и скорость ветра.

Компьютерное зрение предлагает инновационные решения для обнаружения пожаров, но эта задача остается сложной из-за особенностей обработки визуальных данных. Анализ различных подходов показал, что использование RGB-камер может быть эффективной альтернативой инфракрасным камерам, несмотря на их популярность в задачах обнаружения тепловых аномалий.

Инфракрасные камеры позволяют обнаруживать источники тепла, но их использование сопровождается рядом ограничений. Высокотемпературные области на инфракрасных изображениях могут быть вызваны не только

пожарами, но и отражением теплового излучения от поверхностей. Такие особенности создают ложные срабатывания, что затрудняет анализ. Инфракрасные камеры значительно дороже, и их основное применение связано с ночными операциями по проверке полного устранения источников пожара.

Для обучения нейронных сетей требуется значительный объем данных. В случае пожаров создание специализированного набора данных является сложной задачей, поэтому используется метод «переноса обучения». Этот метод позволяет использовать предварительно обученные нейронные сети для решения новой задачи путем адаптации их параметров.

Предлагаемый подход демонстрирует эффективность в обнаружении пожаров, снижает затраты на оборудование и адаптируется к другим задачам обработки изображений. Использование современных методов компьютерного зрения в таких сценариях открывает новые горизонты для предотвращения чрезвычайных ситуаций и защиты экосистем [33].

Существует два типа БПЛА. Рассмотрим каждый из них и объясним, почему мы выбрали вертолетный тип для нашей инновационной разработки. Для проекта, ориентированного на работу в труднодоступных районах с возможностью дальних полетов и высокой автономностью, выбор между самолетным и вертолетным типом БПЛА зависит от ряда ключевых факторов, таких как маневренность, дальность полета, время работы и способность адаптироваться к сложным условиям [2].

Беспилотные летательные аппараты обладают рядом преимуществ для полетов на большие расстояния и операций в труднодоступных районах. Эти устройства обычно характеризуются высокой аэродинамической эффективностью, что позволяет им достигать высоких скоростей и больших дальностей полета при меньшем энергопотреблении. Беспилотные летательные аппараты могут преодолевать большие расстояния, что особенно важно для покрытия больших территорий или работы в отдаленных регионах.

Беспилотные летательные аппараты обычно имеют лучшую дальность полета, что обусловлено их аэродинамической формой и более низким

энергопотреблением на длинных траекториях. Их конструкция позволяет интегрировать солнечные панели для увеличения автономности, что особенно важно для длительных миссий или в солнечных регионах.

Однако беспилотные летательные аппараты также имеют свои ограничения. Например, для взлета и посадки им требуется специальная взлетно-посадочная полоса, что может быть проблемой в ограниченных или труднодоступных районах. Кроме того, летательные аппараты не могут зависать в одном месте, что ограничивает их использование в задачах, требующих точного наблюдения или маневрирования в ограниченном пространстве.

Вертолетные БПЛА обладают уникальной способностью вертикального взлета и посадки, что обеспечивает им высокую маневренность и возможность работы в ограниченном пространстве. Эти аппараты идеально подходят для операций в труднодоступных местах, таких как мегаполисы, городские районы, общественные и промышленные объекты, где нет возможности для взлета и посадки.

Одним из основных преимуществ вертолетных БПЛА является их способность зависать на месте и маневрировать в ограниченном пространстве. Это особенно важно для задач, связанных с мониторингом, обнаружением и тушением пожаров в труднодоступных местах [7]. Вертолеты могут быть оснащены различными датчиками и камерами для круглосуточного наблюдения, в том числе тепловизионными камерами, что делает их эффективными в условиях ограниченной видимости [2].

Стоит отметить, что БПЛА с фиксированным крылом лучше подходят для задач, требующих дальних полетов на большие расстояния, где дальность и скорость имеют решающее значение. Их высокая эффективность позволяет им выполнять длительные миссии с меньшим потреблением энергии, что идеально подходит для мониторинга больших территорий. БПЛА вертолетного типа, с другой стороны, отличаются маневренностью и способностью работать в ограниченном пространстве. Это позволяет им быть более эффективными в

труднодоступных и сложных условиях, где требуется высокая точность наблюдения или реагирования. Они также могут легко взлетать и приземляться в ограниченных пространствах, но требуют больше энергии для длительных полетов.

Таким образом, для решения поставленных задач был выбран вертолетный тип, где маневренность и грузоподъемность являются ключевыми факторами.

Разработка позволяет быстро обнаруживать пожары, сокращая время реагирования и минимизируя ущерб экосистемам и инфраструктуре. Кроме того, использование ИИ помогает прогнозировать развитие пожаров и предотвращать их, что значительно повышает устойчивость систем реагирования. Сравнительный анализ эффективности представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительный анализ реагирования систем пожаротушения [6]

Показатели	АУПТ	БПЛА
Время реагирования	60-180 минут	15–30 минут
Точность обнаружения очага пожара	60–70 процентов	90–95% процентов

Разработка позволяет быстро обнаруживать пожары, сокращая время реагирования и минимизируя ущерб экосистемам и инфраструктуре. Кроме того, использование ИИ помогает прогнозировать развитие пожаров и предотвращать их, что значительно повышает устойчивость систем реагирования.

Некоторые элементы способствуют более широкому внедрению дронов для тушения пожаров в окружающей среде, а именно:

- усугубление экологических проблем. С каждым годом количество стихийных бедствий, таких как лесные пожары, увеличивается, что приводит к растущей потребности в новых подходах к тушению пожаров. Дроны для

тушения пожаров зарекомендовали себя как экологически чистый и современный способ решения этих проблем;

- правительственные программы. Различные страны разрабатывают нормативные акты и проекты, направленные на продвижение использования беспилотных летательных аппаратов для предотвращения и смягчения последствий стихийных бедствий. Это создает благоприятные условия для компаний, работающих в области противопожарных дронов [45];

- технологические инновации. По мере развития технологии беспилотных летательных аппаратов все более очевидными становятся их надежность, экономичность и универсальность. Это позволяет предприятиям и государственным учреждениям рассматривать инвестиции в передовые методы пожаротушения как разумные и выгодные;

- Перспективы рынка и его стоимость. По мере расширения рынка производители, разработчики программного обеспечения и сервисные компании получают все больше выгод. Ожидается, что к 2030 году стоимость индустрии дронов превысит 100 миллиардов долларов, и дроны для тушения пожаров будут способствовать этому росту благодаря своей роли в чрезвычайных ситуациях и защите окружающей среды.

Однако следует подчеркнуть, что эта технология является дорогостоящей из-за необходимости разработки дронов, оснащенных камерами высокого разрешения, тепловизионными камерами, GPS-модулями и датчиками температуры и влажности. Кроме того, для работы FireNet требуются вычислительные мощности, оборудование для передачи данных, программное обеспечение для анализа и визуализации информации, наземные станции для обслуживания БПЛА и серверы для хранения данных.

Для успешного функционирования системы необходимо комплексное дорогостоящее оснащение, а именно:

- летательные платформы с продолжительностью полета до 2–4 часов;

- GPS-модули для точного позиционирования и привязки к картографическим данным;
- датчики температуры, влажности, ветра и давления для анализа локальных условий;
- нейросеть FireNet, интегрированная с модулями анализа данных и прогнозирования;
- платформы управления полетами и системами мониторинга, обеспечивающие автономность дронов;
- резервные спутниковые каналы для работы в отдаленных районах;
- станции зарядки и технического обслуживания;
- серверы для обработки и хранения данных, поступающих от БПЛА.

Внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в системы управления чрезвычайными ситуациями и раннего обнаружения пожаров требует комплексного подхода, охватывающего все аспекты обучения и модернизации. Прежде всего, это предполагает реорганизацию управления, создание специализированных подразделений для координации операций БПЛА, анализа данных и взаимодействия с наземными службами. Это обеспечит точное распределение задач и сократит время реагирования.

Одной из ключевых задач является обучение персонала. Операторы дронов, аналитики данных и спасательные службы должны пройти обучение по управлению БПЛА, интерпретации данных датчиков, взаимодействию с системами искусственного интеллекта и адаптации своих действий к данным в режиме реального времени.

Особое внимание следует уделить нормативной базе, регулирующей эксплуатацию БПЛА. Сюда входит разработка стандартов безопасности, координация полетов с авиационными службами и обязательная сертификация операторов и оборудования. Четкие правила помогут избежать конфликтов в воздушном пространстве и обеспечат надежную работу системы.

Заключительным этапом является тестирование и оптимизация системы. Полевые испытания позволят нам оценить эффективность БПЛА, внести корректировки в технологию и рабочие процессы, а также масштабировать систему для работы на больших площадях [5].

Для выбора оптимальных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые будут использоваться для мониторинга, раннего обнаружения пожаров и быстрого реагирования, важно сравнить различные модели на основе ключевых параметров.

Современный рынок предлагает широкий выбор БПЛА с различными техническими характеристиками, функциональностью и стоимостью. Например, модели DJI, отличаются встроенными тепловизионными камерами и высокой маневренностью, что делает их идеальными для выполнения локальных и оперативных задач. Более тяжелые аппараты, такие как Katran и Orion, предназначены для крупномасштабных операций и мониторинга больших территорий благодаря увеличенной дальности полета и грузоподъемности. В то же время, аппараты Walkera WK-1800 и M15T сочетают в себе доступность и функциональность, что делает их подходящими для средних по масштабу миссий.

Наша модель, которая в настоящее время находится в стадии разработки, занимает особое место, поскольку она разработана с учетом специфических требований для реагирования на чрезвычайные ситуации. Она будет сочетать в себе передовые технологии, оптимизированные для местных условий эксплуатации, с доступными затратами на техническое обслуживание, что обеспечит ее конкурентоспособность на рынке.

Организация производства БПЛА в России, особенно в городе Тольятти, выглядит многообещающей. В Тольятти уже работает завод по производству гражданских дронов, запущенный компанией «Транспорт будущего» в декабре 2023 года. В 2024 году планируется запуск второго и третьего этапов предприятия, что свидетельствует о растущем интересе и поддержке отрасли в регионе [4].

В настоящее время уровень локализации компонентов дронов в России составляет около 30%. Это означает, что 70% компонентов, используемых для сборки БПЛА, импортируются, в основном из Китая, который является мировым лидером в производстве беспилотных систем.

Перспективы локализации и реализации проекта: Министерство промышленности и торговли России планирует довести уровень локализации производства БПЛА до 70% к 2024 году [10]. Это создает благоприятные условия для развития отечественного производства и реализации проектов в этой области.

Существуют возможности для реализации проекта по производству БПЛА в различных регионах России, в том числе в Тольятти, где уже имеется инфраструктура и поддержка для таких предприятий. Однако для успешной реализации проекта необходимо учитывать уровень локализации компонентов, наличие квалифицированного персонала и партнеров для поставки необходимых материалов и технологий.

Несмотря на все достоинства, современные системы пожаротушения сталкиваются с определёнными трудностями, такими как:

- реализация может быть затруднена из-за высоких затрат;
- такие системы требуют квалифицированного обслуживания и эксплуатации. Это может быть проблемой, поскольку работа с новыми технологиями требует персонала с определенными навыками;
- использование таких систем имеет определенные ограничения. Например, они могут быть неэффективны в определенных условиях или представлять опасность при неправильном использовании;
- существует риск технических сбоев или ошибок в конструкции, которые могут снизить эффективность системы и увеличить вероятность повреждений.

Выводы по разделу 2. Проанализировав все вышеизложенное, можно сделать вывод, что АО «АвтоВАЗ» является объектом с высокой степенью пожароопасности и значительной пожарной нагрузкой. Внедрение беспилотных

летательных аппаратов с функциями обнаружения и начального тушения пожаров позволит минимизировать риски, сократить время реагирования и уменьшить ущерб от возможных пожаров. Интеграция инновационных технологий с существующими системами противопожарной безопасности создаст комплексную и эффективную защиту объекта, отвечающую современным требованиям. Для решения описанных выше проблем необходимо четко стандартизировать технологии, разработать экономически эффективные и хорошо продуманные решения, а также повысить квалификацию специалистов. Беспилотный летательный аппарат с возможностью обнаружения источников пожара и проведения первичного тушения, а также анализа ситуации с помощью искусственного интеллекта на базе FireNet является актуальной и инновационной системой пожаротушения.

3 Экспериментальная апробация внедрения инновационной технологии пожаротушения

3.1 Результаты внедрения инновационной технологии пожаротушения на АО «АвтоВАЗ»

Для повышения пожарной безопасности на АвтоВАЗе предложено внедрить беспилотный летательный аппарат (БПЛА), оснащенный искусственным интеллектом, способный быстро обнаруживать источники возгорания и проводить первоначальное тушение с помощью порошковых средств.

Давайте подробнее рассмотрим предлагаемую разработку. БПЛА оснащен тепловизионными камерами и системой искусственного интеллекта, которая позволяет ему автоматически обнаруживать возгорания. При обнаружении пожара дрон передает данные в диспетчерский пункт и приступает к первоначальному тушению с помощью порошкового агента. Этот проект направлен на сокращение времени реагирования на пожары, минимизацию ущерба и автоматизацию процессов пожаротушения на предприятии.

Технология обеспечивает автоматическое обнаружение пожара, быстрое разворачивание дронов к источнику пожара и доставку порошкового состава для его локализации. Сухой порошковый материал — «Иркут». Этот порошок предназначен для тушения пожаров всех классов во всех климатических зонах. Траектория БПЛА строится путем перемещения по заданным точкам, ограниченным координатной плоскостью. Схема показана на рисунке 6.

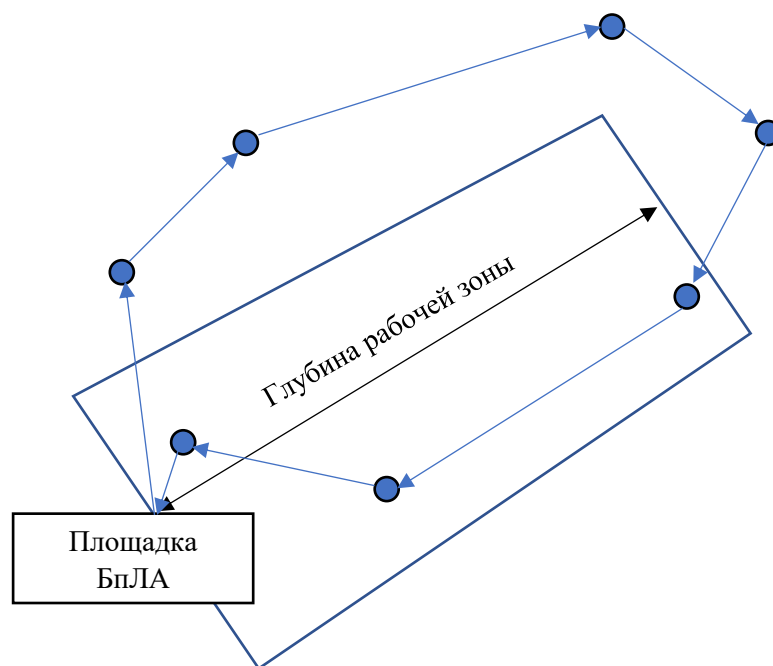


Рисунок 6 – Траектория движения БПЛА по заданным точкам при исследовании по координатной плоскости [50]

Разработка представляет собой четырехкрылый восьмиосевой дрон, способный переносить до 60 кг полезной нагрузки и находиться в воздухе до 75 минут. Основные характеристики БПЛА представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные характеристики БПЛА

Характеристики	Значение
Вес БПЛА вместе с аккумуляторами	50 кг
Габариты	1900×1900×760 мм
Максимальная взлётная масса	110 кг
Количество аккумуляторов	2
Максимальная скорость	20 м/с
Материал корпуса и каркаса	Углеродное волокно, авиационный алюминий
Максимальное время полёта	С 2 батареями и грузом: 75 мин
Поддерживаемые системы спутниковой навигации	GPS, GLONASS
Точность позиционирования	В режиме позиционирования, при работающей GPS: По вертикали: 1см ±1 мм/км; по горизонтали: ±1.5 см; наличие LiDar
Система управления	ИИ на базе системы Firenet
Наличие тепловизора	Есть
Площадь тушения	200-300 кв.м.

Для изучения эффективности внедрения искусственного интеллекта на АО «АВТОВАЗ», были использованы следующие данные:

- время обнаружения пожара до и после внедрения дронов;
- время первичного тушения пожара до и после внедрения дронов;
- оценка материального ущерба в зависимости от времени тушения;
- количество дронов, необходимое для мониторинга территории завода.

Анализ показал, что время обнаружения пожара зависело от работы операторов видеонаблюдения и датчиков. Соответственно, рассчитаем время обнаружения пожара до внедрения БПЛА по формуле:

$$T_{\text{до}} = T_{\text{реакции оператора}} + T_{\text{оценки ситуации}} \quad (1)$$

$$T_{\text{до}} = 120 + 60 = 180 \text{ секунд,}$$

где $T_{\text{до}}$ - время обнаружения пожара до внедрения БПЛА;

$T_{\text{реакции оператора}}$ - время реакции оператора системы пожарной безопасности;

$T_{\text{оценки ситуации}}$ - время, необходимое для анализа поступившего сигнала о пожаре.

После предложенного внедрения дронов время обнаружения может сократиться за счет автоматической системы анализа изображений:

$$T_{\text{после}} = T_{\text{анализа AI}} + T_{\text{реакции дрона}} \quad (2)$$

$$T_{\text{после}} = 10 + 20 = 30 \text{ секунд,}$$

где $T_{\text{анализа AI}}$ - время, необходимое ИИ для обработки данных;

$T_{\text{реакции дрона}}$ - время, необходимое БПЛА для выполнения действий по ликвидации.

Снижение времени обнаружения:

$$\Delta T = T_{\text{до}} - T_{\text{после}} \quad (3)$$

$$\Delta T = 180 - 30 = 150 \text{ секунд},$$

Результаты времени первичного тушения показало, что пожарные подразделения предприятия прибывали в среднем:

$$T_{\text{тушения до}} = T_{\text{обнаружения}} + T_{\text{диспетчеризации}} + T_{\text{прибытия}} \quad (4)$$

$$T_{\text{тушения до}} = 180 + 120 + 300 = 600 \text{ секунд},$$

где $T_{\text{тушения до}}$ - время, необходимое для начала тушения пожара до внедрения БПЛА;

$T_{\text{обнаружения}}$ - время, необходимое для обнаружения очага возгорания до внедрения БПЛА;

$T_{\text{диспетчеризации}}$ - время для получения и обработки информации, принятие решения о запуске БПЛА;

$T_{\text{прибытия}}$ - время, требуемое дрону чтобы добраться до места происшествия.

После предполагаемого внедрения дронов, способного проводить первичное тушение:

$$T_{\text{тушения после}} = T_{\text{обнаружения}} + T_{\text{реакции дрона}} + T_{\text{тушения дроном}} \quad (5)$$

$$T_{\text{тушения после}} = 30 + 20 + 60 = 110 \text{ секунд},$$

где $T_{\text{тушения после}}$ - время тушения пожара после внедрения БПЛА.

$T_{\text{обнаружения}}$ - время, необходимое для обнаружения очага возгорания после внедрения БПЛА.

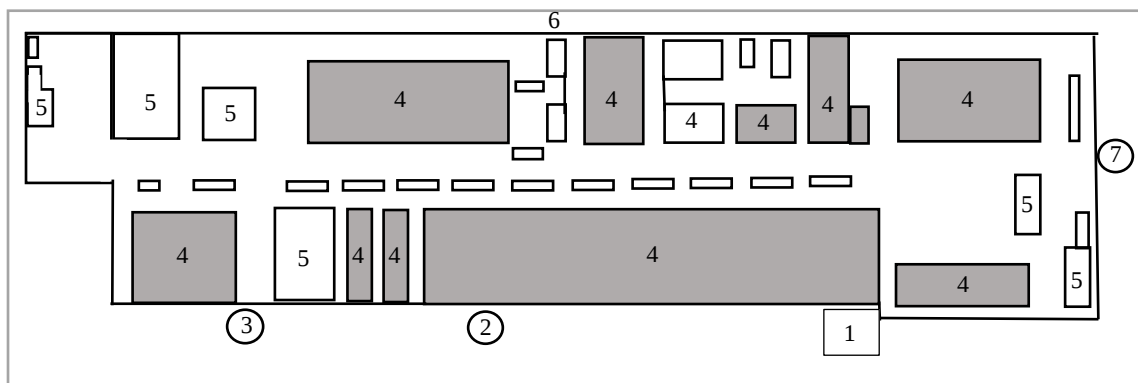
$T_{\text{тушения дроном}}$ - время ликвидации возгорания дроном.

Снижение общего времени тушения:

$$\Delta T_{\text{тушения}} = T_{\text{тушения до}} - T_{\text{тушения после}} \quad (6)$$

$$\Delta T_{\text{тушения}} = 600 - 110 = 490 \text{ секунд}$$

Для того, чтобы реализовать данную идею, необходимо провести расчет достаточного количества дронов. Площадь завода АО «АвтоВАЗ» составляет примерно 600 Га (6 000 000 м²), схема представлена на рисунке 7.



1 - Административное здание; 2 - КПП 5; 3 - КПП 6; 4 - Производственные здания;
5 - Хозяйственный корпус; 6 - КПП 10; 7 - КПП 16.

Рисунок 7 – Схема расположения АО «АвтоВАЗ» [4]

Один дрон обрабатывает радиус 500 м за один полет. Площадь обзора БПЛА с ИИ:

$$S = \pi R^2 = 785000 \text{ m}^2 \quad (7)$$

Минимальное количество дронов с ИИ для мониторинга территории:

$$N = S_{\text{завода}}/S_{\text{дрона}} = 6000000/785000 \approx 8 \text{ дронов} \quad (8)$$

Далее необходимо рассчитать параметры тушения пожара порошковым огнетушащим составом. Вычислим требуемый расход порошкового состава при площади пожара 100 м^2 .

Удельный расход порошкового состава, кг/м^2 :

$$q_{\text{уд}} = J_{\text{тр}} \times t_p = 0,3 \times 3 = 9 \quad (9)$$

где $J_{\text{тр}}$ - требуемая интенсивность подачи порошкового состава для тушения пожара, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;

t_p - 3 (сек);

Общее количество порошкового состава для тушения пожара:

$$W = S_{\text{пож}} q_{\text{уд}} = 100 \times 0,9 = 90 \text{ кг} \quad (10)$$

Результаты расчета показали, что внедрение дронов сокращает время, необходимое для обнаружения пожара, с 180 до 30 секунд, сокращает время, необходимое для первоначального тушения, с 600 до 110 секунд (сокращение в 5,5 раза). Для эффективного мониторинга территории завода, обеспечения круглосуточного наблюдения и оперативного реагирования потребуется не менее 8 дронов.

Внедрение дронов влияет на следующие аспекты техносферной безопасности:

- сокращение времени реагирования на пожары за счет автоматического мониторинга и быстрого реагирования;
- снижение вероятности распространения пожара благодаря быстрому начальному тушению;

- снижение нагрузки на персонал, поскольку дроны заменяют людей в первоначальной оценке пожарной опасности.;
- повышение эффективности системы пожарного мониторинга за счет непрерывного мониторинга и автоматизированного анализа данных.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что внедрение инновационной системы пожаротушения на АО «АвтоВАЗ» показало свою эффективность, обеспечив значительное сокращение времени реагирования на пожары, существенное снижение ущерба от пожаров, повышение безопасности сотрудников и автоматизацию процессов, что снижает нагрузку на персонал.

3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации

Техносферная безопасность, в частности: надёжность и устойчивость технического оборудования, обеспечение сохранения окружающей среды и здоровья людей на рабочих местах, крупного промышленного предприятия АО «АвтоВАЗ» требует комплексного подхода, включающего современные технологии мониторинга и предотвращения чрезвычайных ситуаций. Одним из перспективных решений является внедрение дронов с ИИ, в составе с порошковыми огнетушащими веществами.

Цель анализа – оценить эффективность внедрения БПЛА на предприятии с учетом ключевых показателей безопасности, снижения рисков и экономической целесообразности. Предлагаемые к внедрению беспилотные летательные аппараты оснащены:

- системами компьютерного зрения для обнаружения очагов возгорания;
- тепловизионными камерами для оперативного мониторинга опасных зон;
- порошковыми модулями для локального тушения пожаров;
- автоматической навигацией для быстрого реагирования;

Гипотезы, выдвигаемые на рассмотрение следующие:

- дроны могут сократить время, необходимое для обнаружения и первоначального тушения пожара, что особенно важно на объектах с высокой пожарной нагрузкой, таких как производственные цеха и склады;
- ущерб от пожаров можно сократить на 30–50 % благодаря раннему обнаружению и локальному тушению. Это достигается за счет мгновенной доставки порошкового состава к источнику пожара до прибытия основной пожарной части;
- использование автономных дронов снижает необходимость непосредственного участия человека в опасных условиях. Это особенно важно в случае пожара в зонах с токсичными газами или высокими температурами.

План реализации мер по обеспечению безопасности техносферы представлен в таблице 6, которая включает перечень действий, направленных на предотвращение и минимизацию рисков, связанных с антропогенными угрозами. В таблице указаны сроки реализации каждой меры.

Таблица 6 – План реализации мероприятий по техносферной безопасности

Мероприятия	Срок исполнения
Установка и тестирование дронов с ИИ	III квартал 2025 г.
Интеграция системы дронов с пожарной сигнализацией и видеонаблюдением	IV квартал 2025 г.
Обучение персонала работе с системой	III-IV квартал 2025 г.
Проведение испытаний и корректировка алгоритмов автоматического реагирования	I-II квартал 2026 г.

Необходимо определить расчёт показателей ожидаемых потерь от пожара для последующих расчетов экономической эффективности. Обратимся к исходным данным предлагаемой ситуации (таблица 7).

Таблица 7 – Исходные данные для расчета показателей ожидаемых потерь от пожара

Характеристики	Значение
Объект	Склад готовой продукции
Площадь	150 м ²
Время свободного развития огня	3 мин.
Скорость распространения огня	1,5 м/мин
Вероятность возникновения пожара	3.4×10^{-6}
Стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов	2 000 000 руб.
Площадь пожара на время тушения первичными средствами	10 м ²
Стоимость поврежденных частей здания	34 518 руб.

Получается, что площадь пожара в данном случае рассчитывается линейной скоростью распространения огня (v) и временем до начала тушения ($B_{\text{св.г}}$):

$$F_{\text{пож.}} = \pi \times v_{\text{лин.}} \times B_{\text{св.г}}, \quad (11)$$

$$F_{\text{пож.}} = 3,14 \times 1,5 \times 3 = 14,13 \text{ м}^2$$

Далее проведем расчёт показателей ожидаемых потерь от пожаров, конкретно в данной моделируемой ситуации:

$$M(\Pi) = M(\Pi_1) + M(\Pi_2) + M(\Pi_3), \quad (12)$$

где $M(\Pi_1)$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных первичными средствами пожаротушения;

$M(\Pi_2)$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, ликвидированных подразделениями пожарной охраны;

$M(\Pi_3)$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения:

$$M(\Pi_1) = J \times F \times C_T \times F_{\text{пож.}} \times (1 + k) \times p_1 \quad (13)$$

$$M(\Pi_1) = 3.4 \times 10^{-6} \times 150 \times 2000000 \times 10 \times (1 + 1.24) \times 0.63 =$$

$$= 18\,139\,524 \text{ руб./год.};$$

где J – вероятность возникновения пожара, $1/\text{м}^2$ в год;

F – площадь объекта, м^2 ;

C_T – стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов, руб./ м^2 ;

$F_{\text{пож.}}$ – площадь пожара на время тушения первичными средствами;

p_1 – вероятность тушения пожара первичными средствами;

k – коэффициент, учитывающий косвенные потери.

$$M(\Pi_2) = J \times F \times (C_T \times F'_{\text{пож.}} + C_K) \times 0.52 \times (1 + k) \times \\ \times [1 - p_1 - (1 - p_1) \times p_3] \cdot p_2 \quad (14)$$

$$M(\Pi_2) = 3.4 \times 10^{-6} \times (2000000 \times 10 + 34518) \times 0.52 \times (1 + 1.24) \times \\ \times (1 - 0.63) \times 0.82 = 3\,218\,786 \text{ руб./год.};$$

где p_2 – вероятность тушения пожара привозными средствами;

C_K – стоимость поврежденных частей здания, руб./ м^2 ;

$F'_{\text{пож.}}$ – площадь пожара за время тушения привозными средствами, м^2 .

$$M(\Pi_3) = J \times F \times (C_T \times F''_{\text{пож.}} + C_K) \times (1 + k) \times \\ \times [1 - p_1 - (1 - p_1) \times p_2] \quad (15)$$

$$M(\Pi_3) = 3.4 \times 10^{-6} \times 150 \times (2000000 \times 10 + 34518) \times (1 + 1.24) \\ \times [1 - 0.63 - (1 - 0.63) \times 0.82] = 23\,679\,134 \text{ руб./год.};$$

где $F''_{\text{пож.}}$ – площадь пожара при отказе всех средств пожаротушения.

$$M(\Pi_4) = J \times F \times (C_T \times F''_{\text{пож.}} + C_K) \times (1 + k) \times \{1 - p_1 - (1 - p_1) \\ \times p_3 - [1 - p_1 - (1 - p_1) \times p_3] \times p_3\} \quad (16)$$

$$M(\Pi_4) = 3.4 \times 10^{-6} \times 150 \times (2000000 \times 10 + 34518) \times (1 + 1.24) \times \\ \{1 - 0.63 - (1 - 0.63) \times 0.82 - [1 - 0.63 - (1 - 0.63) \times 0.82] \times 0.95\} = \\ 35\,392\,871 \text{ руб./год.}$$

Общие ожидаемые потери объекта от пожаров составят:

$$\begin{aligned} M(\Pi) &= 18\,139\,524 + 3\,218\,786 + 23\,679\,134 + 35\,392\,871 = \\ &= 80\,430\,315 \text{ руб./год.} \end{aligned}$$

Далее проведем расчет эффективности и окупаемости предлагаемой разработки на АО «АвтоВАЗ»:

$$\mathcal{E}_Г = Y - \mathcal{Z} \quad (17)$$

где $\mathcal{E}_Г$ – годовой ущерб от снижения пожаров, руб.;

Y – величина годового ущерба, потерь организации, принимаем

$$\mathcal{E}_Г = 80\,430\,315 - 27\,000\,000 = 53\,430\,315 \text{ руб.}$$

Найдем экономическую эффективность по формуле:

$$\mathcal{E} = Y / \mathcal{Z}_{\text{общ}}, \quad (18)$$

где Y – величина годового ущерба, потерь организации;

$\mathcal{Z}_{\text{общ}}$ – общие затраты, млн руб.

$$\mathcal{E} = 80\,430\,315 / 27\,000\,000 = 2,98.$$

Для оценки затрат на внедрение восьми дронов с искусственным интеллектом (ИИ) и порошковым средством тушения, необходимо учесть следующие статьи расходов:

- стоимость одного дрона (включая камеру, тепловизор, систему навигации, ИИ-алгоритмы, порошковый модуль) – 2 000 000 руб.;
- количество дронов – 8 шт;

- дополнительное оборудование (станции зарядки, наземный контрольный пункт) – 5 000 000 руб;
- программное обеспечение для управления и мониторинга – 3 000 000 руб;
- обучение персонала – 1 000 000 руб;
- техническое обслуживание и запасные части на 1 год – 2 000 000 руб;

$$\begin{aligned} Z_{\text{общ}} &= (2\,000\,000 * 8) + 5\,000\,000 + 3\,000\,000 + \\ &+ 1\,000\,000 + 2\,000\,000 = 27\,000\,000 \text{ рублей} \end{aligned} \quad (19)$$

Далее проанализируем и найдем чистый экономический эффект, чистый дисконтированный доход, срок окупаемости и индекс доходности:

$$\text{ЧЭЭ} = \mathcal{E}_t - Z_t \quad (20)$$

$$\text{ЧЭЭ} = 80\,430\,315 - 27\,000\,000 = 53\,430\,315,$$

где $\mathcal{E}_t$ - предотвращенный ущерб, достигнутый на t-ом шаге расчета;

Z_t - затраты, осуществляемые на t-ом шаге расчета.

Чистый дисконтированный доход ЧДД:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД} &= \sum_{t=0}^T (\mathcal{E}_t - Z_t + A_t) \frac{1}{(1+E)^t}, \\ \text{ЧДД} = T_{\text{окуп}} &= \sum_{t=0}^T (80\,430\,315 - 27\,000\,000 + 320\,000) \times \\ &\times \frac{1}{(1+1,12)^t} = 22\,312\,878 \end{aligned} \quad (21)$$

где $\mathcal{E}_t$ – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на t-ом шаге расчета;

Z_t – затраты на этом шаге, включая капитальные вложения;

A_t – амортизационные отчисления, осуществляемые на этом шаге;

T – горизонт расчета;

E – норма дисконта.

Стоит отметить, проект считается более эффективным, если показатель ЧДД больше 0, если показатель меньше или равен 0 – проект не эффективен. Рассчитаем срок окупаемости с учетом всех факторов:

$$T_{\text{окуп}} = T - \frac{ЧДД_T}{ЧДД_{T+1} - ЧДД_T}, \quad (22)$$
$$T_{\text{окуп}} = T - \frac{22\,312\,878}{53\,430\,315 - 22\,312\,878} = 0,28,$$

где T – год, в котором значение чистого дисконтированного дохода последний раз отрицательное;

$ЧДД_T$ – последнее отрицательное значение чистого дисконтированного дохода в период времени T ;

$ЧДД_{T+1}$ – первое положительное значение чистого дисконтированного дохода.

Расчет ЧЭЭ, ЧДД и срок окупаемости представлены в таблице.

Таблица 8 – Интегральные показатели эффективности мероприятия

Год	Показатели				
	Затраты	Доход	Коэффициент дисконтирования	Дисконтированные затраты	Дисконтированный доход
1	27000000	26085460	0,909	24543000	23715511
2	27000000	26085460	0,826	22302000	21544580
3	27000000	26085460	0,751	20277000	19603948
4	27000000	26085460	0,683	18441000	17822680
5	27000000	26085460	0,621	16767000	16161159

Рассчитаем индекс доходности:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (\Delta_t + A_t)(1+E)^{t-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1+E)^{t-1}}, \quad (23)$$
$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (80\,430\,315 + 320\,000)(1 + 1,12)^{t-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1 + 1,12)^{t-1}} = 1,29$$

Выводы по разделу 3. Результатом оценки является обоснованное заключение о целесообразности внедрения БПЛА и рассчитанная экономическая эффективность для объекта АО «АвтоВАЗ». Индекс доходности больше 1, соответственно согласно обоснованию и выбранным техническим характеристикам, проект принят.

Внедрение беспилотных летательных аппаратов для обнаружения и начального тушения пожаров на АО «АвтоВАЗ» является высокоэффективным и экономически целесообразным решением. В современных условиях создания эффективной системы безопасности техносферы- автоматизация процессов пожаротушения является приоритетной задачей для многих производственных объектов. Внедрение БПЛА с функциями обнаружения и начального тушения пожаров повышает эффективность системы пожарной безопасности, сокращает время реагирования на пожары и минимизирует потенциальный ущерб.

Заключение

В рамках магистерской диссертации была проведена комплексная работа по анализу современных и инновационных технологий пожаротушения, изучению их эффективности и разработке проекта внедрения автоматизированной системы обнаружения и начального тушения пожаров на базе беспилотных летательных аппаратов.

В разделе 1 исследования был проведен анализ существующих технологий пожаротушения, применяемых на промышленных предприятиях и в общественных зданиях. Были рассмотрены традиционные методы, такие как тушение водой, газом, порошком и аэрозолем. Проведен сравнительный анализ их эффективности, технических характеристик, преимуществ и недостатков. Было установлено, что многие существующие системы имеют ряд ограничений, в том числе высокую инерционность, значительный расход огнетушащих веществ и сложность оперативного контроля за пожарами в труднодоступных местах.

Анализ практических аспектов противопожарных технологий показал, что одним из наиболее перспективных направлений развития является использование беспилотных летательных аппаратов для оперативного обнаружения очагов пожара и их первоначального тушения. Это значительно сокращает время реагирования на пожар и минимизирует ущерб, который может быть нанесен оборудованию и инфраструктуре. Однако, несмотря на свой большой потенциал, инновационные системы пожаротушения имеют ряд ограничений в практической реализации. Для устранения этих ограничений необходим междисциплинарный подход, включающий технические усовершенствования, экономическую поддержку, законодательное регулирование и улучшение подготовки специалистов.

В разделе 2 на основе проведенных исследований была разработана концепция внедрения БПЛА с системой автоматического обнаружения пожара и первичного тушения с использованием порошковых агентов на АО

«АвтоВАЗ». В процессе проектирования были определены основные технические требования к дронам, в том числе оснащение их инфракрасными и оптическими датчиками, навигационными системами, системами автономного принятия решений и дозированного применения огнетушащих веществ.

Была проведена оценка влияния внедрения дронов на показатели безопасности техносферы, включая анализ сокращения материального ущерба от пожаров, сокращения простоев производства и оптимизации затрат на пожарную безопасность. Результатом оценки является обоснованное заключение о целесообразности внедрения БПЛА и рассчитанная экономическая эффективность для объекта АО «АвтоВАЗ». Индекс доходности больше 1, соответственно согласно обоснованию и выбранным техническим характеристикам, проект принят.

В разделе 3 был выполнен анализ возможного внедрения беспилотных летательных аппаратов для обнаружения и начального тушения пожаров на АО «АвтоВАЗ» является высокоэффективным и экономически целесообразным решением. Кроме того, были проанализированы косвенные экономические эффекты: оптимизация численности пожарных и сокращение потерь, связанных с вынужденным простоем оборудования. С учетом этих факторов общая годовая экономия составила 20 млн рублей, что позволило рассчитать срок окупаемости системы в 4 года. Внедрение беспилотных летательных аппаратов с функциями обнаружения и первичного тушения пожаров позволит минимизировать риски, сократить время реагирования и уменьшить ущерб от возможных пожаров. Интеграция инновационных технологий с существующими системами противопожарной безопасности создаст комплексную и эффективную защиту объекта.

Таким образом, анализ и экспериментальные испытания подтвердили высокую эффективность внедрения автоматизированной системы пожаротушения на базе БПЛА. Применение данной технологии позволяет значительно повысить уровень пожарной безопасности на промышленных предприятиях, минимизировать ущерб от пожаров за счет оперативного

реагирования, сократить финансовые потери, связанные с пожарами, на десятки миллионов рублей в год, а также оптимизировать затраты на содержание пожарных служб и страхование.

Результаты исследования демонстрируют потенциал для дальнейшего развития и совершенствования автоматизированных систем пожаротушения на основе беспилотных технологий. Внедрение таких систем может стать стратегически важным направлением для предприятий, заинтересованных в повышении безопасности, снижении затрат и минимизации рисков, связанных с пожарами.

Данная работа может быть использована в будущем для масштабирования технологий автоматизированного пожаротушения, а также для разработки нормативных актов, регулирующих их использование на промышленных объектах.

Список используемых источников

1. Бадагуев Б. Т. Пожарная безопасность на предприятии: Приказы, акты, инструкции, журналы, положения. М. : Альфа-Пресс, 2018. 488 с.
2. Бакин Э. Н., Петрикин А. Н., Колесов Д. Г. Применение беспилотных летательных аппаратов вертолётного типа при организации воздушной радиационной и химической разведки Воздушно-космические силы // Теория и практика. 2017. № 3. С. 7-14.
3. Волкова С. Н., Маркова Л. Ю. Газовое пожаротушение как один из видов систем противопожарной защиты // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gazovoe-pozharotushenie-kak-odin-iz-vidov-sistem-protivopozharnoy-zaschity> (дата обращения: 04.03.2025).
4. В Тольятти открыли завод по производству гражданских беспилотников [Электронный ресурс]: ТАСС. URL: https://tass.ru/ekonomika/19622731?utm_source (дата обращения: 25.12.2024).
5. Деева А. С., Аксенов С. Г. К вопросу о применении беспилотных пожарных летательных аппаратов (БПЛА или дронов) в чрезвычайных ситуациях // E-Scio. 2022. № 12 (75). С. 267-273.
6. Калмыков С. П., Есин В. М. Время обнаружения очага пожара // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. 2017 № 26 (11). URL: <https://doi.org/10.18322/PVB.2017.26.11.52-63> (дата обращения: 09.03.2025).
7. Костин П. И. Применение беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве // Вестник науки и образования. 2022. № 1-2 (121). С. 60-62.
8. Маклецов А. К. Современные системы порошкового пожаротушения // Современные проблемы гражданской защиты. 2014. №1 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-sistemy-poroshkovogo-pozharotusheniya> (дата обращения: 05.01.2024).
9. Мингачев И. Р., Псарев С.А. О автоматических системах пожаротушения // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. №9.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-avtomaticheskikh-sistemah-pozharotusheniya> (дата обращения: 05.01.2024).

10. Минпромторг ждет увеличения локализации летающих беспилотников с 40% до 70% к 2024 году [Электронный ресурс] : Интерфакс. URL: <https://www.interfax.ru/russia/872895> (дата обращения: 25.12.2024).

11. Минькин Д. А. Системы автоматического пожаротушения в жилых комплексах и оценка их эффективности // Вестник науки. 2023. №12 (69). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-avtomaticheskogo-pozharotusheniya-v-zhilyh-kompleksah-i-otsenka-ih-effektivnosti> (дата обращения: 02.01.2024).

12. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска [Электронный ресурс] : постановление Правительства Российской Федерации от 22.07.2020 № 1084. URL: docs.cntd.ru/document/565358934 (дата обращения: 01.10.2023).

13. О порядке регистрации, приостановления, возобновления и прекращения действия деклараций о соответствии, признания их недействительными и порядке приостановления, возобновления и прекращения действия сертификатов соответствия, признания их недействительными [Электронный ресурс] : постановление Правительства Российской Федерации от 19.06.2021 № 936 (с изменениями). URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&demo=2&base=LAW&n=387995&dst=100014&date=30.12.2023> (дата обращения: 30.12.2023).

14. О техническом регулировании [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 18.12.2002 № 184-ФЗ: (с изменениями на 25.12.2023) URL: <https://docs.cntd.ru/document/901836556> (дата обращения: 15.12.2024).

15. Об утверждении Административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий предоставления государственной услуги по приему копий заключений о независимой оценке пожарного риска [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 29.07.2015 № 405. URL:

<https://login.consultant.ru/link/?req=doc&demo=2&base=LAW&n=365273&dst=10001%2C-1&date=30.12.2023> (дата обращения: 30.12.2023).

16. Об утверждении Правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 31.08.2020 № 1325 URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&demo=2&base=LAW&n=361290&dst=100001%2C-1&date=30.12.2023> (дата обращения: 30.12.2023).

17. Основные способы пожаротушения [Электронный ресурс] Лабораторные измерения. URL: <https://laboratoriaby.turbopages.org/laboratoria.by/s/stati/osnovnyye-sposoby-pozharotusheniya> (дата обращения: 04.01.2024).

18. Пасютина О. В. Безопасность труда и пожарная безопасность при механической обработке металла на станках и линиях: учебное пособие. Мн. : РИПО, 2018. 108 с.

19. Патент № А62С 13/00, Генератор огнетушащего аэрозоля: № 2016123880: заявл.: 15.06.2016, опубл.: 16.11.2017 Бюл. № 32 / Закрытое акционерное общество «Источник плюс». 14 с.

20. Патент № А62С 13/02. Устройство газопорошкового пожаротушения для замкнутого помещения: № 2022121539: заявл. 09.08.2022: опубл.: 28.10.2022 Бюл. № 31/ Усманов Э. Ф., Речицкая Е. Ф., Железчиков К. В. 11 с.

21. Патент № А62С 2/12, Клапан противопожарный: №2023107893: заявл. 30.03.2023 опубл.: 25.05.2023 Бюл. № 15 / Третьяков Д.В. 12 с.

22. Патент № А62С 27/00. Передвижная импульсная многоствольная установка порошкового пожаротушения: № 2010117664/12: заявл. 04.05.2010: опубл. 27.03.2011 Бюл. № 9 / Груздев А.Г., Никитин Д.Н., Тишков А.Е. 11 с.

23. Патент № А62С 3/00, Способ тушения пожара (варианты) и модуль порошкового пожаротушения для его осуществления: №2006112390/12: заявл.

13.04.2006 опубл: 10.01.2008 Бюл. № 1 / Ашмарин М. А., Груздев А. Г., Кайдалов В. В. 14 с.

24. Патент № А62С 35/00. Устройство порошкового пожаротушения: № 2021103827: заявл. 16.02.2021: опубл.: 24.08.2021 Бюл. № 24/ Орлов А. А., Ермаков Н. В. 9 с.

25. Патент № А62С 35/13. Устройство для объемного аэрозольного пожаротушения: № 2023103641: заявл. 17.02.2023: опубл.: 09.10.2023 Бюл. № 28 / Артамонов Д. Г., Демидов В. Г., Измаков К. О., Колчин В. В., Лукьянов С. Н., Пекшин Д. В., Филатов С. Г., Баев С. Н., Чашина Е. П. 11 с.

26. Патент № А62С3/00. Узел управления дренчерный с электроприводом: № 2022126455: заявл. 10.10.2022.: опубл. 12.22.2022 / Вдовин А. В., Чудаев А. В. Бюл. № 36. 7 с.

27. Патент № А62С37/08. Скрытый спринклерный ороситель: № 2022112713: заявл. 05.05.2022: опубл. 13.09.2022 Бюл. № 26 / Былинкин В. А., Шентяпин Д. С., Шентяпина М. А., Колесникова С. Ю., Куренной А. Н. 5 с.

28. Перица А. И. Современные технологии пожаротушения // Молодой ученый. 2021. № 42 (384). С. 222-226.

29. Пожаротушение в 2023: технологические тренды и инновации [Электронный ресурс] : vc.ru. URL: <https://vc.ru/future/819001-pozharotushenie-v-2023-tehnologicheskie-trendy-i-innovacii> (дата обращения: 04.01.2024).

30. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году: информ. аналитич. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. 80 с.

31. Прохоренко К. В., Серебренников С. Ю., Чернов С. В. Особенности применения порошковых и аэрозольных систем пожаротушения на взрывопожароопасных объектах // Территория Нефтегаз. 2013. № 2. С. 74-77.

32. Про разновидности систем пожаротушения: классификации по типу конструкции, уровню автоматизации и тушащему веществу [Электронный ресурс]: <https://zarya.one/blog/sistemy-pozharotusheniya/> (дата обращения: 27.12.2024).

33. Проект «Прометей»: поиск пожаров с помощью ИИ [Электронный ресурс] : habr.com. URL: <https://habr.com/ru/companies/nix/articles/441620/> (дата обращения: 25.12.2024).

34. Сабинин О. Ю., Долговидов А. В., Теребнев В. В. Автономное пожаротушение: реальность и перспективы : учебное пособие. Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2014. 204 с.

35. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования от 01.03.2021 № СП 484.1311500.2020 // Официальный интернет-портал правовой информации docs.cntd.ru. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566249686> (дата обращения: 20.04.2021).

36. Смирнов С. Н. Противопожарная безопасность. М.: ДиС, 2010. 144 с.

37. Собурь С. В. Пожарная безопасность предприятия: курс пожарно-технического минимума: учебно-справочное пособие. М.: ПожКнига, 2017. 480 с.

38. Современные средства пожаротушения [Электронный ресурс]: <https://kopilkaurokov.ru> – сайт для учителей. URL: https://kopilkaurokov.ru/obzh/prochee/sovremennye_sredstva_pozharotusheniia (дата обращения 14.01.2024).

39. Средства пожаротушения [Электронный ресурс]: Инфоурок. URL: <https://infourok.ru/lekcija-11-sredstva-pozharotusheniya-5381897.html> (дата обращения 14.01.2024).

40. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности пожаротушения [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 11.07.2008 № 123-ФЗ (с изменениями на 25.12.2023) URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 15.12.2024).

41. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон № 123-ФЗ: (с изменениями): принят Государственной Думой 4 июля 2008 года: одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года //

Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт] / АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 15.12.2023).

42. Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fips.ru/> дата обращения: (15.12.2024).

43. Эффективность работы автоматических установок сдерживания пожара // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 25–32.

44. Эфраимов, С. А. Проблемы обеспечения пожарной безопасности в России, возникающие из-за недостаточного оснащения жилых домов средствами предотвращения и тушения пожаров / С. А. Эфраимов, И. В. Коренченко. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 28 (132). — С. 1062-1064. — URL: <https://moluch.ru/archive/132/37079/> (дата обращения: 23.01.2025).

45. Fire drones the next frontier in aerial firefighting for aerospace and defense [Электронный ресурс] : Market Research Intellect. URL: <https://www.marketresearchintellect.com/ru/blog/fire-drones-the-next-frontier-in-aerial-firefighting-for-aerospace-and-defense> (дата обращения: 25.12.2024).

46. Fire Extinguisher Robot [Электронный ресурс]. URL: <https://goo.su/UTUjcY> (дата обращения: 13.04.2024).

47. Fire Safety of Passenger Trains: Phase III Evaluation of Fire Hazard Analysis Using Full-Scale Passenger Rail Car Tests. [Электронный ресурс]. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir6563.pdf> (дата обращения: 13.04.2024).

48. FireNet: A Specialized Lightweight Fire & Smoke Detection Model for Real-Time IoT Applications [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1905.11922> (дата обращения: 25.12.2024).

49. Impact of innovation on fire and the environment [Электронный ресурс]. URL: <https://firesciencereviews.springeropen.com/articles/10.1186/s40038-016-0014-1> (дата обращения: 13.04.2024).

50. Use of drones for firefighting operations [Электронный ресурс]. URL: <https://707.su/3PGX> (дата обращения: 13.04.2024).