

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 / специальности)

Управление пожарной безопасностью

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИСЕРТАЦИЯ)

на тему Применение мобильной робототехники при тушении пожаров

Обучающийся

О.А. Дунаева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

И.В. Дерябин

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

Консультант

к.э.н., доцент Фрезе Т.Ю.

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

Тольятти 2023

Содержание

Введение.....	3
1 Информационно-аналитический обзор основных методов тушения пожара	8
1.1 Классификация и виды пожаров. Способы тушения пожаров.....	8
1.2 Преимущества и недостатки применения существующих методов пожаротушения.....	17
2 Анализ современных мобильных технических средств автоматизированного пожаротушения	32
2.1 Газовые и аэрозольные средства пожаротушения.....	32
2.2 Комбинированные средства пожаротушения	42
3 Особенности применения мобильной робототехники при тушении пожаров	58
3.1 Совершенствование технологии пожаротушения с применением мобильной робототехники	58
3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий при организации пожаротушения мобильной робототехникой	85
Заключение	99
Список используемых источников.....	101

Введение

Роботизация производственно-технологических процессов во всех сферах деятельности человека является ведущей и длительной тенденцией развития современного общества. Большое распространение получили промышленные работы, ставшие главной технологической базой машиностроительной, приборостроительной и электронной отраслей мировой промышленности.

Создание совершенных промышленных роботов осуществляется на основе научно-теоретических исследований, проводимых учеными многих научных коллективов. Однако разработка этих сложнейших робототехнических средств сдерживается отсутствием открытой комплексной научно-теоретической базы для расчетов и конструирования автономных мобильных комплексов с учетом новейших достижений в отраслях навигационных систем, систем технического зрения, систем анализа окружающих обстоятельств и принятия решений без участия оператора.

Необходимость широкого внедрения мобильных роботов обусловлена повышением производительности труда и уменьшением опасности для жизни человека, что обусловлено ростом количества и масштабов техногенных катастроф, неизбежных в условиях индустриализации экономики; увеличением количества природных катаклизмов и экологических бедствий, вызванных глобальным потеплением и индустриализацией; в которых стремительно растет роль робототехнических средств; увеличение масштабов и разновидностей терроризма; ростом объемов изготовления и транспортировки наркотиков, радиоактивных и других опасных веществ.

Существует ряд экстремальных положений, где единственными средствами, способными защитить человека, мобильные работы. Поэтому для многих отраслей промышленности и государственных структур

использование МР – это единственный способ исключения или уменьшения риска для жизни и здоровья человека. Острая потребность России в МР обусловлена необходимостью оснащения соответствующих служб.

Несмотря на арсенал современных средств противопожарного мониторинга и противопожарной охраны, из-за отсутствия возможности своевременного оперативного обнаружения и обезвреживания, пожары из незначительных очагов перерастают в экологические катастрофы. Поэтому вопрос противопожарной защиты сегодня остается открытым и нуждается в детальном изучении, а современные информационные технологии, не обеспечивающие в полной мере решения вопроса надежного раннего выявления очагов пожаров, улучшаются.

Как известно, эффективность защиты лесов от пожаров прежде всего зависит от раннего выявления их очагов и своевременного оповещения об опасности соответствующих служб. Поэтому разработка и исследование моделей, методов, информационных технологий раннего выявления очагов лесных пожаров, ориентированных на мобильность и оперативность, является современной актуальной научно-прикладной задачей. Предлагаемая информационная технология, суть которой заключается в привлечении дополнительных неспециальных технических ресурсов, владельцами которых являются простые пользователи, в состав информационных технологий раннего выявления очагов лесных пожаров, призвана устранить противоречие между высоким уровнем.

Целью работы является исследование применения мобильной робототехники при тушении пожаров.

Достижение цели работы предполагает решение следующих задач:

- изучить классификацию и виды пожаров. Рассмотреть способы тушения пожаров;
- определить преимущества и недостатки применения существующих методов пожаротушения,
- рассмотреть газовые и аэрозольные средства пожаротушения,

- рассмотреть комбинированные средства пожаротушения,
- определить пути совершенствования технологии пожаротушения с применением мобильной робототехники,
- осуществить анализ и оценку эффективности предлагаемых мероприятий при организации пожаротушения мобильной робототехникой.

Объект исследования: процессы мониторинга состояния пожарной безопасности.

Предмет исследования: модели, методы и технологии раннего выявления очагов пожаров.

Методы исследования: для решения задач распознавания очагов пожаров использованы следующие методы: метод анализа для уменьшения размерности снимков и уменьшения шума, метод нечеткой кластеризации для определения точек кластера пожара, методы параллельных расчетов для повышения эффективности и скорости расчетов. Для реализации алгоритмов преобразования изображений и исследования эффективности обработки изображений использован высокоуровневый язык программирования.

Практическое значение полученных результатов. Разработанная информационная технология определения очагов пожаров позволяет: повысить эффективность информационных систем противопожарного мониторинга путем использования привлеченных беспилотных летательных аппаратов, обработки и вывода информации в on-line режиме, что позволит решить информационно-технологическую задачу обеспечения оперативности получения информации о наличии очагов пожаров.

Структура и размер работы. Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем работы составляет 121 страница. Работа содержит 10 таблиц и 13 рисунков. Библиографический список насчитывает 173 наименования.

Термины и определения

В настоящей работе используются следующие термины и определения:

Аэрозольные средства пожаротушения – смеси мелкодисперсных твердых частиц солей калия и газов (CO_2 , N_2 , H_2O).

Группы пожаров – пожары на открытом пространстве и в ограждениях.

Искры из горящей зоны – частицы горящего материала и капли расплавленных веществ.

Нахлест – самый простой способ тушения перебежного низового пожара.

Огнетушащие порошки – порошки для тушения твердых, жидких и газообразных горючих веществ и электроустановок, находящихся под напряжением.

Пожар – внерегламентный процесс уничтожения или повреждения огнем имущества, во время которого возникают факторы, опасные для живых существ и окружающей среды.

Пожары, происходящие на открытом пространстве: распространяющиеся, локальные (не распространяющиеся) и массовые.

Повышенная температура окружающей среды – допустимая температура нагрева кожи человека не превышает $40\text{ }^\circ\text{C}$. При температуре воздуха до $60\text{ }^\circ\text{C}$ время безопасного пребывания человека в зоне теплового действия составляет 20 мин.

Противопожарные барьеры – для борьбы с пожарами создают как препятствие для распространения фронта горения.

Тепловое излучение при пожаре – при пожарах на открытой среде температурный режим пламени описывают по его тепловому излучению, непосредственно влияющему на личный состав пожарно-спасательных подразделений, пожарно-спасательную технику, технологическое оборудование и горючие материалы, находящиеся в зоне теплового воздействия.

Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе используются следующие сокращения и обозначения:

АГПС – аэрозольно-газо-порошковая смесь;

АУС – аэрозолеобразующий состав;

ОП – огнетушащий порошок;

ВР – огнетушащее вещество;

ГВА – генератор огнетушащего аэрозоля;

ГВС – газовое огнетушащее вещество;

ГВРР - газовое огнетушащее вещество – разбавитель;

МР – мобильная робототехника;

ОФП – опасные факторы пожара;

СГПС – стехиометрическая гептано-воздушная смесь;

ТВС –тернарная огнетушащая смесь;

ХНО – химически опасный объект.

1 Информационно-аналитический обзор основных методов тушения пожара

1.1 Классификация и виды пожаров. Способы тушения пожаров

Все историческое развитие человечества связано с использованием огня. Впервые получив огонь, человечество смогло осознанно использовать его как инструмент для доказательства своего существования и помощи в нелегкой борьбе с силами природы. Открыв огонь и научившись его использовать, человечество невольно открыло новую эру развития. В современных условиях практически отсутствуют области жизни, в основе работы которых не было бы в том или ином виде процесса горения.

При протекании горения в определенном ограниченном пространстве, в условиях контроля и сознательного управления процесс горения в форме тепловой энергии оказывает человеку неоценимую услугу.

Вместе с тем, в случаях, когда горение происходит в неконтролируемом режиме, оно становится злом, что может вызвать поражение и гибель людей и животных, уничтожать материальные ценности, созданные трудом многих поколений человечества, и негативно влиять на окружающую среду.

Пожар – вне регламентный процесс уничтожения или повреждения огнем имущества, во время которого возникают факторы, опасные для живых существ и окружающей среды [104].

Любой пожар, независимо от его размеров, наносит материальный ущерб, вред окружающей среде, а в некоторых случаях приводит к травмированию и гибели людей [72].

Пожар представляет собой сложный физико-химический процесс, включающий, кроме непосредственно процесса горения, развивающиеся во времени и пространстве явления массо- и теплообмена. Эти явления взаимосвязаны и характеризуются параметрами пожара: скоростью

выгорания, температурой и т.д. – и определяются рядом условий, многие из которых носят случайный характер [115, с. 23-25].

Общие явления на пожаре приводят к возникновению отдельных явлений, то есть таких, которые, вероятно, могут происходить на пожарах. К ним относятся: травмирование и гибель людей, взрывы, деформация и повреждение технологических аппаратов и установок, деформация и обрушение строительных конструкций, вспенивание или выброс нефтепродуктов из резервуаров и другие явления [53, с. 65].

Учитывание и предотвращение таких «побочных» явлений чрезвычайно важно с точки зрения избрания тактики тушения и организации оперативной работы на пожаре. Они определяют обстановку на пожаре и его особенности [78, с. 143].

Особую опасность с точки зрения динамики развития пожаров представляют взрывы. Взрывы обычно возникают внезапно, развиваются с большой скоростью, характеризуются значительным энергетическим потенциалом, одновременным выделением большой механической энергии. Энергетический импульс взрыва характеризуется большой разрушительной силой и во многих случаях взрывы сопровождаются человеческими жертвами [120, с. 322].

С точки зрения физики взрыв является процессом выделения большого количества энергии в ограниченном объеме за сравнительно малый период времени. Под взрывом в данном случае понимается процесс интенсивного выделения тепловой энергии горючей смеси при сгорании ее в ограниченном объеме. В этом случае выделившееся тепло практически полностью расходуется на нагрев и расширение продуктов горения, с резким повышением давления. Когда давление превышает прочность конструкций технологического оборудования или строительных конструкций, происходит их механическое разрушение [84].

Пожар сопровождается еще и социальными явлениями, наносящими обществу не только материальный, но и моральный ущерб. Гибель людей,

термические травмы, отравление токсичными продуктами горения, появление паники на объектах с массовым пребыванием людей и т.д. – это все явления, сопровождающие пожар. Они вызывают большой резонанс в обществе, могут негативно влиять на общественное мнение и приводить к значительной психологической нагрузке и даже вызвать стрессовое состояние у людей.

Классифицируются пожары по их геометрическим размерам и размеру материального ущерба, по продолжительности и другим признакам сходства или различия. Любая классификация пожаров носит условный характер, и она разработана с точки зрения пожарной тактики для изучения и разработки способов и приемов оперативно-тактических действий на пожарах.

По условиям газо- и теплообмена с окружающей средой все пожары делятся на две большие группы – пожары на открытом пространстве и в ограждениях [28].

Пожары, происходящие на открытом пространстве, условно могут быть разделены на три вида: распространяющиеся, локальные (не распространяющиеся) и массовые.

Распространяющимися считаются пожары, которые происходят с увеличением их размеров (площади, фронта, периметра, радиуса и др.). Пожары на открытом пространстве распространяются по разным направлениям и с разной скоростью в зависимости от природных условий, особенностей теплообмена, размера противопожарных разрывов, размеров факела пламени, критических тепловых потоков, вызывающих возгорание материалов, направления и скорости ветра и других факторов.

Распространение пожара происходит по поверхности горючих материалов (пожарной загрузки). На развитых пожарах возгорание смежных с очагом горения объектов может происходить под влиянием лучистого излучения или вследствие опрокидывания искр и головешек в сторону объектов, находящихся на расстоянии по направлению ветра. Такой механизм характерен для больших пожаров на складах пиломатериалов, в

сельской местности, на открытых складах разных веществ, в районах старой городской стройки с узкими улицами.

Не распространяемыми (локальными) пожарами называются пожары, которые происходят без распространения по территории объектов. Локальный пожар представляет собой частный случай распространяющегося пожара, но в условиях, когда по тем или иным причинам угроза распространения горения на другие объекты или его частицы отсутствует.

Так, на больших складах нефти и нефтепродуктов пожар одного или группы резервуаров относится к локальным. Однако при определенных условиях пожары на складах нефтепродуктов перерастают в распространяющиеся. Распространение огня на соседние резервуары может произойти при вспенивании и выбросах горящих нефтепродуктов и деформациях металлических резервуаров.

Открытые пожары в изгородях обычно делят на две подгруппы. Первая подгруппа включает пожары в помещениях высотой до 6 м, в которых оконные проемы расположены на одном уровне и газообмен происходит в пределах высоты этих проемов (жилые помещения, школы, больницы, административные и подобные им помещения) [163]. При пожаре пламя непосредственно контактирует с конститутивными элементами перекрытия и может распространяться под потолком или непосредственно по потолку.

Ко второй подгруппе относятся пожары в помещениях высотой более 6 м, в которых отверстия в ограждениях располагаются на разных уровнях, а расстояния между центрами приточных и вытяжных проемов могут быть очень значительными. В таких помещениях и частях построек наблюдаются большие перепады давления по высоте и, как следствие, значительная скорость движения газовых потоков, а также скорость выгорания пожарной нагрузки. К таким помещениям относятся машинные и технологические залы промышленных зданий, зрительские и сценические комплексы театров [28].

Закрытые пожары в изгородях протекают при полностью закрытых проемах, когда газообмен осуществляется только вследствие инфильтрации

воздуха и продукты горения удаляются из зоны горения газов из-за неплотностей в ограждениях, притворах дверей, оконных рам, при действующих системах естественной вытяжной вентиляции без организованного притока воздуха, а также отсутствие систем вытяжной вентиляции.

Закрытые пожары в ограждении, в свою очередь, могут быть поделены на две подгруппы [85]:

- в помещениях с остекленными оконными проемами (помещениях жилых и общественных зданий);
- в замкнутых объемах без оконных проемов (на складах, в производственных помещениях, гаражах, подвалах промышленных зданий, камерах холодильников, на некоторых материальных складах, в трюмах, элеваторах, безфонарных зданиях промышленных предприятий).

В зависимости от вида горючих материалов и веществ пожара разделены на классы А, В, С, D, Е и подклассы А1, А2, В1, В2, D1, D2 и D3 [42, с. 33-36].

К пожарам класса А относится горение жестких веществ. При этом, если горят вещества, способные к тлению, например, древесина, бумага, текстильные изделия и т.п., то пожары относятся к подклассу А1. При горении веществ, не способных к тлению, например, пластмассы, пожары относятся к подклассу А2 [42, с. 33-36].

К классу В относятся пожары легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Они будут относиться к подклассу В1, если жидкости не растворимы в воде (бензин, дизтопливо, нефть и др.) и к подклассу В2 - если это горючие растворимые в воде жидкости (например, кетоны, спирты, органические кислоты) [42, с. 33-36].

Если происходит горение горючих газов, например водорода, пропана и др., пожары относятся к классу С.

Пожары горючих металлов и металлосодержащих соединений относятся к классу Б. К подклассу Б1 относятся горение «легких» металлов, используемых в аэрокосмической отрасли, например, алюминия, магния и их сплавов.

К подклассу Б2 относятся горение щелочных и щелочноземельных металлов, способных к химическому взаимодействию с водой, например, натрия и калия.

К подклассу Б3 относят горение металлосодержащих соединений, например металлоорганических или гидридов.

Пожары электроустановок под напряжением, независимо от свойств материала, из которого они произведены, и вращающихся в них веществ относят к пожарам класса Е.

Приведена на рисунке 1 классификация пожаров по разным признакам сходства и различия условна, поскольку пожары могут в ходе своего развития переходить из одного класса, вида, группы в другие. Однако для практики тушения пожара рассматриваемая классификация необходима, поскольку она позволяет определить способы и приемы прекращения горения, вид огнетушащего вещества, организацию и тактику ведения оперативных действий пожарно-спасательных подразделений на определенный момент развития пожара.

Под опасными факторами (факторами) пожара понимают проявления пожара, которые приводят или могут привести к опечению, отравлению летучими продуктами сгорания или пиролиза, травмированию или гибели людей и (или) причинению материального, социального, экологического ущерба.

Опасными факторами пожара (ОФП), влияющими на людей, являются: открытый огонь и искры, повышенная температура окружающей среды, поверхностей; токсичные продукты горения, дым; пониженная концентрация кислорода; части строительных конструкций, агрегатов и установок при их разрушении и падении; опасные факторы взрыва и т.д

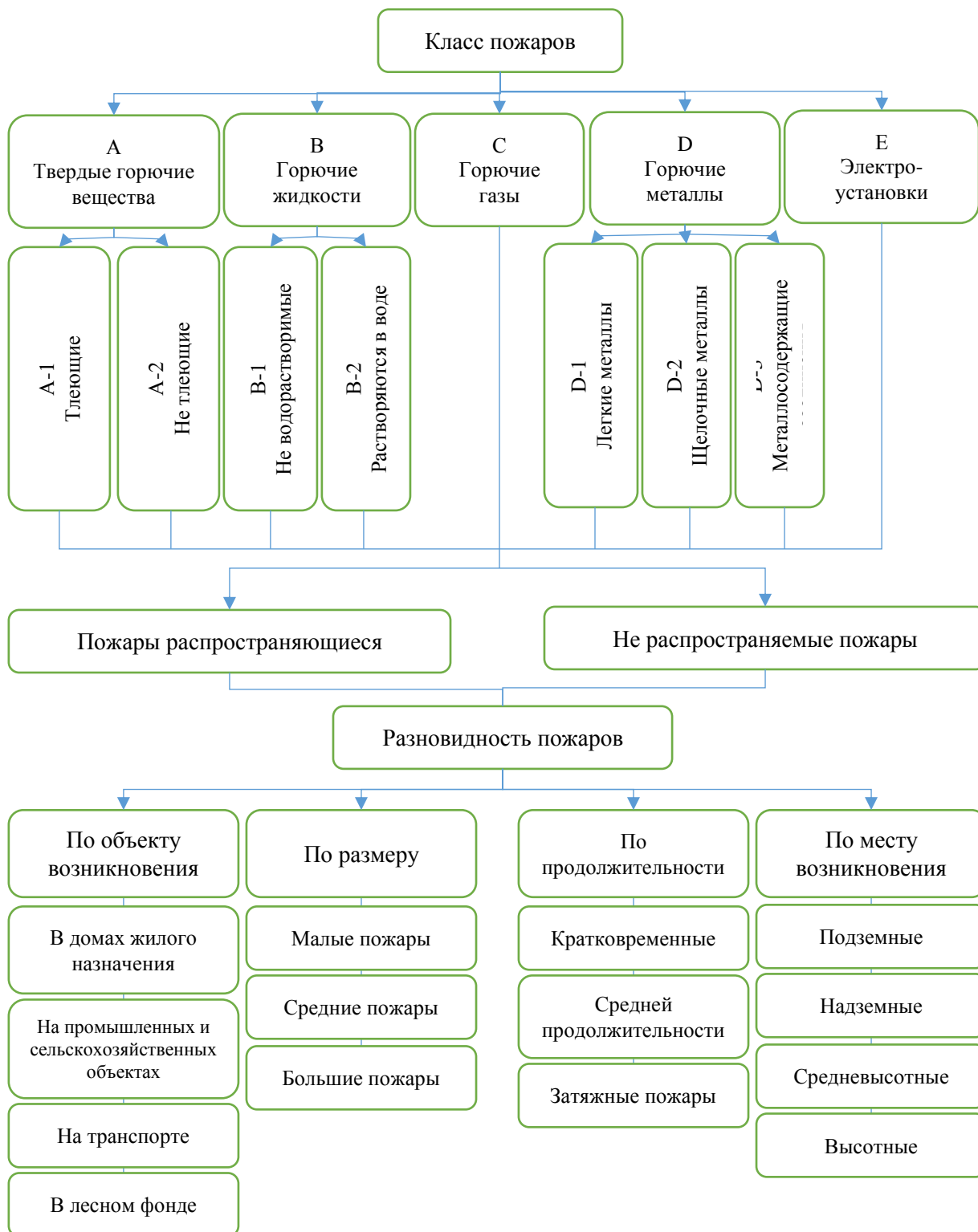


Рисунок 1 – Классификация пожаров [42, с. 33-36]

Наибольший материальный ущерб наносят пожар в местах концентрации материальных ценностей: на объектах торгового комплекса, в

складских и производственных зданиях и т.д. Пожары, возникающие в жилых зданиях, гостиничных комплексах, местах отдыха и лечебных заведениях, дают основную долю гибели людей.

Пожары в многоэтажных зданиях возникают сравнительно редко, но характеризуются быстрым распространением по вертикали, охватом пожаром.

Значительной площади построек одновременно на многих этажах и уровнях. Они довольно часто сопровождаются гибелью людей, значительным материальным ущербом.

Гибель людей в основном происходит на ранних стадиях развития пожара, преимущественно от отравления продуктами неполного сгорания. Чаще всего на пожаре гибнут дети, пожилые люди и инвалиды.

При проведении сравнения опасности воздействия различных ОФП на организм человека следует учитывать степень и тяжесть их влияния и период опасного действия.

Открытый огонь. При сгорании горючих веществ в газообразном состоянии, например при горении газонефтяного фонтана, температура факела составляет более 1100 °С, а ацетилена в смеси с воздухом – 2150-2200 °С. При пожарах нефти и нефтепродуктов в резервуарах температура факела может составлять 1100-1300 °С, а древесина в виде изделий и строительных конструкций горит при температуре от 700 до 1000 °С [70, с. 339].

Воздействие таких высоких температур на организм человека опасно даже при краткосрочном действии. Так, если температура кожи человека достигает 45 °С, на ней возникает болезненный покрасневший участок – эритема. Это соответствует опеку первой степени. Как только температура поднимется до 55 °С, возникает ожог, чаще второй степени, а при повышении температуры свыше 60 градусов начинается свертывание белков кожи и ее некроз. Более высокая температура приводит к обугливанию ткани [70, с.339].

Из этого можно заключить, что попадание в зону горения и даже кратковременный контакт с пламенем вызывает термическое поражение организма человека и живых существ, а при длительном действии приводит к гибели.

Искры из горячей зоны. Искры, поступающие из зоны горения, представляют собой частицы горящего материала и капли расплавленных веществ. Температуру горящих искр и раскаленных частиц можно ориентировочно определить по их цвету. Так, искры неяркого красного цвета нагреты до 550 °С, а оранжевого – до 1100 °С. Попадание их на незащищенные частицы кожного покрова, безусловно, приведет к ожогам, а попадание на горючую поверхность – к развитию пожара [70, с. 339].

Повышенная температура окружающей среды. Допустимая температура нагрева кожи человека не превышает 40 °С. При температуре воздуха до 60 °С время безопасного пребывания человека в зоне теплового действия составляет 20 мин. При повышении температуры среды на 10 °С это время сокращается вдвое, а при значительной влажности (70-75%) время безопасного пребывания в зоне теплового воздействия уменьшается.

Тепловое излучение при пожаре. При пожарах на открытой среде температурный режим пламени описывают по его тепловому излучению, непосредственно влияющему на личный состав пожарно-спасательных подразделений, пожарно-спасательную технику, технологическое оборудование и горючие материалы, находящиеся в зоне теплового воздействия. При длительном воздействии теплового облучения с интенсивностью 1050 Вт/м человек будет испытывать мучительную боль. Предельный предел кратковременного облучения человека до 25 с, без особых средств защиты, не превосходит 2800 Вт/м. Даже в полном оперативном снаряжении и под защитой водяных стволов время нахождения личного состава в зоне теплового облучения с интенсивностью 10500 Вт/м не превышает 5 минут. Тепловое облучение с интенсивностью 3520 Вт/м

предельно допустимо для специальной защитной одежды пожарных, а 9800 Вт/м – для изделий из древесины.

Характеризуя опасность теплового излучения на пожаре достаточно указать, что плотность теплового излучения при горении древесины составляет 260 кВт/м.

1.2 Преимущества и недостатки применения существующих методов пожаротушения

Под тушением пожара понимают процесс воздействия сил и средств, а также использование методов и принятие мер по ликвидации пожара [83]. Согласно последнему нормативному документу, различают две основные тактические операции при тушении пожара – локализация пожара и его ликвидация. Иногда эти операции детализируют, выделяя:

- остановку распространения кромки пожара;
- локализацию пожара;
- догашивание очагов горения, оставшегося внутри пожара;
- караул границ пожара [25, с.198].

Процесс тушения пожаров наиболее сложный и трудоемкий по сравнению с другими видами ландшафтных пожаров, и успешность тушения в основном зависит от личного опыта и профессионализма того, кто руководит тушением лесного пожара. Проблема тушения лесных пожаров, несмотря на значительное внимание к ней, сегодня далека от решения. В значительной степени это обусловлено большими масштабами пожаров, а также разнообразием условий возникновения и распространения.

Основными методами тушения пожаров являются следующие:

- нахлест или заброс грунтом кромки перебежного низового пожара,
- гашение водой или растворами химикатов,
- тушение с помощью создания заградительных полос,
- отжиг или встречный огонь,

- тушение с привлечением авиации,
- искусственное вызывание осадков,
- использование газофазных, порошковых ВР и пен,
- тушение с использованием взрывчатых веществ [173, с. 39-45].

Метод тушения выбирают с учетом особенностей пожара. Одним из важнейших критериев является интенсивность пожара. Пожар высокой интенсивности обычно невозможно гасить так называемыми активными методами. Последние направлены на непосредственное тушение кромки пожара. Для их применения необходимо подойти на близкое расстояние к кромке пожара, что часто невозможно произвести из-за высокой интенсивности теплового излучения в этой области.

Для тушения пожаров высокой интенсивности используют косвенные (пассивные) методы тушения: создание заградительных полос, отжиг. Применяя такие методы тушения, линию остановки огня выбирают на некотором расстоянии от кромки пожара. Для остановки распространения пожара используют защитную полосу (противопожарный барьер), где есть условия невозможности процесса горения. Под противопожарным барьером понимается участок территории, препятствующий распространению и развитию пожара. Согласно нормативному документу [83] различают следующие виды противопожарных барьеров: минерализованные полосы, противопожарные разрывы, противопожарные заслоны, противопожарные канавы, реки, озера, автомобильные пути. Некоторые из них существуют или создают их заранее с целью пожарной профилактики лесных пожаров; другие сооружают в процессе тушения пожара.

Для создания искусственных пожарных барьеров необходимо на некотором расстоянии от кромки пожара удалить горючие материалы или перевести их в негорючее состояние. Для этого с помощью техники сооружают минерализованные полосы путем прокладки канав и засыпания грунтом горючих материалов. Применение косвенных методов связано с известной потерей от огня значительной территории, к которой принадлежит

вся площадь защитной полосы, глубина которой при сильных пожарах составит сотни метров.

Рассмотрим более подробно методы и средства тушения пожаров.

Нахлест – самый простой способ тушения перебежного низового пожара. Его используют в борьбе с пожарами слабой и средней интенсивности. При этом обычно используют подсобные материалы: пучки веток длиной 1 – 2 м, небольшие деревца лиственных пород, смоченную водой ткань [113, с. 192-197].

Нахлестывание можно погасить только кромку перебежного пожара, то есть при отсутствии стадии гетерогенного горения. Тушение осуществляется вследствие отрыва пламени от горящих частиц и охлаждения горючего материала. Скорость гашения одним человеком кромки пожара методом нахлестования составляет ~300 м/час.

В случае если низовой пожар сопровождается наличием стадии гетерогенного горения, применяют метод заброса кромки пожара почвой. Его можно осуществить вручную с помощью штыковых лопастей. При этом сначала сбивают пламя, затем, остановив пожар, снова обходят кромку и насыпают за ней почву толщиной 6 – 8 см и шириной 40 – 60 см. Один рабочий может таким образом остановить низовой пожар на фронте 60 – 80 м за первый достойную работы. В дальнейшем производительность резко падает [56, с. 154]. Такой способ гашения можно применять только на легких почвах.

Следовательно, тушение пожаров нахлестыванием или забросом грунтом кромки пожара является простейшими методами тушения, не требующими привлечения сложной техники. Скорость гашения методом нахлеста в четыре - пять раз превышает скорость гашения забросом кромки пожара грунтом, если используют только ручной труд. Тушение методом нахлеста можно применять на любых почвах, в отличие от метода заброса почвой, к которому прибегают только на легких почвах. Одновременно

тушение методом нахлеста можно использовать только при отсутствии стадии гетерогенного горения.

В тушении большинства пожаров вода остается основным огнетушащим средством [149]. Ее использование значительно превышает использование всех других средств пожаротушения вместе взятых. Это обусловлено наличием у воды уникального комплекса физико-химических свойств [123, с. 395]. Она имеет высокое значение удельной теплоемкости и аномально высокое теплота испарения. Это делает воду веществом, обладающим чрезвычайно высоким охлаждающим действием. Кроме того, вода является доступным, дешевым и экологически безопасным веществом.

В то же время вода не лишена некоторых отрицательных свойств, затрудняющих ее использование с целью пожаротушения. Малая вязкость воды приводит к быстрому ее стеканию с вертикальных и наклонных поверхностей. Высокое поверхностное натяжение ухудшает смачивающую способность воды. Последние два фактора существенно снижают коэффициент использования воды.

Еще одним из недостатков воды является ухудшение ее охлаждающего действия по твердым поверхностям, нагретым до температур свыше 165 - 170 °С. При этих температурах между каплями воды и жесткой поверхностью образуется паровая пленка, которая затрудняет теплообмен. Феномен отрыва капли от нагретой поверхности получил название эффекта Лейденфроста [151].

При тушении твердых горючих материалов, к которым относятся и ЛГМ, коэффициент использования воды обычно варьируется от 0,01 до 0,1 (для компактных струй) и от 0,2 до 0,5 (для тонкораспыленных струй) [39, с.10-15].

Относительно легко водой гасятся низовые пожары малой интенсивности. Обычно для этого используют разного вида ранцевые огнетушители. Для тушения пожаров средней и высокой интенсивности необходимо применять ручные или лафетные стволы. Их использование при

тушении пожаров имеет некоторые особенности. Для горючих материалов характерно наличие большого количества труднодоступных поверхностей горения, что приводит к необходимости обеспечивать подачу воды с разных сторон, что в условиях реальных пожаров не всегда возможно. Некоторые горючие материалы плохо смачиваются водой, что приводит к стеканию из них большей части воды. При тушении пожаров высокой интенсивности обычно невозможно обеспечить безопасную подачу воды на необходимое расстояние из-за высокой интенсивности теплового излучения вблизи фронта пожара.

Практика тушения пожаров позволяет сформулировать рекомендации по тушению пожаров водой:

- при тушении водой перебегающих низовых пожаров целесообразно использовать распыленные струи, обрабатывающие кромку пожара;
- для тушения устойчивых низовых пожаров, когда горят подстилка, парус, пни, необходимо использовать компактные струи, которые разрушают структуру горящих материалов, перемешивают их с грунтом, сметают на выгоревшую поверхность;
- во время тушения водой сильных пожаров сначала необходимо издали сильной компактной струей сбить пламя, а затем, приблизившись к фронту пожара, тщательно подавить горение на всех горящих поверхностях [56, с. 154].

Выбор воды как огнетушащего средства для тушения пожаров часто обусловлен наличием вблизи источников воды (род, озер). Расход воды на тушение пожаров варьируется в широком интервале. Для тушения перебежного низового пожара на один километр его кромки тратят несколько сот литров воды. Для низовых пожаров средней интенсивности расход воды составляет до нескольких десятков тонн на 1 километр фронта пожара. Для тушения низовых пожаров высокой интенсивности расход воды может превышать тысячи тонн на 1 км.

Такие большие затраты воды в значительной степени обусловлены потерями огнетушащего вещества вследствие стекания воды из горючих материалов. По оценкам авторов [77, с. 10-12], коэффициент использования воды при тушении пожаров не превышает нескольких процентов.

В работе [45,с.55-59], тушение пожара двухфазной средой «вода-пар» считается перспективным. Водяной пар обладает высокой проникаемостью и может быть использован для тушения пожаров в труднодоступных местах. В качестве метода генерации водяного пара представлены конструкции генератора водяного пара с электрическим нагревательным элементом от бортового генератора и автономного генератора водяного пара с нагревательным элементом от газовой горелки. Разработанные устройства позволяют в несколько раз снизить расход воды по сравнению с традиционными методами, улучшить условия труда пожарных и увеличить скорость тушения пожара.

В то же время на практике тушения пожаров такими установками малоэффективны, они не могут тушить низовые пожары высокой интенсивности, а также имеют ограниченный радиус применения.

Для уменьшения потерь за счет стекания воды используют разнообразные загустители – вещества, добавление которых к воде увеличивает вязкость растворов, что приводит к уменьшению скорости стекания растворов. В качестве загустителей предлагают использовать большое количество органических и неорганических веществ. Из органических веществ получили распространение водорастворимые полимеры: полиакриловая кислота, полиакриламид, поливинилпирролидон, поливиниловый спирт, эфиры целлюлозы. Из неорганических загустителей используют растворы полисиликатов натрия и калия и коллоидные сорта глин (бентонит) [162].

Применение загустителей повысило огнетушащую способность воды в полтора – два раза [57, с. 126-131].

Существенным прогрессом в использовании загустителей стала разработка тиксотропных смесей. Под тиксотропией понимают способность структурированной коллоидной системы восстанавливать во времени свою структуру после ее механического разрушения [36, с. 395]. Восстанавливая структуру, такие системы теряют их текучесть. Примерами структурированных коллоидных систем являются гели [152].

Еще одним способом повышения огнетушащей эффективности воды является добавление к ней неорганических смесей [58, с.126-134]. Растворы неорганических смесей могут действовать комплексно. Во-первых, они могут быть антипиренами, которые насыщают горючий материал и затрудняют его горение. Во-вторых, водные растворы некоторых неорганических веществ могут ингибировать пламенную фазу. В-третьих, водные растворы после испарения из них воды часто образуют на горящих поверхностях твердые пленки, обладающие изолирующими и теплозащитными свойствами.

Установлено [23, с.99-105], что при гашении целлюлозосодержащих горючих материалов (древесина) хорошо зарекомендовали себя водные растворы антипиренов: хлоридов аммония, натрия, калия, магния и кальция; гидрофосфатов аммония; сульфатов аммония; фосфорной кислоты; некоторых боратов и других веществ. Особенно высокие огнетушащие и огнезащитные свойства обладают системами, содержащими соединения азота и фосфора: введение в воду фосфата аммония обуславливает повышение огнетушащей способности воды в 2,06 раза для подавления пламенного горения (K1) и в три раза для полного подавления горения (K2). Высокоэффективной добавкой к воде также хлорид магния. Для него значения коэффициентов повышения огнетушащей эффективности составляют соответственно $K1 = 2,13$ и $K2 = 3,1$. Считают, что для этих веществ основной вклад в повышении огнетушащих свойств воды – изменять механизм термодеструкции целлюлозных материалов [170].

Наибольшие возможности улучшения огнетушащих характеристик воды дает применение композиций различных добавок, которые вносят

специфический вклад в изменение физико-химических характеристик воды, что может повысить ее огнетушащий эффект. Существенно повышает огнетушащую эффективность воды одновременное добавление к ней смачивателей и загустителей. Такое сочетание добавок улучшает смачивающую и проникающую способность водных растворов (за счет добавления смачивателя) и уменьшает потери ВР за счет стекания (воздействие загустителя). Еще большую эффективность пожаротушения проявляют смеси, содержащие, кроме смачивателя и загустителя, антипирены. Антипирены особенно эффективны при тушении материалов, склонных к тлению. Их присутствие в огнетушащей композиции существенно влияет на повторное возгорание, что особенно актуально при тушении больших пожаров.

В цикле работ белорусских исследователей представлены результаты изучения многокомпонентных жидкостных химических смесей, содержащих в своем составе как растворимые в воде вещества, так и твердые мелкодисперсные добавки [19, с. 334-335]. Для предлагаемых жидкостных химических смесей установлено увеличение показателя огнетушащей способности по сравнению с водой в два – три раза. Особенно отмечают преимущество таких смесей во время тушения тлеющих материалов.

В разное время [47, с.147-153] специально для тушения пожаров предлагали водные растворы фосфорной кислоты, хлорида кальция, хлорида магния, сульфата аммония, аммофоса (смесь гидро- и дигидрофосфата аммония), а также водные эмульсии хладонов, пены и порошковые огнетушащие средства. Все эти средства из-за высокой стоимости не нашли широкого применения.

Не получили распространения для тушения пожаров и пены, хотя их неоднократно предлагали для этих целей [140, с.142-148]. Еще менее перспективным представляется применение методов газового пожаротушения по отношению к пожарам.

В общем заключаем, что добавление к воде разнообразных веществ позволяет значительно повысить ее огнетушащую способность. Численно этот эффект может достигать значения 4 - 5. В то же время введением разнообразных добавок не удастся в полной мере устранить такой недостаток воды, как ее потери за счет стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Несмотря на заметное увеличение огнетушащей эффективности воды при модификации ее с помощью различных веществ, такие огнетушащие смеси не получили широкого распространения в практике тушения пожаров. Это обусловлено экономическими факторами – существенно увеличивается стоимость таких огнетушащих веществ по сравнению с водой. С учетом того, что на тушение больших пожаров тратят огромное количество огнетушащих веществ, применение таких растворов влечет за собой резкое увеличение расходов на тушение пожаров.

Противопожарные барьеры для борьбы с пожарами создают как препятствие для распространения фронта горения. Для создания такого барьера необходимо удалить со всей площади полосы горючие материалы или перевести в негорючее состояние. В случае если такую полосу создают полным удалением горючих материалов до минерального грунта, защитную полосу называют минерализованной. Если полосу создают путем обжига горючих материалов (отжиг), то ее называют выжженной защитной полосой [61, с. 164]. Метод тушения пожаров путем создания противопожарных барьеров относится к пассивным методам тушения. Иногда этот метод считается методом локализации пожара, но в большинстве случаев он может обеспечить полное прекращение пожара. Благодаря этому его можно считать методом ликвидации пожара [71, с. 154].

Противопожарные барьеры сооружают в тех случаях, когда из-за большой интенсивности теплового излучения вблизи кромки пожара невозможно применить прямые методы тушения. Расстояние, на котором начинается устройство противопожарного барьера, задают с таким расчетом, чтобы до окончания его создания персонал находился на безопасном

удалении от фронта пожара. Это расстояние, в свою очередь, обусловлено быстротой распространения пожара. Для низовых пожаров противопожарный барьер обычно начинают создавать на расстоянии от нескольких десятков метров до 100 м. В случае верховых пожаров барьер приходится начинать на расстоянии нескольких километров от фронта пожара.

Особое значение имеет выбор ширины противопожарного барьера. При отсутствии ветра она должна быть не меньше, чем удвоенная высота пламени [56, с. 154]. Для создания крупных по площади полос используют разнообразную землеройную технику: бульдозеры, тракторы с плугами, полосопрокладчиками, а также специализированную технику. Применение тяжелой техники вызывает значительные трудности при работе на каменистых почвах, в горной местности, при наличии оврагов, в условиях высокой плотности стояния крупных деревьев. При сильном ветре необходимая ширина защитной полосы увеличивается настолько, что с помощью почвообрабатывающих орудий ее прокладывать трудно.

Для тушения низовых пожаров высокой интенсивности наиболее эффективен способ создания выжженной защитной полосы – отжиг. Отжигом называют преждевременное пускание огня покровом навстречу низовому пожару с целью создания на его пути полосы, на которой уничтожены все горючие материалы. Ширина выжженной защитной полосы при тушении низовых пожаров составляет 10 – 20 м [7, с. 152].

Отжиг осуществляют от природных рубежей – дорог, рек, ручьев, троп. В случае их отсутствия создают опорную полосу шириной 0,3 – 0,5 м с помощью ручного инструмента, землеройной техники или путем обработки химическими веществами. Выбирая рубежи для отжига, необходимо стараться исключить площади, на которых возможно возникновение верхового пожара: участки с густым подростом хвойных пород, с молодняком и захламленные участки [11, с. 107-111]. Если этого сделать невозможно, необходимо такой горючий материал удалить со всей полосы

отпавшего. Недостатком использования отжига является возможность опрокидывания огня через опорную полосу при скорости ветра свыше 2 – 3 м/с. Во избежание этого можно увеличить ширину опорной полосы или дожидаться вечерних часов, когда скорость ветра обычно уменьшается.

Во многих странах мира авиацию длительное время применяют для тушения пожаров [149]. Характер ее применения достаточно широк. Это оперативное выявление очагов пожаров, быстрая доставка к очагам возгорания пожарных, пожарной технике и средствам пожаротушения, а также непосредственная обработка очагов горения огнетушащими веществами [103, с. 148].

С помощью авиационных методов решают следующие задачи:

- гашение кромки горения на отдельных участках пожаров,
- задержка распространения пожара,
- оказание помощи пожарным в тушении очагов сильного горения,
- предупреждение перехода низового пожара в верховой,
- придание огнестойкости смежным с пожаром насаждениям,
- помощь наземным силам в повышении надежности создаваемых противопожарных барьеров,
- тушение точечных пожаров в недоступной горной местности [92, с.71-77].

Особое преимущество авиационных методов борьбы с пожарами по сравнению с другими методами состоит в раннем обнаружении очагов возгорания в массивах и быстрой доставке в эти места пожарных. Это часто позволяет не допустить распространения огня на большие площади и погасить пожар в начальной стадии. Особенно эффективно использование авиации для тушения пожаров в отдаленных и труднодоступных районах, в которых при отсутствии применения авиации имеется большая вероятность распространения пожара на большие площади.

Рассмотренные методы и соответствующие им средства тушения пожаров имеют ограниченные области применения. Большинству из них

свойственны существенные недостатки. Относительно простой метод тушения низового пожара слабой интенсивности путем нахлестки кромки пожара не требует привлечения техники и огнетушащих веществ, однако необходимо большое количество персонала. Еще одним недостатком этого метода является возможность повторного воспламенения погашенной кромки пожара, поскольку этим методом практически невозможно потушить все очаги тления, а после возобновления горения пламя может беспрепятственно распространяться дальше.

Метод засыпки кромки пожара почвой лишен последнего недостатка, однако имеет большую трудоемкость. Применение технических средств (почвометов, механизированных плугов, траншеекопателей) позволяет значительно ускорить процесс гашения, однако это трудно сделать в насаждениях с высокой плотностью древостоя, на сложном рельефе местности, каменистом грунте.

Вода как средство активного тушения пожаров имеет существенные недостатки, связанные с большими потерями за счет стекания с наклонных и вертикальных поверхностей [149]. Еще большие недостатки она имеет как средство огнезащиты – кроме стекания с защищаемых поверхностей, вода в условиях пожара быстро испаряется. Использование воды с модифицирующими добавками значительно эффективнее ее использования в чистом виде, однако применение таких композиций в большинстве случаев экономически нецелесообразно. Это связано, в частности, с тем, что большая часть водных растворов теряется за счет стекания.

Основные положительные свойства и недостатки разных методов тушения пожаров приведены в таблице 1.

Использование газофазных, порошковых огнетушащих веществ и пен при тушении пожаров еще менее перспективно как из-за больших потерь, так и по экономическим соображениям.

Пассивные методы тушения низовых пожаров высокой интенсивности в основном связаны с устройством противопожарных барьеров. Для этого

используют тяжелую технику, с помощью которой создают минерализованные полосы, однако из-за большой ширины таких полос на это приходится тратить много времени, что в свою очередь приводит к потере больших площадей.

Использование метода инициирования выпадения осадков, а также авиационных и взрывных методов тушения пожаров имеют существенные ограничения, как самостоятельные методы практически не применяют.

Быстротвердеющие пены на основе органических веществ имеют ограничения в дальности их подачи, имеют в своем составе горючие и токсичные компоненты, имеют ряд экономических показателей. Быстротвердеющие пены на основе неорганических веществ имеют преимущества по сравнению с быстротвердеющими пенами на основе органических веществ по экологическим параметрам и огнезащитным свойствам.

Таблица 1 – Положительные свойства и недостатки различных методов и огнетушащих веществ при тушении пожаров

Метод или огнетушащее вещество	Факторы, определяющие эффективность пожаротушения					
	коэффициент использования	проникающая способность	огнетушащие свойства	время огнезащитного действия	потребность в огнетушащем веществе	экономический фактор
вода	-	++	+	-	-	++
растворы	+	++	++	+	-	-
пены	++	+	++	+	-	-
твердые пены	++	+	++	++	-	-
порошки	-	-	++	-	-	-
Firesorb	++	-	++	+	-	-
бинарная огнетушащая система	++	±	++	++	-	-
газы – ингибиторы	-	-	++	-	-	-

Продолжение таблицы 1

взрывные методы			±	+	++	+
нахлест				-	++	+
заброс почвой				++	++	±
создание противопожарных барьеров					++	++
создание противопожарных барьеров химическими средствами	+	++	++	+		
отжиг				+	+	+
авиационные методы (вода)	-	+	+	-	-	-
Примечание – Показатель оценки метода или огнетушащего вещества: ++ очень высокое, + высокое, ± среднее, - низкое.						

Основным недостатком всех методов с использованием авиации являются низкие экономические показатели. Недостатком гелеобразующей системы является низкая проникающая способность и низкие экономические характеристики.

Выводы к главе 1

В главе 1 представлена информация и анализ основных методов пожаротушения. Пожар определяется как нерегулируемый процесс уничтожения или повреждения имущества огнем, во время которого возникают факторы, опасные для живых организмов и окружающей среды. Пожар, независимо от его размеров, вызывает материальный ущерб, разрушение окружающей среды и, в некоторых случаях, травмы или смерть. Пожары классифицируются в зависимости от их геометрии, размера материального ущерба, продолжительности и других сходств и различий. Любая классификация пожаров является произвольной, и с точки зрения пожарной тактики изучаются и разрабатываются методы и приемы оперативно-тактических действий против огня.

Под тушением пожара понимают процесс воздействия сил и средств, а также использование методов и принятие мер по ликвидации пожара.

Основными методами тушения пожаров являются следующие: нахлест или заброс грунтом кромки перебежного низового пожара; гашение водой или растворами химикатов; тушение с помощью создания заградительных полос; отжиг или встречный огонь; тушение с привлечением авиации; искусственное вызывание осадков; использование газофазных, порошковых ВР и пен; тушение с использованием взрывчатых веществ.

Особое преимущество выделяется авиационным методам борьбы с пожарами по сравнению с другими методами, которое состоит в раннем обнаружении очагов возгорания в массивах и быстрой доставке в эти места пожарных. Это часто позволяет не допустить распространения огня на большие площади и погасить пожар в начальной стадии. Особенно эффективно использование авиации для тушения пожаров в отдаленных и труднодоступных районах, в которых при отсутствии применения авиации имеется большая вероятность распространения пожара на большие площади.

2 Анализ современных мобильных технических средств автоматизированного пожаротушения

2.1 Газовые и аэрозольные средства пожаротушения

Систематических экспериментальных исследований по тушению разных классов пожаров с использованием комбинированной (одновременной) подачи огнетушащих веществ недостаточно. Есть только разрозненные публикации относительно таких исследований, проведенных без надлежащей методологической основы, на разнотипных установках пожаротушения, без апробации в полигонных условиях. В этих работах отсутствует важный аспект исследований – нахождение оптимального режима и последовательности подачи огнетушащих составов в очаг пожара [129, с. 20]. Следует отметить, что в настоящее время создано достаточно большое количество альтернативных хладонам средств тушения [159, с. 117-122]. Однако, большинство из них все же не дают возможности говорить об абсолютной простоте эксплуатации, дешевизне, а главным – экологической приемлемости. Азот, как огнетушащий агент обладает «ценными» характеристиками – химически нейтрален к большинству веществ, недорогой, не дефицитный, молярная плотность – 28,01 г/моль, что позволяет равномерно заполнять объем, при этом огнетушащая концентрация N_2 для н-гептана (C_7H_{16}) составляет 33%, [169], для этанола (C_2H_5OH) 36,8%, гексана (C_6H_{14}) – 30,6%. Минимальная расчетная флегматизированная концентрация N составляет 43,9%, что выше значения минимальной флегматизации для хладонов в 3-4 раза. Разбавление смеси «природный газ + воздух» на 10% азотом снижает огнетушащую концентрацию хладона в 2 раза, а при разбавлении на 20% огнетушащая концентрация хладона составляет всего 0,5-0,6% [1, с. 255]. Подобный эффект наблюдается и при использовании CO_2 [13, с. 53-58] где авторы объясняют это тем, что с уменьшением концентрации кислорода в воздухе резко увеличивается эффективность

действия ингибиторов, и в результате флегматизирующая концентрация CO_2 уменьшается до 8% при концентрации аэрозоля в 15 г/м^3 . Поэтому целесообразно рассматривать механизм тушения аэрозоля добавлением газа по принципу комбинированного действия огнетушащих веществ, сочетая охлаждающий и подавляющий эффекты, что в конечном итоге приводит к значительному эффекту тушения. Рассматривая свойства газоразтворителей по отдельности, можно сказать, что и азот, и CO_2 эффективно разбавляют горючую среду, что приводит к тушению и разрушению мокроты. Азот, как огнетушащий компонент, исследован многими исследователями, в частности, авторами работы [167, с. 330-338]. Они проверили эффективность подавления огня газообразным азотом посредством различных полномасштабных огневых испытаний. Объем испытательной камеры составил 102 м^3 . Испытания проводились при концентрации азота $C_{\text{газ}}=33,6 \text{ об. \%}$ и минимальной концентрации кислорода 13,9%. Ни в одном из 10 тестов не произошло повторного возгорания образца. Тесты проводились на образцах-представителях каждого из классов пожаров.

Следует отметить, что в случае подачи инертного разбавителя в замкнутое герметичное помещение, воздушная среда может оставаться пригодной для дыхания и сохранения жизни людей вплоть до тушения пожара. Обеспечить жизнебезопасную концентрацию кислорода может применение комбинированных аэрозольно-газовых систем, совместимая огнетушащая концентрация газа и аэрозоля в которых должна быть на порядок меньше необходимой индивидуальной огнетушащей. Существуют и смеси газов, которые разработчики представляют, как экологически чистые, но авторы [2, с. 176] указывают, что смесь газов, содержащая 52% азота, 40% аргона и 8% диоксида карбона, не оставляет химических производных, не токсична в любых концентрациях. Указанная смесь при введении в объем гасит пламя путем уменьшения концентрации кислорода ниже уровня, не поддерживающего горение (12,5%), и это при одновременном увеличении

содержания CO_2 до 4%. Соответственно такая газовая среда опасна для жизнедеятельности человека, хотя и является относительно экологически чистой. Как видно, указанные концентрации газа достаточно высоки и вызывают флегматизацию благодаря теплофизическим характеристикам и разбавлению горючей среды. Повысить эффективность флегматизации газового горючей среды можно путем добавления в инертный газ огнетушащего аэрозоля, принимая во внимание результаты исследований смесей дисперсных ингибиторов и газов.

Прототипы генераторов, сочетающих свойства аэрозолей и противопожарных порошков, уже существуют в других странах в виде систем аэрозольного пожаротушения. При этом используются аэрозоли - мелкодисперсные порошки, которые наиболее эффективны при тушении различных классов пожаров. В аэрозольных системах пожаротушения используется принцип сгорания твердого химического состава с образованием аэрозоля, в результате чего образуется горячая струя ингибитора горения, представляющая собой смесь газа и мелких частиц, что способствует эффективному подавлению пожара. Когда аэрозоль подается в объем, он смешивается с продуктами пиролиза порошка (например, CO_2 , N_2 , H_2O). Известно, что смеси инертного газа и огнетушащих аэрозолей повышают эффективность пожаротушения и эффективность аспирации мокроты [12, с. 102-104]. Синергетический эффект добавления отхаркивающего газа к огнетушащим аэрозольям был подтвержден авторами [44, с. 7-11] в случае бинарных смесей огнетушащих аэрозолей, содержащих неорганические соли калия и газообразные разбавители огнетушащего вещества (углекислый газ или азот). При тушении газообразных горючих сред концентрация огнетушащих аэрозолей в 1,25-3,5 раза выше и более чем на порядок превышает концентрацию газообразного огнетушащего вещества флегмовых горшков. При тушении пожара смесью аэрозоля и порошка возникает проблема совместимости компонентов аэрозоля с огнетушащим порошком, образующим смесь. Как упоминалось выше, при сгорании АПС

образуется смесь карбонатно-хлоридных солей калия, кальция или натрия. Суть повышения эффективности ингибирования горения заключается в поиске солей, оказывающих синергетическое действие на вышеупомянутые соли. В России широко используются огнетушащие порошки на основе фосфатов аммония марок (П-2АПМ, ФАКТОР АВС-40, ПРО-МИКС АВС-50, ПРО-МИКС АВС-40). Ранее были разработаны рецептуры ОП на основе хлоридов металлов (ПХ, ПХК, ПГС) и на бикарбонатной основе (ПСБ-3, ПСБ-3М) [4]. Автор труда [147] указывает, что фосфаты являются антагонистами с хлоридами и карбонатами, поэтому их совместное воздействие на пламя будет возможно малоэффективным. Антагонизм подтвержден для порошков, представляющих смеси гидрофосфат аммоний, и K_2SO_4 или $K_2C_2O_4$. Экспериментальные определения эффективности гашения пламени бинарными смесями солей с одинаковыми катионами, а именно хлорид и бромид калия, хлорид и оксалат калия, хлорид и фторид натрия, показали их аддитивное огнетушащее действие. Результаты исследований [14, с. 72] смесей $NaHCO_3$ и $KHCO_3$, Na_2HPO_4 и K_2HPO_4 , $(NH_4)_2HPO_4$ и K_2HPO_4 указали на синергизм во всех случаях. Очевидно, что огнетушащая эффективность зависит от дисперсности порошка, вида и соотношения компонентов. Авторы [130, с. 230-234] показали, что смесь солей - натрия бикарбоната и калия хлорида при соотношении 1:1 имеют значительно более высокую огнетушащую эффективность в средах с избыточной концентрацией кислорода, чем при применении их отдельно. Порошкам, содержащим в своем составе хлориды, сульфаты, фториды или оксалаты свойственна аддитивная огнетушащая эффективность. Многокомпонентные смеси, в которые входят KCl и $NaHCO_3$, натрий формиат, натрий ацетат, натрий фторид, натрий сульфат, неаддитивны относительно огнетушащей эффективности, соответственно они являются синергетиками. При их сравнительно высокой теплопоглощающей способности их можно использовать в качестве компонентов аэрозольно-порошковых огнетушащих веществ.

Для повышения эффекта тушения неравномерного горения в аэрозольных и порошковых композициях желательно увеличить содержание синергических фосфатных соединений, а именно добавок Na_2HPO_4 и K_2HPO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и K_2HPO_4 . Однако некоторые авторы считают эти компоненты антагонистическими [62, с. 177-178]. Однако время оседания порошков по сравнению с аэрозолями значительно меньше. Когда основная масса огнетушащего порошка оседает объемно, он подавляет неравномерное горение, тогда как аэрозоль остается в воздухе и тушит диффузное пламя горения.

Таким образом сочетание порошковых и аэрозольных веществ с целью гашения горения как диффузионного так и гетерогенного перспективно, а соотношение аэрозольно-порошковых смесей необходимо исследовать с целью выявления наиболее огнетушаще-эффективных соотношений и факторов взаимного воздействия, которые будут их обуславливать.

Учитывая особенности механизма подавления горения огнетушащими порошками и условия применения аэрозольных огнетушащих средств разного состава, поиск рецептуры аэрозоле-порошкового огнетушащего средства необходимо проводить с учетом физико-химических характеристик компонентов и факторов, влияющих на их огнетушащую эффективность.

Известно [12, с. 102-104], что смесь газов и аэрозолей имеет повышенную огнетушащую эффективность. Так, при добавлении к огнетушащему аэрозолю газов флегматизаторов минимальная огнетушащая концентрация уменьшается примерно на 40%. Таким образом, над поверхностью огнетушащего порошка будет образовываться газовая прослойка с повышенной концентрацией огнетушащих веществ, что будет способствовать активному и эффективному гашению диффузионного горения и флегматизировать горючую среду.

Эффективность применения огнетушащих порошков обусловлена способностью их к огнепрепятствованию и экранированию, способностью газифицироваться при температуре горения и тем самым вызывать

разведение и охлаждение, способность плавиться при температуре, соответствующей началу пиролитического разложения твердого горючего вещества, и образовывать на его поверхности изолирующую пленку, стойкую температурах, способностью ингибировать реакции пламенного горения.

Поскольку большинство исследователей предполагают, что основным фактором, определяющим высокую огнетушащую способность порошков, является именно химическое ингибирование реакций горения [32, с. 205-213], то при выборе порошка, как одного из компонентов аэрозольно-порошкового огнетушащего средства, в первую очередь будем учитывать особенности его действия на процессы, которые происходят в пламени. Как отмечают авторы работ [2, с. 176], из широкого спектра химических веществ, применяемых для тушения пожаров, такое свойство обладают неорганическими и некоторыми органическими солями щелочных металлов, а именно галогенидами, сульфатами, фосфатами, роданидами, хроматами, карбонатами, оксалатами, формиатами, ацетаты, тартраты, алофанаты и т.п. Ингибирующая эффективность исследованных в работе [131, с. 329] солей снижается в следующем порядке: $\text{LiF} > \text{LiCl} > \text{NaF} > \text{KF} > \text{NaCl} > \text{KJ} > \text{NaJ} > \text{NaBr} > \text{KCl} > \text{K}_2\text{CO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaSO}_4 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaCO}_3$.

Поскольку, как указано выше, одним из необходимых условий прекращения гетерогенного беспламенного горения твердых горючих материалов является изолирование и охлаждение их поверхности, при выборе порошка необходимо учесть также его способность поглощать тепло при нагревании и фазовых физико-химических превращений. По утверждению авторов [80, с. 200] наилучшими показателями в данном отношении характеризуются фосфаты и формиат аммония. Результаты проведенных расчетов показали, что охлаждающее действие порошков определяется в основном теплотой, поглощаемой при эндотермическом разложении огнетушащих компонентов порошков. Вклад теплоемкости невелик и составляет всего 11,6-18,1%.

Следовательно, для обеспечения высокого уровня теплопоглощения необходимо использовать вещества, обладающие не только высокой теплоемкостью, но и подверженные в интервале температур 26-600°С к физико-химическим превращениям со значительными эндотермическими эффектами. Но поскольку теплоемкость твердых веществ невысокая (например, по сравнению с водой) и температурный интервал ограничен (условия нагрева твердых веществ в пламени), первое условие выполнить сложно. Поэтому для обеспечения высокого уровня теплопоглощения необходимо выбирать легко разлагаемые вещества, физико-химические превращения которых протекают с большими эндотермическими эффектами. В таблице 2 представлены результаты расчетов теплопоглощающей способности этих веществ в диапазоне температур 25-600°С [80, с. 200].

Таблица 2 – Теплопоглощение огнетушащих порошков при 25-600°С

Огнетушащий порошок	Теплопоглощение в результате физико-химических превращений, кДж/кг	Суммарное теплопоглощение при нагреве до 600°С, кДж/кг	Вклад в теплопоглощение за счет теплоемкости, %
ПСБ-3	750	890*	15,0
П-1А	1420	1620	12,6
Пирант-А	1450	1770	18,1
ПФ	1500	1700	11,6
Примечание – нагрев до 230°			

В работе [12, с. 102-104] результаты исследований показали, что огнетушащая эффективность аэрозолей не зависит от порядка введения инертных газов, а зависит только от их концентрации и даже незначительное количество введенного инертного газа в объем твердофазового аэрозоля существенно снижает огнетушащую концентрацию последнего.

В пользу комбинированного характера гашения, в качестве примера, можно также привести данные работы [138, с. 35-52] о том, что наличие инертных газовых разбавителей значительно повышает эффективность аэрозоля. В работе [74, с. 39-49] обоснована целесообразность сочетания

газифицирующих компонентов, порошков и аэрозольобразующих веществ в едином корпусе для совместной подачи, что сможет решить проблему быстрого, эффективного и недорогого гашения гомогенного и гетерогенного горения в замкнутых пространствах, а также обеспечить соответствующую продолжительность действия в огнетушащем объеме. Исследование современных рецептур зарядов АОС и свойств получаемых из них огнетушащих аэрозолей, а также химических свойств огнетушащих порошков показало, что соединив эти компоненты, можно добиться за счет гармонизации преимуществ двух средств пожаротушения, взаимной компенсации недостатков и синергизма при пожаротушении. Это связывается с результатами работы [12, с. 102-104], в которой авторы показали еще один достаточно весомый эффект от дополнительного использования инертных разбавителей совместно с аэрозолем, а именно - наличие CO_2 или N_2 увеличивает оптическую проницаемость аэрозоля, то есть увеличивается видимость. Особенно это ощутимо при концентрациях CO_2 или N_2 от 2% и более. С практической точки зрения это важно. При решении вопроса, какой инертный газ лучше использовать, становится очевидным то, что азот, в силу его малой токсичности, имеет безусловное преимущество над CO_2 , хотя его вспомогательное действие несколько ниже CO_2 . Если же стоит вопрос о гашении в безлюдных объемах, то, без сомнения, применение CO_2 имеет преимущества перед N_2 .

Таким образом, без учета концентрации твердой фазы добавка к ней таких газов, как CO_2 , N_2 или H_2O должна повысить теплопоглощающую способность смеси аэрозоля и газов флегматизаторов. Что подтверждено в работе [6, с. 1-10] в которой указано, что сам аэрозоль оказывает повышенное огнетушащее действие при концентрациях выше 50 г/м^3 , а при концентрации аэрозоля около $80-100 \text{ г/м}^3$ приводит к уменьшению температуры от 2100 К до $1700-1400 \text{ К}$ при действии самих аэрозолей с добавкой газов, причем добавка CO_2 приводила к большему уменьшению температуры. Авторы работы [48, с. 5-10] тоже подтвердили значительное

повышение огнетушащей эффективности бинарной смеси ингибиторов горения и газов флегматизаторов, благодаря теплофизическим качествам газов – флегматизаторов.

Вопрос поиска новых огнетушащих веществ и синергизма между химическими и физическими огнетушащими агентами также изучался авторами [171], искавшими новое экологически чистое огнетушащее вещество в котором хотели сохранить все «полезные свойства» Галона-1301, но этот поиск не был успешным, так как получен огнетушащий агент 1-бром-3,3,3-трифторпропан не отвечал заявленным требованиям - имел низкую огнетушащую концентрацию, низкую температуру кипения, высокую стоимость и т.п. Только его смесь с азотом обладала высокой огнетушащей эффективностью за счет согласно результатам исследований авторов синергизма между 1-бром-3,3,3-трифторпропаном и азотом. С целью получения «экологически» чистых огнетушащих агентов исследователи предлагают использовать сжиженный азот [155, с. 155-159], который как они указывают может использоваться для тушения построек и пожаров в резервуарах. Но возникает вопрос к технологическому воплощению такого способа гашения, который обычно будет более ценным, чем обычное хранение сжатого азота в баллонах. Относительно огнетушащей эффективности азота его необходимо использовать как газ, снижающий концентрацию кислорода, при чем подавать его можно разными способами, но в целом необходимо чтобы газ попадал в зону горения. Так авторы [161] проводили исследование эффективности гашения мыльными пузырями – капсулами, которые, по их мнению, приведут к уменьшению расхода газа на тушение. Таким образом, как видно из проведенного анализа исследователи работают над задачей уменьшения огнетушащей концентрации подаваемого газа на тушение, причем задействуют различные способы и приемы имеющие свои соответствующие указанные выше недостатки.

Переходя к совместному применению аэрозоля и газов разбавителей, необходимо рассмотреть теплотехнические характеристики аэрозоля. Так, в

работе [121, с. 155-159] сравнивали полученные расчетные значения теплоемкости АУС с теплоемкостями газов-флегматизаторов CO_2 и N_2 при температуре пламени в 1400°C , составляющих соответственно $Q=3241$ кДж/ м_3 и $Q=2012,5$ кДж/ м_3 . Из результатов работы видно, что теплоемкость аэрозоля значительно превышает теплоемкость этих газов и особенно в случаях образования K_2CO_3 или $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Так, например, для зарядов с избытком топлива, что соответствует стехиометрическому коэффициенту при горючем $n=1,5$ теплоемкость 1 м^3 аэрозоля с АУС на основе идитола, лактозы, углерода (при условии образования K_2CO_3) в несколько раз больше теплоемкости $1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2, \text{ N}$ (таблица 3) [166].

Таблица 3 – Отношение величины теплоемкости аэрозоля к инертным газам

Аэрозоле образующий состав		Идитол – 20% KNO_3 – 80%	Лактоза – 28 % KNO_3 – 72 %	Вуглець – 20 % KNO_3 – 80 %
Инертный газ	CO_2	<2,85	<2,11	<3,42
	N_2	<4,59	<3,40	<5,51

Как видно из данных таблицы 3, расчетная теплопоглощающая способность аэрозоля является как минимум в 2,11 раза выше теплопоглощающей способности CO_2 , и в 3 раза – за теплоемкость азота, совпадающую с результатами авторов [6, с.1-10], указывающих на высокую теплопоглощающую способность при больших концентрациях.

Полученные характеристики аэрозолей создают предпосылки для использования в системах пожаротушения за счет усиления их огнетушащих качеств при добавлении газовых тепловых флегматизаторов – в частности CO_2 и азота.

Анализируя данные работы по определению параметров комбинированной подачи огнетушащих веществ [15, с. 6-11], можно заключить, что, по крайней мере, в исследуемом диапазоне интенсивностей подачи все исследованные бинарные комбинации с порошком имеют повышенную огнетушащую эффективность.

2.2 Комбинированные средства пожаротушения

Огнетушащие порошки предназначены для тушения твердых, жидких и газообразных горючих веществ и электроустановок, находящихся под напряжением. В состав смесей, подаваемых из огнетушителей и систем (модулей) порошкового пожаротушения, вместе с огнетушащими порошками, компонентами которых могут быть сода, силикагель, сульфаты и фосфаты аммония, соли стеарин кальция, магния и т.п., входит сжатый газ-выжиматель (воздух, азот или диоксид карбона).

К важным характеристикам огнетушащих порошков, благодаря которым значительно повышается эффективность их применения и обеспечивается гарантированное гашение пожаров, вместе со способностью к огнепрепятствованию и экранированию, характерной для большинства порошков из негорючих материалов, относятся:

- способность газифицироваться при температуре горения и тем самым вызывать разведение и охлаждение,
- способность ингибировать реакции пламенного горения,
- способность плавиться при температуре термодеструкции твердого материала и образовывать на его поверхности стойкую при высоких температурах изолирующую пленку.

Огнетушащая концентрация порошка на основе карбонатов и бикарбонатов лежит в пределах 50-100 г/м³, причем частицы вышеназванных солей при нагревании могут обеспечивать дополнительный выход CO₂ и H₂O, флегматизирующих зону горения. На основе результатов изучения взаимодействия огнетушащих порошков с пламенем можно сформулировать общий принцип методологии разработки рецептур, который заключается в комплексном учете химической и физической природы компонентов, их физико-химических характеристик, влияния как компонентов, так и продуктов их разложения на показатели, которые обуславливают

эффективность порошка при тушении пожаров различных веществ и материалов.

Учет химической природы компонента означает знание особенностей его действия на происходящие в пламени процессы, а именно способность ингибировать цепные реакции горения [16, с.536-541] при тушении веществ в различных агрегатных состояниях. Из многочисленных классов химических веществ такую способность обладают неорганическими и некоторыми органическими соли щелочных металлов (галогениды, сульфаты, фосфаты, роданиды, хроматы, карбонаты, оксалаты, формиаты, ацетаты, тартраты, аллофанаты и др.). Ингибирующая способность солей, в зависимости от вида горючего вещества и температуры пламени, может изменяться [122, с. 165-166].

Среди физических свойств компонентов учитывается их способность образовывать расплавленную пленку при температуре пиролиза твердых горючих веществ, а также способность к теплопоглощению во время фазовых физико-химических превращений. С этой точки зрения наилучшими показателями характеризуются фосфаты и форма аммония [14, с. 72].

При применении аэрозольно-порошкового пожаротушения возникает вопрос совместимости компонентов огнетушащего порошка и аэрозоля, одновременно находящихся в воздухе.

Известно, [101, с.17-21], что АУС состоящие из окислителя – как правило KNO_3 , KCLO_4 , KCLO_3 , горючего пластификатора – идитола, эпоксидно-диановой смолы, лактозы и др., а также газифицирующих добавок – дициандиамида, $\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{O}_2$ дефиниламида $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$ и т.д. При горении АУС, в атмосферу выбрасываются ультрадисперсные неорганические соли калия – $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, KOH , KHCO_3 и др., а также в небольшом количестве – CO_2 и N_2 и другие газы. Образовавшийся аэрозоль может быть устойчивым в воздухе и обеспечивает огнетушащую концентрацию 40-50 г/м³ около 20 минут [5, с. 232]. Но учитывая размеры частиц аэрозоля, составляющих в среднем около 5 мкм, огнетушащая эффективность аэрозолей соответственно

на несколько порядков выше огнетушащей концентрации порошков [6, с.1-10], в то же время находясь на грани безопасных концентраций для человека. В работах многих авторов освещается зависимость огнетушащей эффективности от размера частиц огнетушащего вещества. Так в работе [138, с. 35-52] показано, что с уменьшением размера частиц от 100 до 20 мкм огнетушащая эффективность гашения дисперсными частицами солей KCl , $NaCl$, K_2CO_3 , $KHCO_3$ и др. резко возрастает, как допускают авторы благодаря теплопоглощению и испарению частиц в пламени. В работе [147] также показано, что огнетушащая эффективность всех огнетушащих порошков увеличивается с ростом степени дисперсности, то есть чем мельче частицы, тем быстрее и больше они будут прогреваться и отбирать тепло от зоны химической реакции за единицу времени и тем быстрее будет охлаждаться пламя. Однако разбавление зоны горения и отвод тепла частицами порошка недостаточно для того, чтобы полностью прекратить горение. Так, в работе [122, с. 165-166] было показано, что огнетушащий эффект порошков, благодаря ингибированию, на основе солей щелочных металлов значительно превышает эффект охлаждения или разбавления, то есть аэрозольные частицы способны эффективно тормозить химические реакции горения, действуя как ингибиторы.

При одновременном нахождении в защищаемом объеме огнетушащего порошка и аэрозоля, прежде всего, будет происходить седиментация порошка благодаря большим размерам его частиц 20-60 мкм по сравнению с размерами частиц аэрозоля – 1-10 мкм. Оседлый порошок образует слой, который будет препятствовать выходу летучих компонентов в зону горения и проникновению воздуха в поверхность горючего вещества. В результате затрат тепла на нагрев частиц порошка будет происходить охлаждение зоны горения. Кроме этого, при контакте порошка с нагретой поверхностью будет происходить его термическое разложение, в результате чего дополнительно будут образовываться газообразные продукты пиролиза, которые будут разбавлять горючую среду.

Находясь над поверхностью оседлого порошка, аэрозоль будет смешиваться с продуктами разложения порошка (CO_2 , N_2 , H_2O , и др.). Таким образом, над поверхностью огнетушащего порошка будет образовываться газовая прослойка с повышенной концентрацией огнетушащих веществ, что будет способствовать активному и эффективному гашению диффузионного горения и дополнительно флегматизировать горючую среду.

[144, с. 257-266], авторы показали, что существует прямая зависимость между размером частиц дисперсных огнетушащих веществ и их огнетушащим действием, которая проявляется в том, что эти частицы могут испаряться в пламени и затем действовать по гетерогенно - гомогенному механизму. Это было подтверждено автором [145, 510], который установил, что при тушении пропан-воздушных бензиновых факелов дисперсные соли KHCO_3 и NaHCO_3 с размерами частиц, уменьшенными с 63 до 38 мкм, повысили свою эффективность, что выразилось в снижении огнетушащей концентрации со 100 г/м³ до 30 г/м³ [517, с. 517], что также подтверждается [145, с. 517].

Известно, что аэрозолеобразующие соединения при сгорании образуют аэрозоль с размерами частиц 1-5 мкм с соотношением до 80% [6]. Так, например, аэрозолеобразующая смесь СТК-5-1, состоящая из идитола ($\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{O}_2$), нитрата калия (KNO_3) и технических добавок, при горении выделяет $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, KOH , KNO_2 , CO_2 , N_2 , с распределением размеров частей $D < 2 \mu\text{m}$ (42%) $D = 2 - 5 \mu\text{m}$ (38%) $D > 5(20\%) \mu\text{m}$ [6]. При этом в продуктах горения 1 г АУС разного состава, зависящих от вида горючего пластификатора и окислителей и их соотношение может находиться в среднем 0,5 л газовых компонентов (CO_2 , H_2O , N_2), причем продукты неполного сгорания (N_xO_y , CO) не принимали во внимание, исходя из условия, что их содержание является незначительным. Газовых компонентов аэрозоля, образующегося в результате сгорания 1 г АУС на основе лактозы и идитола, показаны в таблице 4 [13, с. 53-58].

При добавлении азота к указанному аэрозолю огнетушащая эффективность полученной аэрозольной азотной смеси (БААС) должна увеличиться. Получение такого эффекта подтверждает автор [167, с. 330-338], который указывает на синергизм физических и химических компонентов смеси и вследствие снижения огнеопасной концентрации физического компонента при добавлении только 1,52% химического ингибитора.

Таблица 4 – Характеристики рецептур АУС на основе органических топлив

Соотношение компонентов АУС, % масс				Продукты сгорания			
				Удельный объем газовой фазы, сгенерированной из АУС, л/г			
Горючее		KNO ₂	KClO ₄	CO ₂	H ₂ O	N ₂	общий
Идитол	17	83	-	0,2522	0,1164	0,0916	0,47
Лактоза	32	68	-	0,2354	0,2354	0,075	0,55
Идитол	15	69	16	0,2118	0,0977	0,0767	0,39
Лактоза	27,6	60	12,4	0,2063	0,2063	0,0666	0,48

Значительное увеличение огнеупорной эффективности при комплексном применении дисперсных огнетушащих средств и газов подтверждают и другие авторы работ. Анализ общих закономерностей процессов ингибирования показывает, что повысить эффективность ингибирующих средств можно, снизив содержание окислителя в горючей смеси. Снизить концентрацию окислителя достаточно не во всем помещении, а только в зоне действия ингибирующих веществ, то есть в горячей зоне. Таким образом, заключает автор [48], негорючие газообразные компоненты, дополнительно разбавляющие горючую систему, снижают концентрацию кислорода в и тем самым резко повышают эффективность огнетушащего действия ингибитора. Так, например, разбавление смеси «природный газ+воздух» на 10% азотом снижает огнетушащую концентрацию хладона в 2 раза, а при разбавлении на 20% - огнетушащая концентрация хладона составляет всего 0,5-0,6 %. Сходный эффект наблюдается и при использовании CO₂. Из работы [13] известно, что добавление небольшого

количества CO_2 к аэрозолю, образованному из АУС на основе лактозы, значительно повышает флегматизированную эффективность образовавшейся газоаэрозольной смеси, которая хорошо флегматизирует гексановоздушную смесь при соотношении аэрозоля – 15 г/м^2 . Это хорошо связывается с результатами работы [18] где CO_2 дает более низкие огнетушащие концентрации чем азот и аргон. Причем некоторые авторы на основе расчетов температуры пламени указали, что инертные газы ведут к понижению температуры пламени, а ингибирующий эффект на пламя был усилен благодаря уменьшению температуры пламени, что привело к синергическому повышению эффективности пожаротушения смесью хладона-1301 и CO_2 .

Следовательно, принцип объемного гашения аэрозодем с добавкой газов флегматизаторов уместно рассматривать по принципу комбинированного действия огнетушащих средств, обеспечивающих эффекты охлаждения, ингибирования и разбавления, что приводит к значительному конечному огнетушащему эффекту.

Анализируя исследования огнетушащего эффекта флегматического газа, добавленного в огнетушащие вещества, можно сказать, что добавление лишь небольшого количества азота в аэрозоль подавляющий агент может значительно улучшить огнетушащий эффект газо-аэрозольной смеси благодаря синергическому эффекту аэрозоля и азота.

По результатам проведенного анализа факторов влияния на процесс прекращения горения и обеспечения флегматизации пожароопасной среды при применении различных огнетушащих веществ определено целесообразным исследовать эффективность тернарных смесей, состоящих из следующих компонентов:

- твердая фаза огнетушащего аэрозоля (смесь неорганических солей калия – K_2O , $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, KHCO_3 , KOH , KCl , KNO_2),
- огнетушащий порошок на основе фосфатов аммония,
- газы – разбавители – N_2 и/или CO_2 .

Комбинированное влияние факторов на процессы прекращения горения в замкнутом (полузамкнутом) объеме с возможностью возникновения пожаров классов А, В, С, F, Е во время тушения тернарной смесью огнетушащих веществ объемным способом представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Комбинированное влияние факторов на процессы прекращения горения в замкнутом (полузамкнутом) объеме с возможностью возникновения пожаров классов А, В, С, F и Е во время тушения тернарной смесью огнетушащих веществ объемным способом

Учитывая проведенный осмотр, из особенностей взаимного влияния компонентов газоаэрозольно-порошковых смесей на эффективность флегматизации горючих углеводородных сред, в замкнутых и полузамкнутых объемах можно утверждать о значительной актуальности использования

указанных смесей. Определение эффективности и особенностей флегматизации газо-аэрозольно-порошковой смесью является основой для создания огнетушащих и флегматизирующих систем на их основе, для противопожарной защиты объектов различного назначения, где могут возникнуть пожары классов А, В, С и Е, а также для создания пожароопасных сред, на основе которых могут быть созданы системы пожаротушения и удаления мокроты.

Рассмотрим методики экспериментального определения огнетушащей и флегматизированной эффективности смесей огнетушащих веществ.

Учитывая, что огнетушащий аэрозоль образуется при сгорании АУС, во многих методиках предусмотрено его сжигание в камерах или цилиндрах. Автор [43, с 302-305] предлагает сжигать навески АУС в цилиндре высотой 30 мм и диаметром 40 мм с металлической сеткой для гашения форса пламени. Предлагаемая металлическая сетка будет действовать как охлаждающая насадка, а как известно [116, с. 201-204], это будет снижать огнетушащую эффективность аэрозоля из-за недожиге исходных компонентов, что приведет к получению заниженных результатов огнетушащей концентрации аэрозоля. Кроме того, целесообразно вносить источник огня в камеру, а не зажигать его внутри при имеющемся там аэрозоле, так, чтобы сохранить реальную хронологию пожара и времени тушения.

Как стало понятно из анализа литературных источников, - четко и последовательно прописанных методик для определения минимальной огнетушащей концентрации огнетушащего аэрозоля в настоящее время нет, за исключением тех, что предназначены для определения МВК порошковых и газовых средств пожаротушения, механизм тушения которых отличный от механизма тушения аэрозолями. Для определения огнетушащей концентрации смеси огнетушащего аэрозоля, огнетушащего порошка и газа - растворителя за основу можно взять модернизированную методику определения МВК «методом камеры» [73], предложенной автором [17].

Поскольку аэрозольные средства пожаротушения являются смесями мелкодисперсных твердых частиц солей калия и газов (CO_2 , N_2 , H_2O), то методики определения МВК газовых средств пожаротушения, по нашему мнению, после определенного приспособления могут быть использованы для определения МВК аэрозоля. Подробный анализ существующих методик показал, что некоторые их положения не подходят для определения МВК аэрозоля, например, подача огнетушащего средства осуществляется через горелку вместе с горючей смесью, что, согласно положениям об огнетушащем действии аэрозоля, не совсем корректно для нашего случая, поскольку реально при тушении пожара аэрозоль находится в защищаемом объеме и контактирует по всей поверхности с пламенем. Некоторые авторы указывают на то, что аэрозоль одновременно действует по нескольким направлениям [5, с. 232].

Такие условия реализуются только при контакте аэрозоля с факелом пламени, чего невозможно достичь, используя вышеупомянутую методику. Другая методика, используемая авторами [5, с. 232], предусматривает контакт огнетушащего аэрозоля с пламенем, но не отражает реальных условий тушения пожара аэрозолем. Согласно этой методике после сгорания АУС в камере включается вентилятор и перемешивает аэрозоль до равномерного его распределения и охлаждения. Использование такой методики приведет к получению некорректных результатов гашения из-за того, что такой процесс отсутствует в реальных условиях на пожаре. Кроме того, в процессе перемешивания возможна коагуляция частиц аэрозоля, а по теории порошкового гашения известно [14, с. 72], что чем меньше размер порошковых частиц, тем выше их огнетушащая способность, соответственно увеличение размера частиц будет уменьшать его огнетушащую эффективность. Следует также отметить, что объем камеры большой (170 л) и соответственно экспериментальные навески АУС должны быть достаточно большими, что требует больших материальных затрат на проведение экспериментов.

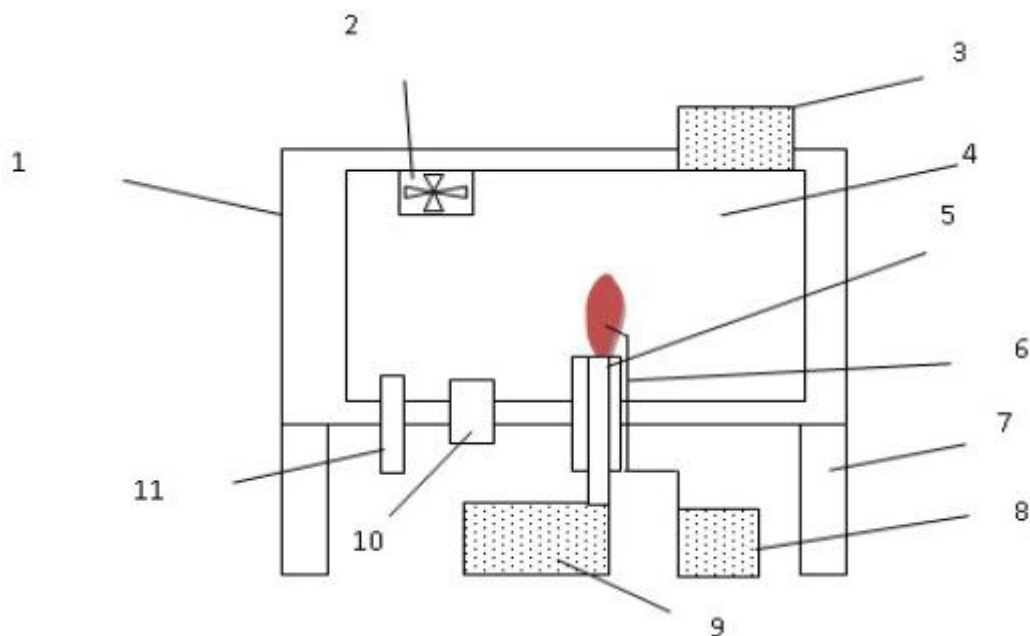
Для определения норм подачи огнетушащих порошков используют разработанные ВНИИПО методические указания для определения огнетушащей эффективности и параметров подачи порошковых составов на тушение пожаров [29], по которому определяется расход порошка на тушение и показатель эффективности порошка. Также существуют другие методики [81], направленные на повышение точности измерений огнетушащих концентраций порошковых составов. Рассмотрим методику определения огнетушащей и флегматизированной эффективности смеси огнетушащих веществ «методом камеры».

Для поиска эффективной рецептуры аэрозольно-газо-порошковой смеси (АГПС) необходимо было выполнить экспериментальные исследования газо-аэрозольной и аэрозольно-порошковой комбинации с разными соотношениями в аэрозольной фазе - аэрозоля с размерами частиц 20 мкм и порошком с размерами частиц 100 мкм по химической природе горючими веществами, исследовать зависимость эффективности аэрозоля от соотношения аэрозоль: инертный газ и аэрозоль: порошок. Эта же методика позволит объединить все три компонента в едином огнетушащем веществе и получить достоверные данные по их взаимодействию.

На рисунке 3 представлена схема экспериментальной установки для определения огнетушащей эффективности смесей огнетушащих веществ.

Определение эффективности гашения производят следующим образом. В камере сжигают заданную навеску АУС, добавляют соответствующее количество газового огнетушащего вещества - разбавителя, перемешивают смесь и через отверстие вводят гептановую горелку и регистрируют результат: «гашение», «не тушение», «отрыв пламени». Флегматизирующую эффективность огнетушащей смеси определяют с помощью тигля с н-гептаном с прикрепленной термопарой, сигнал от которой передается на регулятор-преобразователь РТ-0102 (рисунок 3), а из него в программу РП-8, с помощью которой получают цифровое значение интенсивности снижения температуры. Как уже отмечалось выше, описанная нами методика пригодна

для экспериментального исследования взаимодействия одновременно трех компонентов огнетушащей смеси. Детальнее методика и последовательность выполнения такого эксперимента описана в статье [30, с. 10-14].



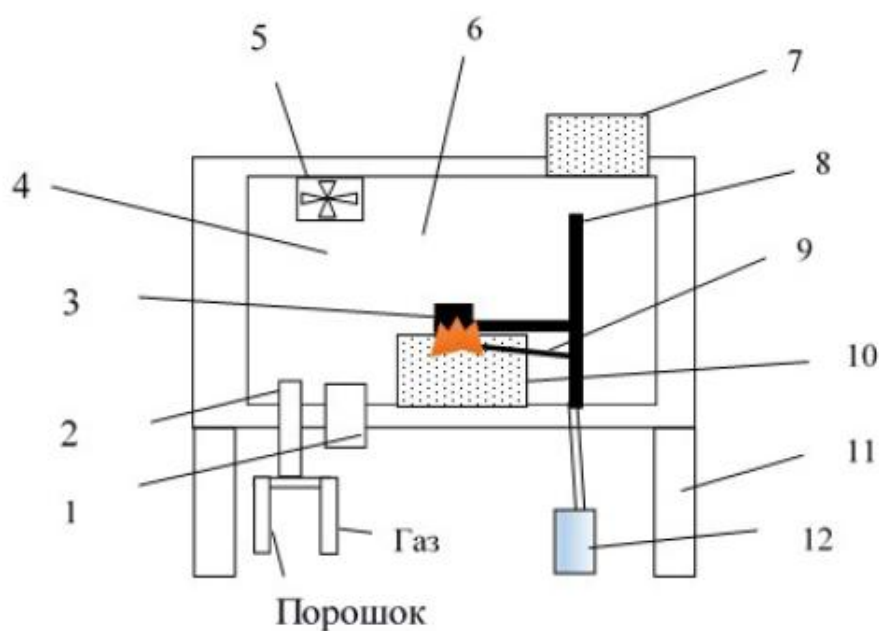
1 - корпус камеры; 2 – вентилятор; 3 – отверстие для продувки камеры; 4 – смотровое окно; 5 – гептановая горелка; 6 – термопара хромель-алюмелевая; 7 – стойки; 8 – регулятор-преобразователь РТ-0102; 9 – подогреваемый резервуар с гептаном; 10 – источник зажигания АУС; 11 - труба подачи газового огнетушащего вещества - разбавителя

Рисунок 3 – Экспериментальная установка для определения огнетушащей эффективности смесей огнетушащих веществ

Для определения эффективности гашения и флегматизации тернарной смесью аэрозоля, газов-флегматизаторов и огнетушащего порошка была применена экспериментальная установка на основе металлической камеры объемом 175 л с термостойким смотровым стеклом и термостойким металлическим основанием, схема которой приведена на рисунке 4.

Внутри камеры расположен тигель с н-гептаном диаметром 5 см и модельный очаг класса А из древесины размерами: высотой 100 мм, шириной 100 мм и длиной 100 мм. Над модельными очагами расположен термопар для фиксирования признаков тления и горения. Зажигательная

смесь, в количестве 10 г, состоявшая из смеси пудры алюминия с нитратом калия загущенной идиолом, в которой располагался электрозажигатель, располагалась в алюминиевой фольге на штативе на креплении непосредственно над зеркалом горючей жидкости и на поверхности модельного очага класса А. Полное время горения зажигательной смеси составляло 35-39 секунд.



1 – источник зажигания АУС; 2 – патрубок для подачи огнетушащего порошка и газа; 3 – зажигательная смесь с электровоспламенителем; 4 – корпус камеры; 5 – вентилятор; 6 – смотровое стекло; 7 – вытяжное отверстие; 8 – штатив для крепления зажигательной смеси и термопары; 9 – термопара хромель-алюмелевая; 10 – место расположения горючего; 11 – стойки; 12 – регулятор измеритель

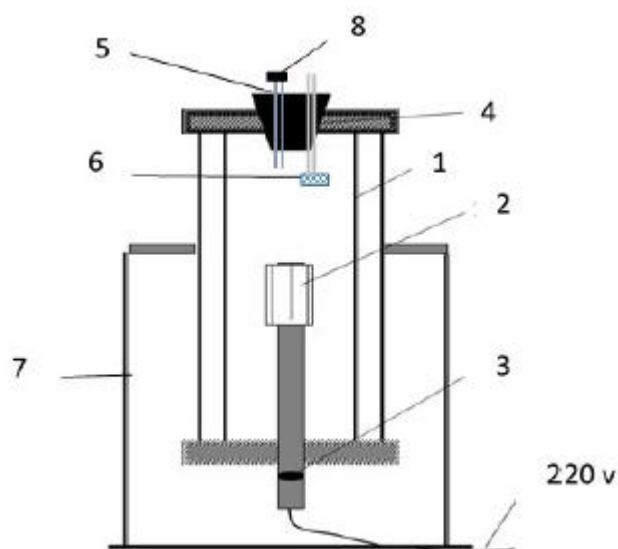
Рисунок 4 – Экспериментальная установка для определения огнетушащей и флегматизированной эффективности АГПС

Температура горения воспламенительной смеси составляла около 2000 °С. Способность гашения тернарной АГПС определяют следующим образом. Зажигательную смесь зажигают на поверхности древесины или над поверхностью н-гептана. Через 10 с горения камеру заполняют аэрозолем, который получают поджигая АУС. Одновременно в камеру подают смесь газа с порошком. После заполнения смесью в течение 40 минут (для древесины) фиксировали признаки горения.

Флегматизирующую способность тернарной смеси определяют следующим образом. Заполняют камеру аэрозольно-порошковой смесью и подают газ, создавая тернарную смесь. Через 10 секунд зажигают электровоспламенителем зажигательную смесь на поверхности древесины, или над поверхностью н-гептана. После заполнения смесью фиксируют признаки горения по убыванию или росту температуры.

Для исследования влияния добавления азота в огнетушащий аэрозоль, полученный по вышеуказанной рецептуре, на эффективность газоаэрозольной смеси, была использована экспериментальная установка, схема которой приведена на рисунке 5. Основой экспериментальный аппарат представляет собой толстостенный стеклянный цилиндрический сосуд объемом 0,5литра с мощным электрическим источником зажигания расположенным внутри цилиндра. Верхняя и нижняя части цилиндра закрыты крышками. В нижней крышке находится источник зажигания 2, а в верхней - отверстие, закрытое резиновой пробкой 4 в и спиральный зажигал АУС 5. Корпус стеклянного цилиндра 1 крепится к раме двумя вертикальными опорами 6. Крепление стеклянного цилиндра имеет газовая трубка, через которую подается газ.

Исследования проводились по такой методике. АУС поджигали с помощью электрического спирального воспламенителя, а газ дозировали с помощью поршневого дозатора объемом 100 мл. Эксперимент проводился следующим образом: цилиндр нагревался до 50°C, добавлялось соответствующее количество н-гептана для достижения концентрации, близкой к стехиометрической, суспензия АУС сжигалась в объеме цилиндра, добавлялось соответствующее количество азота N₂, полученная смесь перемешивалась и поджигалась под давлением. Результаты испытаний регистрировались для следующих условий: «взрыв», «отказ», «замедленное горение».



1 – стеклянный корпус цилиндра; 2 – электро-зажигатель; 3 – кнопка электровоспламенителя; 4 – резиновая пробка; 5 – газовая труба; 6 – спиральный зажигатель АУС; 7 - вертикальные стойки, 8- пробка для газовой трубки

Рисунок 5 – Экспериментальная установка для определения флегматизированной концентрации газоаэрозольной смеси

При этом зафиксировано состояние - замедленное взрывное сгорание, взрыв гептона воздушной смеси при стехиометрической концентрации, при оптимальных соотношениях аэрозоля и азота фиксировали камерой Nikon I J4. В процессе выполнения опыта определяли концентрацию газов в цилиндре с помощью газоанализатора Protégé, предназначенного для одновременного обнаружения и контроля концентрации горючих газов и паров (Ex) (O_2 , CO и т.д.)

Приведенные результаты исследований дали основание сделать следующие выводы:

- по результатам проведенных аналитических исследований обосновано, что огнетушащая и флегматизирующая эффективность смесей огнетушащего аэрозоля, огнетушащего порошка и газового огнетушащего вещества-разбавителя может быть выше огнетушащей и флегматизирующей способности отдельных компонентов смеси;
- сочетание этих компонентов в составе тернарной смеси, обеспечивающей одновременное проявление нескольких факторов

прекращения горения (охлаждение, разрежение, ингибирование), при этом возможно получение эффекта синергизма;

– разработана лабораторная методика по определению огнетушащей и флегматизированной способности комбинированных тернарных систем для горючих сред «методом камеры», суть которой заключается в обнаружении концентрации смеси исследуемых огнетушащих веществ, при которой не происходит взрыва или воспламенения воздушно-гексановой газовой горючей среды или древесины в испытательной камере объемом 175 литров горючая среда источника зажигания;

– разработана лабораторная методика по определению флегматизирующей способности газовых горючих сред тернарной смесью огнетушащего порошка, огнетушащего аэрозоля, и газовых огнетушащих веществ-разбавителей «методом цилиндра», суть которой заключается в видеофиксировании и раскадровании сверхскоростной съемки камерой Nikon 1 J4 взрывного горения при добавлении огнетушащих веществ в газовую горючую среду в цилиндре объемом 0,5 л.

Выводы к главе 2

Во второй главе проведен анализ современных мобильных технических средств автоматизированного пожаротушения. Систематических экспериментальных исследований по тушению разных классов пожаров с использованием комбинированной (одновременной) подачи огнетушащих веществ недостаточно. Есть только разрозненные публикации относительно таких исследований, проведенных без надлежащей методологической основы, на разнотипных установках пожаротушения, без апробации в полигонных условиях. В этих работах отсутствует важный аспект исследований – нахождение оптимального режима и последовательности подачи огнетушащих составов в очаг пожара.

Порошковые огнетушащие вещества предназначены для тушения твердых, жидких и газообразных горючих веществ и электроустановок под напряжением.

В состав смесей, подаваемых из огнетушителей и систем (модулей) порошкового пожаротушения, вместе с огнетушащими порошками, компонентами которых могут быть сода, силикагель, сульфаты и фосфаты аммония, соли стеарин кальция, магния и т.п., входит сжатый газ-выжиматель (воздух, азот или диоксид карбона).

По результатам проведенных аналитических исследований обосновано, что огнетушащая и флегматизирующая эффективность смесей огнетушащего аэрозоля, огнетушащего порошка и газового огнетушащего вещества-разбавителя, может быть, выше огнетушащей и флегматизирующей способности отдельных компонентов смеси. Сочетание этих компонентов в составе тернарной смеси, обеспечивающей одновременное проявление нескольких факторов прекращения горения (охлаждение, разрежение, ингибирование), при этом возможно получение эффекта синергизма.

3 Особенности применения мобильной робототехники при тушении пожаров

3.1 Совершенствование технологии пожаротушения с применением мобильной робототехники

Применение мобильной робототехники при тушении пожаров рассмотрим на примере противопожарной защиты лесов.

Для выявления и тушения лесных пожаров в мировой практике привлекаются огромные ресурсы, используются самые современные технологии – от спутникового мониторинга до самых современных систем видеонаблюдения с элементами компьютерного зрения, разработанными передовыми учеными мира. Так, ряд способов раннего обнаружения лесных пожаров были реализованы с внедрением современных геоинформационных систем. Это, в частности, методы на основе подхода «глобального мониторинга», предложенного E.Chuvioco, использующими системы дистанционного зондирования Земли, методы мультиспектрального анализа спутниковых снимков, а также методы акустического и радиоакустического зондирования, позволяющие осуществлять дистанционные измерения температуры и тепловое зондирование. участки леса, описанные в исследовании [100, с. 208].

Методам геоинформационного моделирования посвящены монографии ученого В. Н. Каразина С.В.Кострикова [52, с. 484], а также исследования Путренко В. В. [89, с. 48].

На основе данных дистанционного зондирования на Земле создаются специальные веб-ресурсы. Среди них – сайт Web Fire Mapper, где можно наблюдать зафиксированные на карте пожары в режиме on-line [111, 112]. Подобные веб-ресурсы, а также материалы инвентаризации лесов и специальные карты горимости лесного покрова, свидетельствующие о возгорании, легли в основу создания Европейской лесо информационной

системы для борьбы с пожарами, которая интегрировала данные космической съемки и возможности ГИС-серверных технологий. По данным аудита финансовых органов ЕС, проведенного в январе 2017 года, эта система была признана одной из наиболее эффективных среди всех, созданных в JRC за средства Еврокомиссии [49].

Сегодня разработаны оптические и оптико-электронные методы проработки и повышения информативности космических снимков, приведенные в трудах [135, с. 794-801]. В частности, корреляционно-оптический метод, изложенный в этих исследованиях, можно применять для восстановления неполных и искаженных изображений, которыми являются изображения очагов пожаров. В ходе реализации этого метода есть возможность физического моделирования процесса распознавания сложных образов и их восстановление по ассоциативному принципу с повышенными информационными характеристиками статической нелинейной голографии [156]. Однако основной проблемой широкого практического применения голографической ассоциативной памяти является сложность практической реализации, в частности, отсутствие технологии оптических материалов, которая была бы достаточно гибкой для обработки данных в реальном времени.

В исследовании ученых Мутла М., Попеску С. К., Чжао К.Г. рассмотрены аэрозольные и наземные методы визуализации радара (SAR), основанные на лидарной и спутниковой технологиях (Mutlu M., Popescu SC., Zhao KG и др.) [148]. Исследователи предложили новый подход к трехмерным измерениям состояния зеленой биомассы на основе лидарной и спутниковой технологий. Была доказана точность и целесообразность использования технологии LIDAR для определения внезапных изменений в состоянии лесной биомассы, в частности, наличия очагов лесных пожаров и выгоревших участков. Недостатком системы на основе LIDAR-технологий следует считать их высокую технологичность и дороговизну. Кроме того, инфракрасные лазеры, используемые во многих системах LIDAR, не

проникают через туман или дождь, а информация, полученная с помощью этих систем, требует дополнительной обработки.

В других исследованиях представлены современные системы наблюдения и обнаружения очагов возгорания, основанные на использовании стационарных датчиков. В частности, технологии обнаружения лесных пожаров на основе беспроводных сенсорных сетей (WSN) были предложены в исследовании Буабделла К., Нуреддина Г., Ларби С. Ф. Фрау: «Использование беспроводных сенсорных сетей для надежного обнаружения лесных пожаров». Авторами предложена эффективная информационная технология, основанная на использовании беспроводных сенсорных сетей (WSN). Эти результаты основаны на реальных экспериментальных подходах и свидетельствуют об эффективности предлагаемого метода [165, с. 1-20].

Имеющиеся разработки приобретают особую актуальность, учитывая необходимость в поиске эффективных методов предотвращения, раннего выявления и борьбы с лесными пожарами, возникающих в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС на пораженной радиацией территории. Однако недостатком этих систем является то, что они предназначены для ведения локального наблюдения, фиксируют эпицентры пожара значительной интенсивности по высоте пламени и шлейфу дыма, при этом требуют значительных финансовых затрат на эксплуатацию (к дополнительным затратам относится приобретение необходимого дополнительного кабельного оборудования и усилителей).

Основное место в исследовании и использовании методов дистанционного противопожарного мониторинга занимает съемка в тепловом диапазоне. Варианты, принципы работы, а также перспективы использования современных информационных технологий на основе термовизионных камер описаны в разработках профессора института технической физики Военного технологического университета А. Рогальского (Варшава) [160, с. 187-210]. Методика обнаружения лесных

пожаров с помощью тепловизионных камер была исследована также в научных работах Дюпои Дж., Вачета П., Мареха Дж, Мелендеса, Кастро в работе «Пожарные явления и система Земли: Междисциплинарное руководство по пожарной науке». В ходе многочисленных лабораторных экспериментов и полевых исследований изучения свойств инфракрасного излучения учеными была доказана целесообразность использования методов зондирования с помощью систем, использующих инфракрасные тепловизионные камеры для раннего выявления очагов лесных пожаров и изучения динамики их распространения [141, с. 65-76].

Все больше производителей рекомендуют устанавливать тепловизионные камеры на БПЛА для различных целей мониторинга. Использование БПЛА, оснащенных тепловизионными камерами, является новым перспективным методом мониторинга лесных пожаров, который высоко оценивается национальными и международными экспертами. Некоторые компании специализируются на производстве тепловизионных систем для БПЛА, например Workswell [142] из Чешской Республики. Оснащение БПЛА тепловизионными камерами, облегчить использование тепловидения; БПЛА считаются оптимальными благодаря своей высокой эффективности (они могут покрыть площадь в 1200 га и обнаружить дым, горящие костры и выжженные участки от лесных пожаров при средней скорости 56 км/ч и 20-минутном полете), мобильности, управляемости, стабильности и экономичности использования. Густой туман также может помешать работе тепловизионных детекторов, поскольку капли воды могут блокировать передачу инфракрасного излучения. Кроме того, для установки и транспортировки тепловизионных камер требуются дополнительные ресурсы [24, с. 251]. Основные преимущества и недостатки каждого из методов представлены в таблице 5. Как свидетельствует анализ, ни один из методов не универсален и не в состоянии полностью решить задачу противопожарной защиты лесов.

Для устранения противоречия между большим количеством дорогостоящих высокотехнологичных противопожарных средств, привлекаемых для борьбы с лесными пожарами, и их недостаточной эффективностью, мы предлагаем вовлечь в противопожарный мониторинг леса БПЛА индивидуальных пользователей, активное развитие которых мы наблюдаем сегодня.

Таблица 5 – Основные способы обнаружения лесных пожаров

Название	Преимущества	Недостатки
1	2	3
Патрулирование (наземное, авиапатрулирование)	<ul style="list-style-type: none"> 1) Оперативность сообщения при возникновении пожара, достоверность данной информации. 2) Быстрая предварительная оценка возможных потерь. 3) Возможность быстро найти причину пожара. 4) Прогнозирование направления и быстроты распространения. 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Ограниченность площади территории осмотра, что снижает возможность оперативного обнаружения очагов возгорания, особенно при развитых нижних ярусах растительности. 2) Ограниченность ведения патрулирования на участках со слаборазвитой транспортной сетью дорог. 3) Опасность жизни и здоровье человека.
Стационарные методы обнаружения (наблюдательные пункты, стационарные датчики)	<ul style="list-style-type: none"> 1) Оперативность сообщения при возникновении пожара. 2) Отсутствие влияния человеческого фактора при фиксации ситуации при использовании датчиков. 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Необходимость установки датчиков или наблюдательных пунктов 2) Оборудование, требующее значительных материальных затрат как на первоначальную установку, так и на обслуживание. 3) Выявление пожара значительной интенсивности по шлейфу дыма или по высоте пламени. 4) Ненадежность работы в экстремальных условиях. 5) Недостоверность информации из-за ошибочного износа температурных датчиков.

Продолжение таблицы 5

1	2	3
Анализ и обработка данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)	1) Наличие бесплатного открытого доступа позволяет проводить оперативный контроль лесных массивов на больших территориях. 2) Намного более низкая стоимость по сравнению с патрулированием и стационарными методами обнаружения. 3) Возможность удаленного наблюдения за процессом, достаточная периодичность обновления данных, прогнозирование развития оперативной ситуации.	1) Недостаточная информативность изображений из-за наличия влияния помех и шумов в виде дыма и облаков, турбулентностей атмосферы, сложных рельефов. 2) Нестабильность условий съемки, сбои передачи сигнала.
LIDAR-технологии	1) Точность цифровой модели рельефа местности. 2) Производительность – измерения производятся со скоростями от 10 000 до 80 000 лазерных импульсов в секунду.	1) Система LIDAR является дорогостоящей и высокотехнологичной. 2) Инфракрасные лазеры, используемые во многих системах LIDAR, не проникают сквозь туман или дождь.
Мониторинг с помощью БПЛА с тормозным оборудованием	1) Оперативность. 2) Высокая контролируемость. 3) Стабильность. 4) Экономичность.	1) Зависимость достоверности полученной информации от шумов и помех. 2) Необходимость увеличения логистической нагрузки

Идея привлечения и возможного расширения информационно-технологических возможностей БПЛА базируется на проведенном нами обзоре их современных моделей и анализе возможных сфер применения.

Анализ источников показывает, что рынок производства БПЛА для задач наблюдения предлагает несколько существенных преимуществ по сравнению с традиционными и космическими методами наблюдения. А именно: возможность вести наблюдение без экипажа, достаточная продолжительность и дальность полета, маневренность, независимые от

погоды возможности наблюдения, относительно низкая стоимость, низкие эксплуатационные расходы и возможность массового производства [3, с. 10-16].

Детальному анализу, классификации, целевому назначению как в военном, так и гражданском сегменте, современным разработкам, дизайну, эволюции беспилотных авиационных систем посвящен труд [63, с. 353-359], где приведена международная классификация БПЛА, проведен анализ БПЛА иностранного производства (Unmanned Aerial Vehicles, UAV), в частности, при применении в лесном секторе.

По оценкам специалистов польской компании Sky Tronic, которая наряду с ведущими фирмами США, Китая, Израиля проводит исследования в области проектирования и производства БПЛА, общая стоимость технических решений в этой области оценивается в сумму более \$130 млрд с годовой скоростью роста на уровне 20% ежегодно. В 2023 году будет выпущено 11,5 млрд таких аппаратов. Их производителями будут 400 фирм в Польше и 100 тыс. во всем мире. Сегодня мировой рынок решений для дронов для [82].

Американский эксперт Джон Уорден считает, что к 2025 году около 90% самолетов будут беспилотными, и только 10% – пилотируемыми, а пилоты будут «золотым запасом» для наиболее важных и трудных задач [137].

Сферы возможного применения БПЛА проанализированы в ряде исследований, где приводятся основные сферы применения современных БПЛА и выделяют их преимущества [100, с. 208]. К одному из основных преимуществ БПЛА, по мнению авторов, относится способность выполнять задачи автоматически, не требующая присутствия исполнителя в опасных условиях, способность выполнять монотонную работу, требующую определенных высокопрофессиональных навыков и концентрации внимания. Среди дополнительных преимуществ БПЛА по сравнению с традиционными

и космическими методами получения изображений авторы отмечают следующее:

- малая высота съемки - на высоте 10-200 м можно получить сверхвысокое разрешение (в десятых долях сантиметра);
- точность - позволяет проводить детальные исследования мелких объектов и небольших территорий, что в противном случае было бы невыгодно или технически невозможно, например, в городских районах;
- мобильность - не требуется аэродром или специально подготовленная площадка для взлета; БПЛА можно легко транспортировать на автомобиле (или вручную);
- высокая эффективность - весь цикл от прибытия, обследования и получения результатов занимает всего несколько часов;
- экологически чистый полет - незначительное воздействие на окружающую среду благодаря использованию маломощных бензиновых двигателей и тихих электромоторов.

Все эти особенности и преимущества позволяют использовать БПЛА по следующим трем направлениям гражданской деятельности:

- для обеспечения безопасности жизни,
- в научно-исследовательских целях,
- в коммерческих целях [100, с. 208].

Расширенный спектр использования современных БПЛА приводится в статье [63, с 353-359]. На основании основательного анализа информационных источников среди наиболее перспективных сфер применения БПЛА автор отмечает контроль состояния лесных массивов, сельскохозяйственных полей, а также мониторинг опасных для человека объектов (зоны отчуждения вокруг ЧАЭС, пожаров лесных массивов, вредных производств, складов оружия и т.п.), информационное обеспечение операций спасательных служб в зоне экологических и техногенных катастроф (например, зона ЧАЭС, пожары на вредных производствах и т.п.).

Опыт ведения лесопожарного мониторинга с помощью БПЛА в ходе неблагоприятной лесопожарной обстановки, так и в плановом режиме, описанный в исследовании [137]. В ходе мониторинга оператор получает изображение, передаваемое с борта в режиме данного времени, обрабатывает информацию о местах возгорания и передает данные в соответствующие службы.

Эффективность БПЛА для проведения аэрофотосъемки определяется скоростью получения информации, оперативностью и своевременностью, качеством изображений [41, с. 238-239].

Результаты и анализ аэросъема из БПЛА сельских населенных пунктов приведены в исследовании [4, с. 200]. Авторами определены проблемы, возникающие при проведении аэросъемного процесса и возможности их решения.

Отдельные исследования посвящены применению БПЛА в военных целях, в частности в трудах [95, с. 224] доказываются их боевая эффективность, определяется широкий круг военных и военно-технических задач, которые способны решить современные БПЛА, их влияние на характер боевых действий, также перспективы их применение.

Использование БПЛА для сопровождения многих видов деятельности – практика, которая приобретает все более широкое распространение в России. Она имеет особую популярность в последние годы вместе с развитием информационно-технических возможностей БПЛА, которые способны быстро и эффективно удовлетворить потребности в аэрофотосканировании – получении оперативной информации с высоты птичьего лета [95, с. 224].

Современные малые БПЛА весом в несколько килограммов помещаются в рюкзаке и могут выполнять сложные задачи. Эти летательные аппараты, развивая скорость 80-120 км/ч и набирая высоту до 500 м, могут записывать изображения в качестве 4К и передавать его в HD-расширении. Дальность полета новейших массовых БПЛА достигает 25 км. При необходимости они могут зависать в воздухе круглосуточно. Крылья и

фюзеляжи БПЛА производятся из композитных материалов, армированных углеволокном. Качественный БПЛА может находиться в воздухе несколько часов, подниматься на высоту до пяти километров и преодолевать маршрут протяженностью до 500 километров. На нем также может быть установлена система стабилизации, позволяющая успешно проводить полеты при скорости ветра до 20 м/с (70 км/ч) [97, с. 312].

Современный рынок гражданской беспилотной техники, направленный на их использование в сельском хозяйстве и охране лесов, считается наиболее перспективным. Согласно нормативным документам Евросоюза, распределение потребительского спроса на гражданские БПЛА в период с 2015 по 2020 годы будет выглядеть следующим образом: 25% – пожарные БПЛА, 13% – дроны для сельского хозяйства и лесничества, 10% – для энергетики, 6% – для контроля земной поверхности, 1% – в качестве средств связи. Исследователи американской организации AUVSI, изучающей рынок БПЛА, пришли к выводу, что к середине XXI века основными потребителями гражданской беспилотной продукции в мире станут фермеры и лесоохранные хозяйства [124, с. 11-20].

Однако, статистика показывает, что 45% беспилотных летательных аппаратов не попадают в данные категории и используются обычным гражданским пользователям, использующим их для своих нужд. Итак, почти половина всех проданных БПЛА является потенциальным сегментом для привлечения в разработанную систему противопожарного мониторинга. Идея привлечения неспециальных БПЛА основана на том, что он заменяет собой целую группу операторов, операторские краны и вертолеты, при этом он несколько мобильнее и обеспечивает передачу информации в режиме реального времени.

Таким образом, БПЛА сегодня с успехом применяются как в военных, так и мирных целях. Есть опыт их внедрения в ходе лесопожарного мониторинга. Однако для его осуществления необходима оптико-электронная система с высоким разрешением и с несколькими каналами

вывода информации: тепловизор, видеокамера, инфракрасная камера, мультиспектральная камера [106, с. 56-60].

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что на сегодняшний день не существует информационной системы и технологии мониторинга лесных пожаров, которая позволяла бы эффективно осуществлять мониторинг лесных пожаров только за счет расширения существующих информационно-технологических возможностей стандартных неспециализированных БПЛА, принадлежащих частным лицам, без необходимости использования дополнительного высокотехнологичного оборудования. Создание таких мобильных информационно-технологических служб, основанных на спонтанной социальной коммуникации, помогло бы дополнить и повысить эффективность существующих методов мониторинга лесных пожаров, поскольку они не требуют государственного финансирования, могут обнаруживать лесные пожары на ранней стадии возгорания и получать информацию раньше, чем официальные источники.

Эффективное функционирование беспилотных летательных аппаратов и выполнение функциональных задач обеспечивается комплексом современных аппаратно-программных средств управления, в состав которого входит бортовая и наземная аппаратура, а также специальное программное обеспечение.

Для выполнения специальных задач, в частности для аэрофотосъемки, БПЛА должен рассматриваться в совокупности с его оснащением и полезной нагрузкой, для чего введен термин «беспилотная авиационная система» (БАС).

К полезной нагрузке для задач аэрофотосъемки относится цифровая фотокамера, в качестве дополнения могут использоваться видеокамера, тепловизор, ИК-камера [124, с. 11-20].

Во время цифровой обработки и передачи цифровых данных в аппаратуре БПЛА возникает широкий круг проблем, основной из которых является несовершенство методов и алгоритмов цифровой обработки в

оптико-электронных приборах, в частности проблема обработки изображения в реальном масштабе времени. К проблемам применения цифровой обработки видеоизображений в аппаратуре БПЛА относится недостаточное обеспечение мониторинга местности перспективной аппаратурой БПЛА, значительные требования к каналам связи с БПЛА [105, 106, с. 56-60].

Среди широко известных фотограмметрических технологий обработки цифровых данных есть программный комплекс Inrho компании Trimble. Это полнофункциональная фотограмметрическая система, позволяющая решать широкий спектр задач, связанных с проработкой снимков. Прежде всего, реализована полная поддержка данных, получаемых с помощью БПЛА. К примеру, для БПЛА Trimble UX5 или Trimble X100 в файл проекта Inrho автоматически через конвертор загружаются снимки, информация о камере и данные об ориентации камеры. Для других беспилотных летательных систем используются стандартные импортные функции. Встроенные алгоритмы являются гарантом получения надежных результатов даже оператором без знания фотограмметрии и опыта в обработке данных. В Inrho используются эффективные и надежные алгоритмы интерполяции, фильтрации шумов и возмущений. Кроме того, существует возможность редактирования и оцифровки структурных линий, объектов и т.п. в 3D [88].

Недостатком этих алгоритмов является необходимость дополнительной проработки полученной информации.

К современным программным системам, используемым для обработки цифровых изображений, полученных с борта БПЛА, относится программа PHOTOMOD UAS [107]. В программе реализованы следующие основные возможности для разработки проектов БПЛА:

- предварительная подготовка исходных снимков,
- внутренняя ориентировка снимков,
- взаимная ориентировка снимков,

- ввод и измерение координат опорных точек,
- внешняя ориентировка снимков,
- моновекторизация,
- стереовекторизация,
- построение ЦМР,
- создание ортофотоплана,
- создание цифровой карты местности,
- построение трехмерной модели городской застройки.

К недостаткам работы с программой можно отнести то, что при работе с ней существует ограничение использования исходных данных – в качестве исходных данных могут использоваться только снимки центральной проекции с размером не более 60 МП.

Для потребителей видовых данных с борта БЛА актуально получение цветных и полутоновых черно-белых изображений с размером кадра 25 Мпикселей и более с разрядностью до 12 бит на пиксель, а также видеоданных с качеством Full HD 1080p [87]. Сжатые видовые данные могут записываться в бортовой регистратор, что требует их сжатия со значениями коэффициента сжатия не менее десяти при сохранении высокого качества сжатых данных. Для обеспечения оперативности доставки сжатые видовые данные должны передаваться по радиоканалам, для которых характерно значительное изменение условий радиосвязи и влияние случайных и умышленных ошибок передачи с разными законами их распределения. Это обуславливает необходимость адаптации параметров сжатых видовых данных к скорости передачи и режимам помехоустойчивости [88].

В части реализации также существенные трудности вызывает разработку малогабаритных бортовых средств обработки и передачи скоростных потоков сжатых данных при минимизации энергопотребления.

Одним из интенсивно развивающихся направлений является оперативная обработка видовой информации, позволяющая значительно снизить ресурсы, которые тратятся на постановку задачи для операторов

БЛА, а также решение задач поиска и распознавания объектов для оператора-дешифровщика. К группе указанных оперативных задач следует отнести: стабилизация видео-потока; интеллектуальный выбор стоп-кадров с минимальной «смазкой»; сопровождение движущегося объекта с определением скорости и направления; селекция движения по видеопотоку; формирование комплексного изображения, отражающего маршрут полета, как правило из небольшого числа изображений; выявление и распознавание объектов по видеопотоку и статическим изображениям; планирование маршрутов полетов БПЛА [67, с. 53].

Для обеспечения достаточного качества работы, выражаемой с одной стороны низким числом ошибочных обнаружений, а с другой – минимальным объемом пропусков движения при работе в реальном масштабе времени, требуются значительные вычислительные затраты, для тщательного анализа видео-потока на предмет изменений между кадрами. Выявление движущихся объектов в видео-потоке в реальном масштабе времени, несомненно, является важной задачей систем компьютерного зрения.

Основная идея алгоритма, предложенного в данной статье [99, стр. 106-108], заключается в объединении подхода, используемого при обнаружении движущихся объектов неподвижной камерой, с движением камеры, установленной на БПЛА. вывод видео-потока после компенсации Этот метод позволяет эффективно обнаруживать движущиеся объекты при использовании движущейся камеры, при этом не увеличивая вычислительную сложность алгоритма настолько, чтобы его можно было использовать в режиме реального времени. Однако реализация этого метода требует применения дополнительной операции компенсации движения камеры.

Для решения задачи выявления и распознавания объектов на оптико-электронных изображениях и в видео-потоке с борта БПЛА, одним из перспективных направлений также является применение модельно-

ориентированного подхода, поскольку формирование представительной обучающей выборки изображений объектов является достаточно трудоемким и практически не реализованным в краткий промежуток времени задачей.

Акустооптические устройства для контроля параметров электромагнитного излучения [27]. С помощью акустооптических устройств контролируют основные свойства оптического излучения, такие как амплитуда, частота, фаза, поляризация и направление распространения светового потока. Акустооптические приборы работают как с монохроматическим светом, так и с немонахроматическим излучением в непрерывном или линейчатом спектре.

Основное преимущество акусто-оптических фильтров заключается в том, что они позволяют быстро перестраивать длину волны отфильтрованного излучения с помощью электроники. К другим преимуществам относятся: широкий диапазон электронной перестройки длины волны, работа в режиме реального времени, малые размеры и вес, высокая надежность, отсутствие движущихся частей, высокое спектральное разрешение, низкие световые потери, низкое энергопотребление, селекция излучения по поляризации света, широкое поле зрения, высокая яркость, произвольный доступ к отфильтрованному свету под линейолны возможен, возможны много частотные режимы работы, компьютерное управление прибором и т.д. Учитывая эти особенности акустооптических фильтров ,перспективным является их использование в аэрокосмических системах для дистанционного мониторинга техногенных и природных объектов. В частности, акустооптические фильтры желательно включать в состав устройств, устанавливаемыхна беспилотных летательных аппаратах. Такие летательные аппараты могут вести разведку и мониторинг состояния поверхности и атмосферы в целях экологии и безопасности, обнаруживать токсичные вещества и газы в окружающей среде. Перспективно также использование разработанных устройств для решения задач военной и специальной техники[40, с. 71-81]. Недостатками данных устройств являются

высокая техническая сложность устройств и необходимость дополнительного оборудования комплекса, устанавливаемого на беспилотные летательные аппараты.

Современной мировой тенденцией в области обнаружения и распознавания является использование конволюционных нейронных сетей [75, с. 254]. Основное преимущество данного подхода по сравнению с описанием пространственных признаков заключается в том, что алгоритмы, по сути, сами находят информативные признаки. Основная задача разработчика заключается в выборе топологии сети и настройке ряда параметров [75, с.254].

Конвергентные нейронные сети могут применяться как для обнаружения объектов, так и для их распознавания. Следует отметить, что для данного типа классификатора и возможности распознавания предполагается, что существует база из 172 репрезентативных изображений для обучения. Возможным решением этой проблемы является создание нескольких клонов с деформацией имеющихся изображений объектов в дополнение к моделированию [40, с. 71-81].

Согласно исследованиям, применение конволюционных нейронных сетей для распознавания по модельным оптическим изображениям до настоящего времени не было успешным. Основной причиной этого является отсутствие исследований в области компьютерного моделирования, касающихся проблемы генерации обучающих образцов.

Одним из путей улучшения эффективности функционирования информационной системы раннего обнаружения очагов лесных пожаров является вовлечение в мониторинг лесных пожаров БПЛА обычных пользователей. Предполагается расширить функциональные возможности неспециализированных БПЛА таким образом, что в ходе выполнения своих узких специальных задач (картографической съемки, инспекции полей, определения состояния ирригационных сооружений и т.д., экстрим-съемки, масс-медиа и т.п.) они в фоновом режиме будут мониторить лес на предмет

поиска очагов лесных пожаров и, в случае фиксации подозрительных объектов, информировать соответствующие службы МЧС.

Однако одной из особенностей их применения является отсутствие на борту специализированного технического оборудования, вроде тепловизоров, для автоматического обнаружения очагов зажигания. Обычно такие аппараты оборудованы только камерой с разрешением класса HD и FullHD. Пропускная способность процессора, обрабатывающего видеопоток, в среднем – 60 мегабит в секунду. Такие характеристики обеспечивают оперативность обработки видеопотоков и позволяют выдвинуть гипотезу о возможности расширения информационно-технических возможностей современных БПЛА без дополнительного специального видеооборудования для решения прикладной задачи поиска очагов лесных пожаров [132, с. 584]. Для этого необходимо повысить информативность часто зашумленных и нечетких (вследствие наличия шумов и искажений в виде ветвей, перемещения приемника, турбулентности атмосферы и т.п.) кадров, передаваемых с борта БПЛА. Это позволит усовершенствовать систему противопожарного мониторинга благодаря уменьшению количества ошибок при идентификации пожара в автоматическом режиме. Таким образом, информационным ресурсом разработанной нами информационной системы являются видеокadres, полученные с борта БПЛА, информативность которых повышается после обработки с помощью методов цифровой обработки изображений [132, с. 584].

В соответствии с поставленной задачей оптимизации процесса распознавания очагов лесных пожаров, мы проанализировали задачи цифровой обработки изображений, которые независимо от их типа можно свести к небольшому количеству основных:

1. Фильтрация и улучшение визуального восприятия изображения на фоне помех, которые по возможности необходимо ослабить.
2. Восстановление утраченных участков.
3. Нахождение объектов и их идентификация на некотором фоне.

4. Оценка геометрических трансформаций и совмещение изображений.
5. Оценка характеристик.
6. Сжатие изображений.
7. Правильная цветопередача по всему диапазону.

Анализируя кадры видео-потока, полученные в реальных условиях мониторинга леса (рисунок 6), можно отметить, что правильная цветопередача не влияет на скорость и безошибочность распознавания, а в некоторых случаях даже могут совпадать.

В таких случаях целесообразно приглушение одних цветов и насыщение других, ведь улучшение изображения заключается в изменении его свойств, которое позволяет более комфортно и субъективно воспринимать это изображение, а не просто достичь полной идентичности с реальным [90, с. 342].

Проблемы оценки геометрических трансформаций, совмещения и сжатия изображений в нашем случае также не являются определяющими, поскольку исследуемые изображения получены с помощью надежных неперегруженных каналов передачи данных.



Рисунок 6 – Видеокадр, полученный с борта БПЛА при мониторинге леса

Поскольку в предложенной ИТ окончательное принятие решения лежит на человеке-операторе, то для повышения информативности поступающей с

борта БПЛА видеоинформации мы проанализировали известные методы современной компьютерной обработки цифровых изображений, возникшие в результате стремления создать универсальные и одновременно предметно-адекватные модели и процедуры для разных прикладных задач [90, с. 342]. Таким образом, была развита система обработки цифровых изображений, полученных с борта БПЛА путем комбинирования методов, которые оказались наиболее эффективными для решения основных задач, которые должна решать информационная технология в автоматическом режиме.

Выбор оптимальных математических методов обработки видеопотоков, основанный на приведенных ниже преимуществах и недостатках современных методов обработки цифровой информации.

В соответствии с поставленными задачами были выбраны методы, использование которых позволяет их решить, то есть достичь максимального эффекта повышения информативности цифровых изображений в заданных условиях. Как видно из таблицы 6, достижение этого эффекта возможно только путём комбинации нескольких математических методов. В частности, последовательным использованием таких математических методов: повышение контрастности изображения (К), вейвлет-преобразование (В), кластеризация (Кл).

Последовательное использование указанных методов позволит решить все вышеперечисленные задачи. Однако они нуждаются в усовершенствовании и адаптации с учетом мультиплатформенных и аппаратных характеристик устройств управления БПЛА. В дальнейшем, в ходе исследования эффективность каждого из выбранных методов и их комбинаций была проверена экспериментально.

Таким образом, была усовершенствована система обработки цифровых изображений с целью раннего обнаружения на них очагов лесных пожаров.

Далее рассмотрим методологические основы автоматической адаптации параметров вейвлет-преобразования и частоты обработки кадров к техническим характеристикам устройств управления.

Таблица 6 – Основные методы компьютерной обработки изображений, используемых с целью улучшения качества восприятия

Основные методы компьютерной обработки изображений, используемых с целью улучшения качества восприятия человеком		Обеспечивают ли перечисленные методы решения основных задач распознавания человеком-оператором объектов на космических и аэрофотосъемках							
		Увеличение яркости и контраста	Фильтрация	Восстановление утраченных участков	Нахождение объектов и их идентификация на некотором фоне	Правильная цветопередача по всему	Оценка геометрических трансформаций и совмещение изображений	Оценка параметров	Сжатие изображений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Преобразование яркости	Линейное контрастирование	+	-	+	-	-	-	-	-
Преобразование яркости и пространственная фильтрация	Преобразование изображения в негатив	+	-	-	+	-	+	-	-
	Выделение границ	-	-	-	+	+	+	-	-
	Логарифмическое преобразование	-	-	-	+	+	+	-	+
	Степенное преобразование (гамма-коррекция)	-	+	-	+	-	-	-	-
	Кусково-линейное преобразование	+	-	-	+	+	+	-	-
	Преобразование гистограмм (эквализация)	-	-	-	+	+	-	-	-
	Поэлементное преобразование	+	+	-	-	-	-	+	-
	Пространственная фильтрация Линейная пространственная фильтрация Нелинейная пространственная фильтрация (сигма-фильтр, медианный фильтр)	-	+	-	-	-	+	-	-

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обработка в частотной области. Частотная фильтрация изображений (прямое и обратное пространственно-частотное преобразование)	Дискретное преобразование Фурье	+	+	+	+	-	-	+	+
	Вейвлет – превращение	-	+	+	+	+	+	+	+
	Низкочастотная фильтрация	-	+	-	+	-	-	-	+
	Высокочастотная фильтрация	-	+	-	+	-	-	-	-
Морфологические методы	Бинаризация Метод водораздела	-	-	-	+	-	+	+	-
		-	-	+	+	-	-	+	-
Кластеризация		-	-	-	+	-	+	+	-
Использование алгоритма быстрорастущего нейронного газа		-	-	+	+	-	+	+	-
Нейросетевые технологии		+	-	-	+	+	+	+	-
Метод оптической голографической ассоциативной памяти		+	-	+	+	+	+	+	-
LIDAR-технология		-	-	-	+	+	+	+	-

Задачи, выполняемые БПЛА, могут быть разделены на следующие этапы:

- проведение видеосъемки,
- передача видеосигнала на пульт управления,
- анализ изображений на предмет обнаружения очага пожара,
- в случае обнаружения очага пожара передача на центральный пульт МЧС оригинала и проработанного фото (видео), GPS-координат очага пожара.

Актуален вопрос анализа изображений на предмет обнаружения очага пожара в фоновом режиме. В предыдущем подразделении были определены математические методы, которые могут быть положены в основу информационной технологии раннего выявления очагов лесных пожаров с целью дальнейшего развития и усовершенствования системы пожарного мониторинга. Однако необходимо усовершенствовать эти методы путем адаптации их по критерию скорость/точность, зависящего от устройства

управления. Для реализации этого функционирования ИТ реализуется в два этапа. На первом этапе адаптация параметров математических моделей под характеристики устройств управления. После чего система переходит на второй этап функционирования – непосредственный поиск очагов лесных пожаров. В общем, принятие решения на основе видео-потока из БПЛА может быть представлено с помощью структурной схемы (рисунок 7).

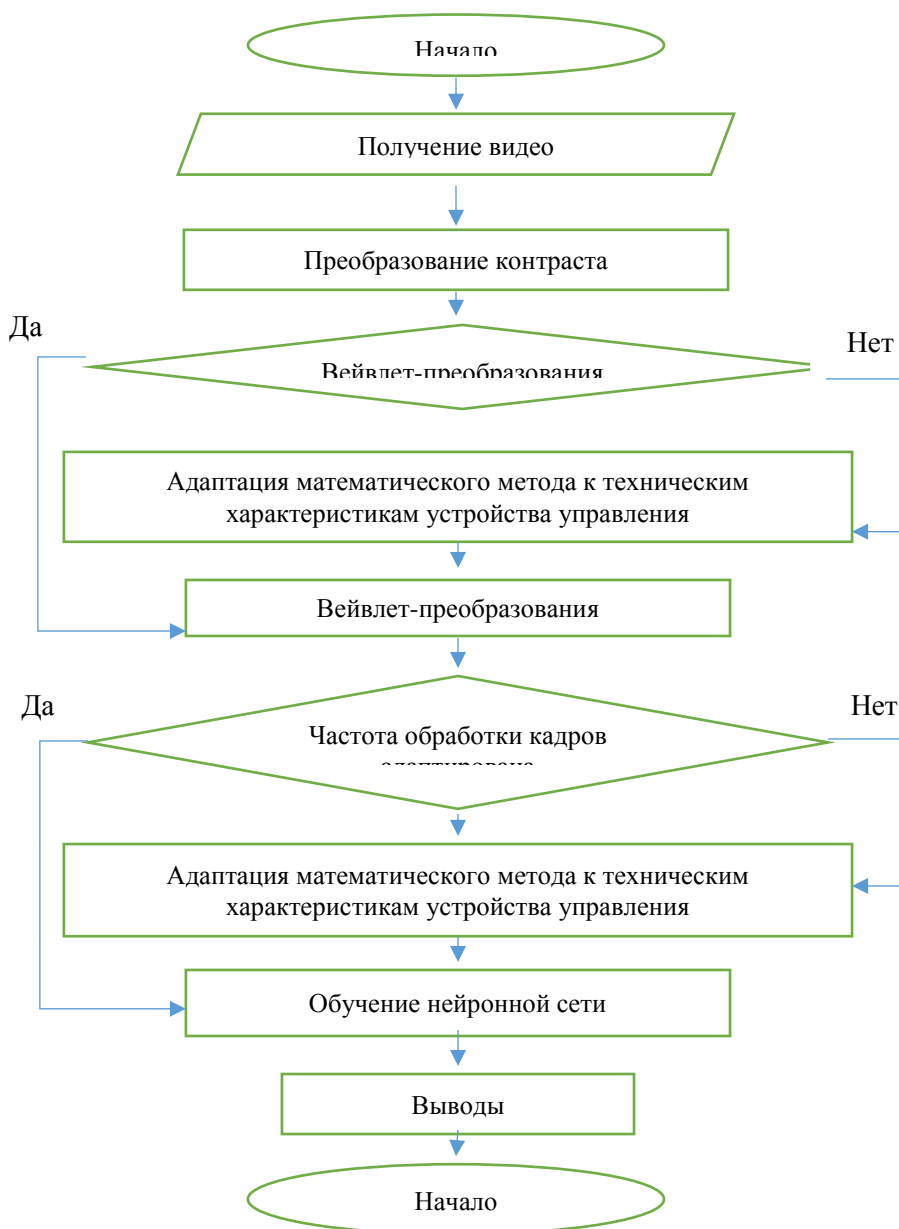


Рисунок 7 – Схема принятия решения о наличии очага лесного пожара

Принцип принятия решения состоит из следующих последовательных этапов:

1. Полученный из квадрокоптера видео-поток разлагается на серию отдельных кадров. Как показал проведенный анализ математических методов, преобразование контрастности не занимает много расчетного времени, поэтому, независимо от этапа работы, каждый отдельный кадр проходит предварительную обработку посредством преобразования контрастности.
2. В случае нахождения ИТ на первом этапе происходит приспособление параметров вейвлет-преобразования под технические характеристики устройства (этот расчет является длительным).
3. Каждый кадр подвергается вейвлет-преобразованию.
4. В случае нахождения ИТ на первом этапе проводится обучение нейронной сети на тестовых кадрах. Для определения объекта зажигания предложено использовать методы кластеризации, которые разделят все множество цветов видеоряда на 3 кластера: естественные, неестественные (вроде пожара) и неестественные (вроде палатки или одежды людей).

Принятие решения на основе обученной нейронной сети или нечеткой логики и доучивания последней. Поскольку первый этап работы предлагаемой информационной технологии (обучение и адаптация) фактически представляет собой расширенный вариант второго этапа, проведем сначала формализацию второго этапа функционирования информационной технологии. Как уже было сказано выше, функционирование информационной технологии на втором этапе включает в себя последовательную обработку каждого кадра методами повышения яркости и контраста, вейвлет-преобразования и кластеризации, благодаря чему повышается информативность цифровых изображений зашумленных очагов лесных пожаров. После обработки искомым деталям, очаги пожаров, могут быть безошибочно распознаны. Раннее обнаружение источника

зажигания обеспечивает своевременность принятия решения о наличии опасности и делает невозможным перерастание очага пожара в широкомасштабную катастрофу.

Для того чтобы уменьшить размер изображения при минимизации потери информации, что является необходимым условием для увеличения скорости обучения нейронных сетей, в качестве следующего этапа обработки было выбрано вейвлет-преобразование. Основная идея этого метода заключается в замене базового набора тригонометрических функций, учитывающих интегральные свойства всего множества сигналов, новым набором функций, максимально учитывающим поведение сигнала в его окрестности. Определите точки съемки и ограничьте влияние значений сигнала в точках, удаленных от точек измерения. Далее разработайте метод обработки видеопотока. Как было показано выше, процесс принятия решений состоит из последовательных этапов расчета с помощью разных типов математического аппарата. Для решения задач такого плана недостаточно одного мощного процессора. Как показано в работах [91, с. 672], они достаточно эффективно распараллеливаются на отдельные блоки, за решение каждого из них отвечает отдельное ядро или процессор. В частности, преимущества параллельных вычислений воплощены в гетерогенной процессорной архитектуре HSA (Heterogeneous System Architecture) консорциума HSA Foundation, объединяющей скалярные вычисления на CPU, параллельные вычисления GPU и оптимизированную обработку сигналов DSP через когерентный доступ к памяти.

Один из них – метод Хаара распознавания образа. Этот метод является многоступенчатым анализом видеопотока для идентификации лиц. Его суть состоит в том, что обработка групп пикселей изображения проходит в несколько этапов (каскадов).

Быстродействие алгоритма достигается тем, что в рамках каждого каскада данные для проработки в зависимости от их типа сразу же распределяются между CPU и GPU без какого-либо копирования в памяти

или ненужного использования кэша. В результате мы получаем более высокий уровень производительности, чем в случае использования только CPU или GPU. Производительность HSA превышает производительность современных платформ в 2,5 раза. При этом гетерогенная архитектура потребляет в 2,5 раза меньше энергии.

Благодаря использованию параллельных алгоритмов, появилась возможность реализации алгоритмов одновременного наблюдения за объектами в видеопотоке. При этом процесс происходит в реальном масштабе времени, а видео полноценно 30fps. Реализация такого алгоритма на современных многоядерных CPU CUDA дает прирост производительности в 2-3 раза.

Развитие многопроцессорных архитектур и технологий параллельных вычислений стимулирует расширение их применения, в частности, для информационно-измерительных систем, которые должны обеспечить контроль параметров и характеристик технологического оборудования в особых условиях эксплуатации.

Показателен опыт использования подобных современных информационно-измерительных систем в совокупности с беспилотными авиационными комплексами и создание на их основе нового класса беспилотных авиационных измерительных систем, способных проводить дистанционный мониторинг техногенно-опасных объектов, в том числе Чернобыльской атомной электростанции, атомной электростанции Фукусима и т.д. Такие системы способны обеспечить наблюдение и сбор измерительной информации в автоматическом режиме на больших участках вокруг объектов контроля, вредных для человека условиях и труднодоступных участках местности. Большинство из этих функций могут быть реализованы посредством дистанционного участия оператора в процессе измерений [126, с. 152].

Основным недостатком такого подхода является то, что необходимо создавать специализированное аппаратное обеспечение, достаточно

дорогостоящее и ориентированное на решение одного класса задач. Поэтому такие подходы идут вразрез концепции привлечения неспециализированных БПЛА со стандартным оборудованием. Однако основные принципы функционирования таких систем могут быть использованы в качестве основы предложенной ИТ.

Как было сказано выше, процесс принятия решений можно разбить на серию информационно независимых частей, для ускорения обработки данных был разработан метод автоматизированного поиска очагов лесных пожаров с использованием параллельных расчетов в фоновом режиме, обеспечивающий распределение и оптимизацию использования ресурсов БПЛА (рисунок 8). Поскольку большинство современных устройств управления оснащены четырехъядерными и более процессорами, то метод оптимизирован именно для них.

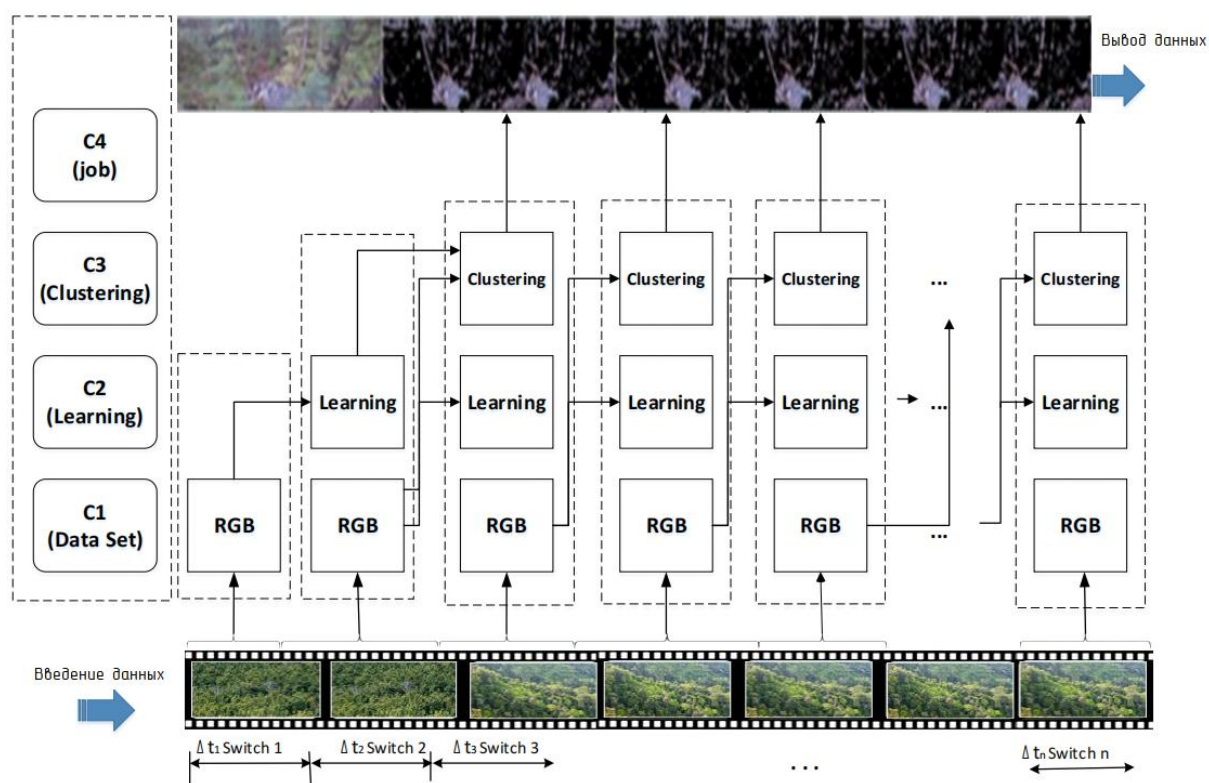


Рисунок 8 – Структурная схема функционирования распределенных расчетов определения очагов лесных пожаров

Вычислительный алгоритм, основанный на предложенном методе, выглядит следующим образом:

Этап обучения и адаптации. Для серии кадров длительностью Δt_1 :

- каждый кадр полученного видео-потока проходит предварительную обработку (усиление контраст и вейвлет-преобразование) в первом процессорном ядре и заполняется обучающими выборками, используемыми для обучения нейронной сети;
- в конце Δt_1 первые обучающие выборки подаются на второе ядро для обучения нейронной сети;
- во время обучения нейронной сети первое ядро дополняет обучающие выборки на основе следующих кадров;
- по истечении времени Δt_2 обученная нейронная сеть подается на третье ядро процессора, где выполняется кластеризация и оценка времени вычислений;
- после оценки времени изменяются параметры n -вейвлет-преобразования и частота обрабатываемого кадра f , и все шаги повторяются до тех пор, пока не будут определены оптимальные параметры метода для конкретного контроллера.

Фаза принятия решения состоит из циклов предварительного обучения и кластеризации:

- каждый цикл длится столько времени, сколько требуется для обучения нейронной сети, которая изменяется в процессе функционирования метода;
- по окончании обучения и адаптации, а также в начале каждого цикла, обученная нейронная сеть отправляется на третье ядро для проведения кластеризации кадров и формирования выходного видеобразия. Видеоданные для той цели отправляются из первого ядра в режиме реального времени;

- улучшенные обучающие выборки, полученные из первого ядра, передаются во второе ядро для обучения, формируя следующую обучающую выборку;
- во втором ядре сеть проходит предварительное обучение. После завершения обучения цикл повторяется.

Структурная схема функционирования распределённых расчетов приведена на рисунке 8. Если в лесу возник пожар, то видеозапись с GPS-координатами отправляется на пульт МЧС. Там оператор проверяет ее и решает, нужны ли дополнительные меры или дополнительные БПЛА для дополнительного обследования территории. Тема: Применение технологий для борьбы с лесными пожарами. В данном случае, использование видеоматериалов и GPS-координат для быстрого обнаружения очагов пожара и принятия мер для их тушения. Это является одним из способов использования современных технологий для предотвращения и борьбы с лесными пожарами.

Итак, разработан метод автоматизированного поиска очагов лесных пожаров и оповещения МЧС с использованием параллельных вычислений, рассчитан на использование устройств управления с четырехъядерными процессорами в фоновом режиме, что обеспечивает распределение и оптимизацию использования ресурсов БПЛА и устройства управления.

3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий при организации пожаротушения мобильной робототехникой

В настоящее время одним из перспективных направлений повышения эффективности работы человеко-машинных систем обработки зрительной информации является интеллектуализация операторского труда в смысле разработки зрительных образов в семантическом аспекте. Важен отбор среди выданных объектов именно тех, которые нужны, однако их обработка является напряженной интеллектуальной деятельностью, которая требует

немалых затрат времени и значительной напряженной работы мозга и зрительного анализатора.

В ходе экспериментального исследования, описанного в этом разделе, разработана процедура фиксации времени распознавания и способа изменения опознавательной сложности представленных изображений без изменения их семантики, путем дискретного (степенного) изменения их контраста и яркости, что является актуальной задачей и имеет немаловажное значение для тренажерных систем подготовки и аттестации операторского персонала. В ходе проведенных экспериментов для оценки эффективности операторской деятельности на экран монитора подавались изображения стандартных рабочих ситуаций и определялась относительная частота ошибок. Однако при этом не учитывалось ни время распознавания, ни характеристики предоставленных стандартных изображений [68, 69, 127].

Как показали исследования, регистрация времени распознавания и учет изменения характеристик изображения существенно повышает объективность оценки эффективности операторской деятельности. А в нашем случае самое время распознавания изображения и время реакции оператора являются важными индивидуальными характеристиками человека [133, с.400].

Сегодня разработано много разнообразных моделей человека-оператора, описывающих разные психологические свойства человека при работе в системе управления, разные каналы восприятия информации. Информационная теория зрения Д. Марра [8, с. 23-39] предлагает информационный анализ феномена зрения человека, а именно способы построения алгоритмов, позволяющих по структуре изображения делать вывод о структуре реального мира, а также физические ограничения и предположения, обеспечивающие возможность построения такого вывода.

Моделирование процесса восприятия основано на том, что человек и компьютер поэтапно обрабатывают информацию при распознавании знакомых предметов. Эти этапы включают регистрацию информации,

выделение свойств объектов с помощью специализированных каналов или детекторов, сравнение с ранее полученной информацией, хранящейся в длительной памяти, и принятие решения - выбор наиболее подходящего кода из многих актуализированных для искомого объекта. Важно отметить, что моделирование процесса восприятия является одной из ключевых тем в искусственном интеллекте [172]. Эта технология используется для создания компьютерных систем, которые могут распознавать и классифицировать объекты на основе изображений или других типов данных. Например, системы распознавания лиц, которые используются в безопасности и в различных других областях, основаны на моделировании процесса восприятия.

Для оптимального построения информационной модели реальной среды необходимо проанализировать процесс восприятия и распознавания информации, выяснить его природу и закономерности. Прием информации посредством манипуляций человека следует рассматривать как процесс формирования перцептивных представлений. Оно понимается как субъективное отражение свойств объекта, действующее на сознание человека. Исследования, ведущиеся в русле субъектной психофизики, подчеркивают активность и индивидуальность субъекта в процессе решения психофизической задачи [10].

Рассмотренные свойства восприятия информации интересны в плане инженерной психологии в том смысле, что они не являются первоначальными свойствами перцептивного образа, а формируются в процессе его становления. Данные исследований в области психофизики и нейрофизиологии зрительной системы человека могут быть положены в основу методов обработки информации, используемых в системах автоматизированной обработки и распознавания изображений при разработке моделей человека-оператора [38, с. 81-85].

В ходе эксперимента, описанного в данной работе, учтены такие психофизические особенности человека-оператора, как скорость реакции на

разные по контрасту, яркости и другим характеристикам изображения. Целесообразность применения предложенной методики для изучения процессов обработки зрительной информации позволяет анализировать скорость принятия решений человеком-оператором.

В эксперименте приняли участие 120 студентов в возрасте 18-20 лет, обладающих навыками работы с персональным компьютером. Перед тестированием разработанной информационной системы в реальных ситуациях выявления очагов лесных пожаров были проведены тесты на определение и учет особенностей психоэмоционального состояния участников эксперимента, было проведено дополнительное их тестирование по методике САН (самочувствие, активность, настроение) и тестирование личностной тревожности по шкалой Спилбергера-Ханина [119]. Тест производился в режиме on-line.

Результаты этого теста позволили сформировать выборку студентов, которые по своему психоэмоциональному состоянию, в частности по уровню реактивной и личностной тревожности на момент проведения эксперимента, могут быть вовлечены в тестовый эксперимент по обнаружению очагов лесного пожара на цифровых изображениях, полученных с борта квадрокоптера.

Опросник Спилбергер-Ханин предназначен для оценки реактивной и личностной тревожности. Личностная тревожность считается относительно стабильным качеством личности, которое характеризует степень беспокойства, тревоги и эмоционального напряжения, вызванного стрессовыми факторами.

Реактивная тревожность - это специализированное состояние, которое характеризует и развивает у человека степень тревоги, беспокойства и эмоционального напряжения в конкретных стрессовых ситуациях. В то время как личностная тревожность является стабильным индивидуальным качеством, состояние реактивной тревожности довольно динамично по времени и степени выраженности.

Методика Ч. Спилбергера и Ю. Ханина может одновременно измерять тревожность как самочувствие (так называемая ситуативная тревожность – изменение эмоционального фона в соответствии с изменением ситуации) и как характеристика личности (так называемая личная тревожность, ориентированная на познание внутреннего мира человека).

Опросник Ч. Спилбергера состоит из 40 вопросов на суждение «Как вы себя чувствуете сейчас» и 21-40 вопросов на личностную тревожность (шкала «Как вы себя обычно чувствуете»). Для каждого вопроса шкала реактивной тревожности допускает четыре возможных ответа по интенсивности (совсем нет, вероятно, правильно, довольно правильно), а шкала личностной тревожности допускает четыре возможных ответа по частоте (почти никогда, иногда, часто, почти всегда).

В опроснике Ч. Спилбергера есть вопросы на суждения; некоторые опросники Спилбергера сформулированы таким образом, что ответ (1) подразумевает отсутствие или легкую тревожность. Так называемые прямые вопросы - это № 3, 4, 6, 77, 9, 12, 13, 14, 17, 19 в шкале реактивной тревожности и № 22, 23, 24, 25, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 37, 38 и 40 в шкале личностной тревожности. Другие так называемые обратные вопросы, где ответ (1) означает высокую тревожность, а ответ (4) - низкую тревожность.

Результаты предложенной методики указывают не только на психодинамические особенности личности, но и на вопросы взаимосвязи параметров реакции и активности личности, ее темперамента и характера. Эта методика является подробной субъективной характеристикой личности.

Анкетирование производится следующим образом. Сначала отдельно суммируются баллы по обратным и прямым вопросам, затем сумма обратных вопросов вычитается из суммы прямых вопросов, и к результату прибавляется определенное число - 50 по шкале реактивной тревожности и 35 по шкале личностной тревожности. Общий балл по каждой шкале варьируется от 20 до 80. Более высокий балл означает более высокий уровень тревожности (реактивной и личностной тревожности). Уровни реактивной и

личностной тревожности оцениваются по следующей шкале: до 30 баллов: низкий уровень тревожности; 31-45 баллов: умеренный; 45 баллов и выше: высокий уровень тревожности.

Практикующие психологи, работающие с методикой В. Спилбергера и Ю. Ханина, обращают внимание еще на один нюанс – это низкий уровень оценок. Нельзя ведь исключать тот факт, что студенту просто хотелось представить себя выгодно. Кроме того, полные эмоциональные невосприятие и пассивность могут свидетельствовать о затяжной депрессии, апатии, эмоциональном выгорании или переутомлении. Таким образом, тест Спилбергер-Ханин может отлично диагностировать уровень тревожности человека. Не считая того, его можно употреблять и без помощи других для определения собственного эмоционального состояния в определенный промежуток времени.

Установлено, что среди обследованных студентов большинство составляют лица со средним уровнем личностной тревожности – 62 человек (51,7%), высокий уровень личностной тревожности отмечался у 30 человек – (25%), низкий уровень личностной тревожности обнаружен у 28 студентов (23, 3%). Результаты исследования уровня тревожности представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты исследования уровня тревожности

Показатель	Уровень личностной тревожности			Уровень ситуативной тревожности		
	высокий	средний	низкий	высокий	средний	низкий
Количество человек	30	62	28	20	70	30
Показатель в %	25%	51,7%	23,3%	16,5%	58,3	25%

Анализируя показатели уровня ситуативной тревожности, можно заметить, что высокий уровень ситуативной тревоги был присущ 20 студентам, что составило 16,7%, средний уровень ситуативной тревоги – 70 человек (58,3%), низкий – у 30 человек, что составляет 25%. Повышенный

уровень тревожности может быть связан как с внешними, так и с внутренними факторами, и свидетельствует о недостаточном эмоциональном приспособлении к тем или иным социальным ситуациям или о несерьезности и безынициативности личности. Итак, проведенный тест Спилберга-Ханина позволил сформировать множество студентов, результатам которых можно доверять на следующем шаге тестирования.

Для проверки эффективности предложенных моделей было проведено исследование временных характеристик обработки информации человеком-оператором – средневременных показателей и безошибочности распознавания человеком лесных пожаров на настоящих изображениях и изображениях, проработанных с помощью созданной информационной технологии. Для этого в среде C# была создана программа тестирования, основные окна которой приведены на рисунках 9 – 12.

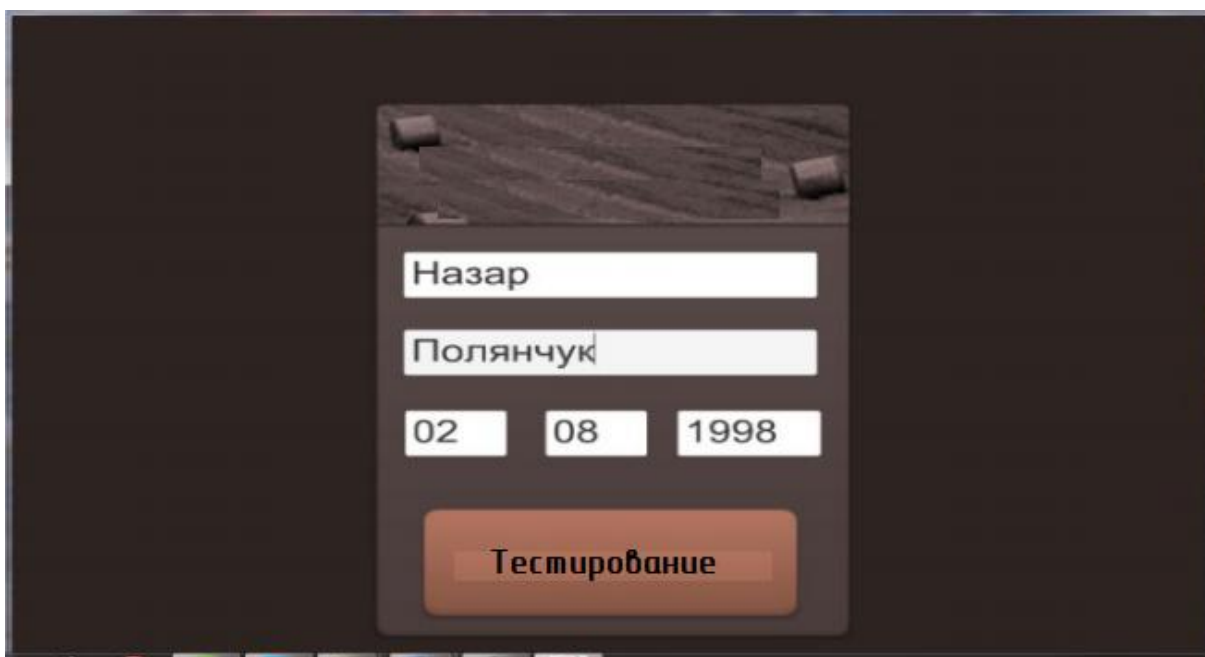


Рисунок 9 – Окно начала тестирования

В программе тестирования предусмотрена возможность загрузки необработанных изображений в формате JPEG, а также кластеризованных изображений.

В начале работы задаются условия проведения эксперимента: время до показа первого изображения, время экспозиции изображения, время до показа следующего изображения. Тест проводился в следующей последовательности:

1. Формировалось множество оригиналов фотографий и их кластеризованных с помощью разработанной нами информационной системы копий (изображений), содержащей более 100 изображений разных участков леса, на основе которых информационная система сгенерировала сигнал предупреждения об опасности.
2. На каждом шаге тестирования студент получал либо только оригинал изображения (рисунок10), либо оригинал одновременно с кластеризованным изображением (рисунок11). Этот выбор производился автоматически с помощью рандомизированного алгоритма.

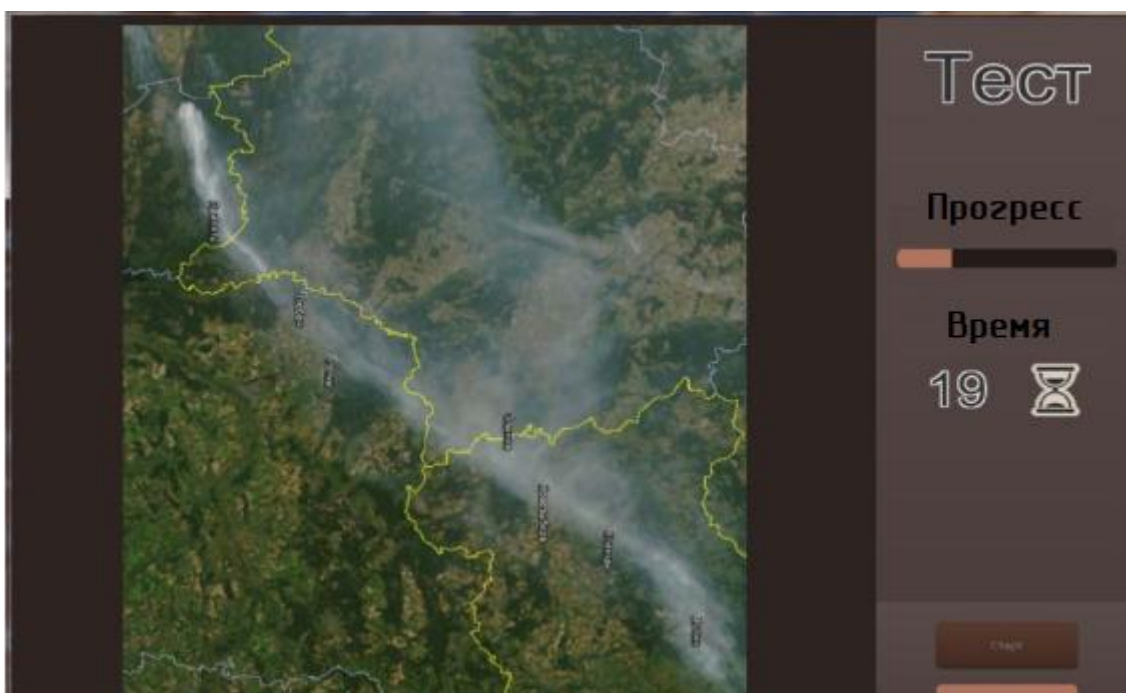


Рисунок 10 – Окно, в котором показано необработанное изображение

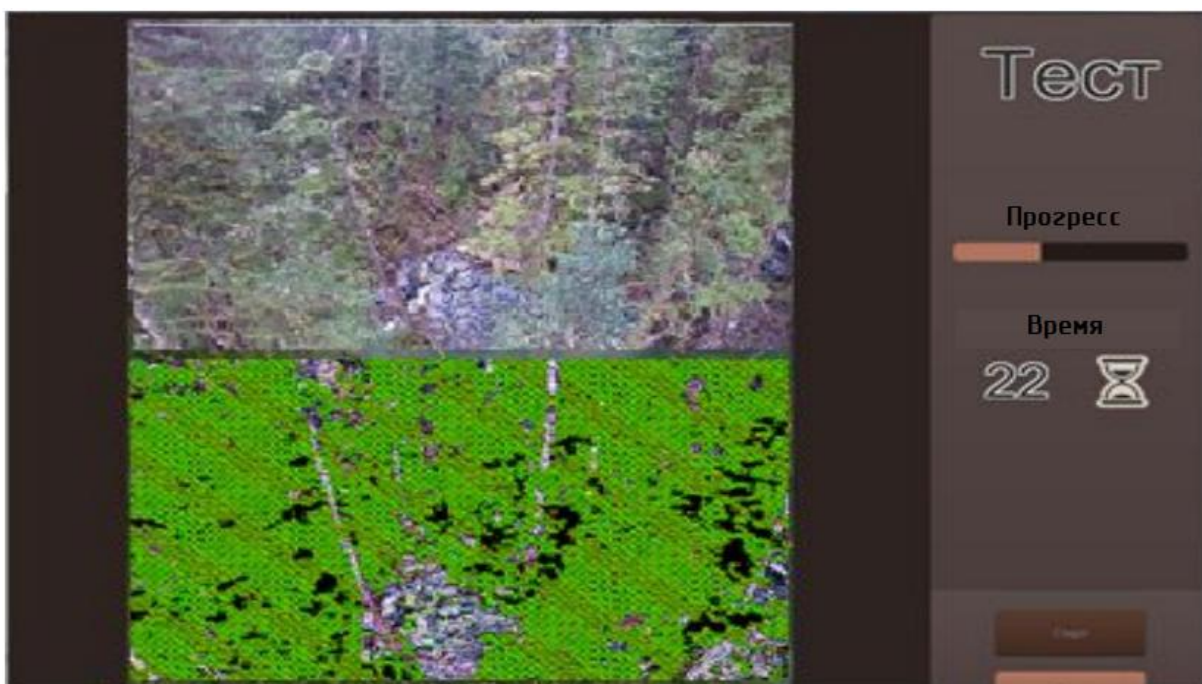


Рисунок 11 – Окно, в котором одновременно показано и не проработанное, и кластеризованное изображение

3. Оператор с помощью мыши должен указать на очаг пожара или отрицать его наличие, нажав на соответствующую кнопку.
4. Система определяла количество ошибок оператора, а также время, затраченное на поиск очага пожара в каждом частном случае.
5. После окончания тестирования определялось среднее время распознавания, средний процент правильных ответов и количество случаев «изображение не распознано».

Интерфейс программы подразумевает проведение тестирования оператора с возможностью наблюдения за временем и процессом тестирования. Программа также предусматривает определение эмоционального состояния оператора в зависимости от биоритмов, что повышает объективность анализа результатов тестирования [96]. Для определения уровня биоритмов перед началом тестирования оператор вводит свой день, месяц и год рождения. Эти данные используются для автоматического определения физического, интеллектуального, эмоционального и среднего уровня биоритмов тестируемых (рисунок 12).



Рисунок 12 – Окно завершения тестирования и вывода результатов

При анализе результатов тестирования учитывались также физический, интеллектуальный и эмоциональный уровни биоритмов, которые влияют на уровень умственной и физической работоспособности человека.

Средние значения уровней биоритмов, участвовавших в эксперименте приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Средние значения уровней биоритмов тестируемых лиц

Количество тестируемых лиц	Среднее значение уровня биоритмов		
	высокий	средний	низкий
120	48 (40%)	55 (45,8%)	17 (14,2%)

Результаты тестирования выводятся на экран и хранятся в текстовом файле, легко можно просмотреть и распечатать.

Сравнение времени и точности распознавания человеком очагов лесных пожаров на оригинальных изображениях и изображениях,

разработанных с помощью разработанной информационной технологии, приведено в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты эксперимента по распознаванию изображений

Критерии	Человек		Информационная (Ноутбук ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700))		
	При показе не обработанных изображений	При показе проработанных изображений	n=4, l=1 (k-means/c-means)	n=6, l=2 (k-means/c-means)	n=8, l=2 (k-means/c-means)
Среднее время распознавания, сек	10	2	0,03	0,03	0,03
Средний % верных ответов (срабатываний)	70	90	75/78	78/80,5	80/82
Количество случаев «изображение не распознано»	30	10	25/24	22/20	20/20

Как видно из таблицы 9, время фиксирования оператором пожара на проработанных снимках сократилось в 5 раз по сравнению с оригинальными. Время проработки и автоматического принятия решения системой, работающей под системой Windows на ноутбуке ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700), как правило, не превышает продолжительности одного кадра. То есть, система может работать в режиме данного времени.

Процесс принятия решения оператором повысился с 70% до 90% и существенно сократилось количество ошибочных ответов. Как видно из результатов экспериментов, количество правильных срабатываний автоматизированной системы достаточно высок (80%), однако этот показатель ниже показателей операторов, а следовательно, система может использоваться как совещательная. Кроме того, из таблицы видно, что

кластеризация методом c-means показывает лучший результат по k-means в режиме автоматической фиксации очагов лесных пожаров.

Как показали результаты тестирования, данная информационная технология обладает хорошей скоростью и качеством распознавания очагов лесных пожаров и может повысить эффективность мониторинга и противопожарной защиты.

Далее определим экономический эффект от внедрения автоматизированного поиска очагов лесных пожаров.

Для начала нами рассчитан средний многолетний показатель ущерба, нанесенного лесными пожарами, на примере Центрального округа РФ, за 2011-2021 годы (рис. 13).

Средний многолетний показатель ущерба, нанесенного лесными пожарами в Центральном округе РФ составил 122092,2 тыс.руб.

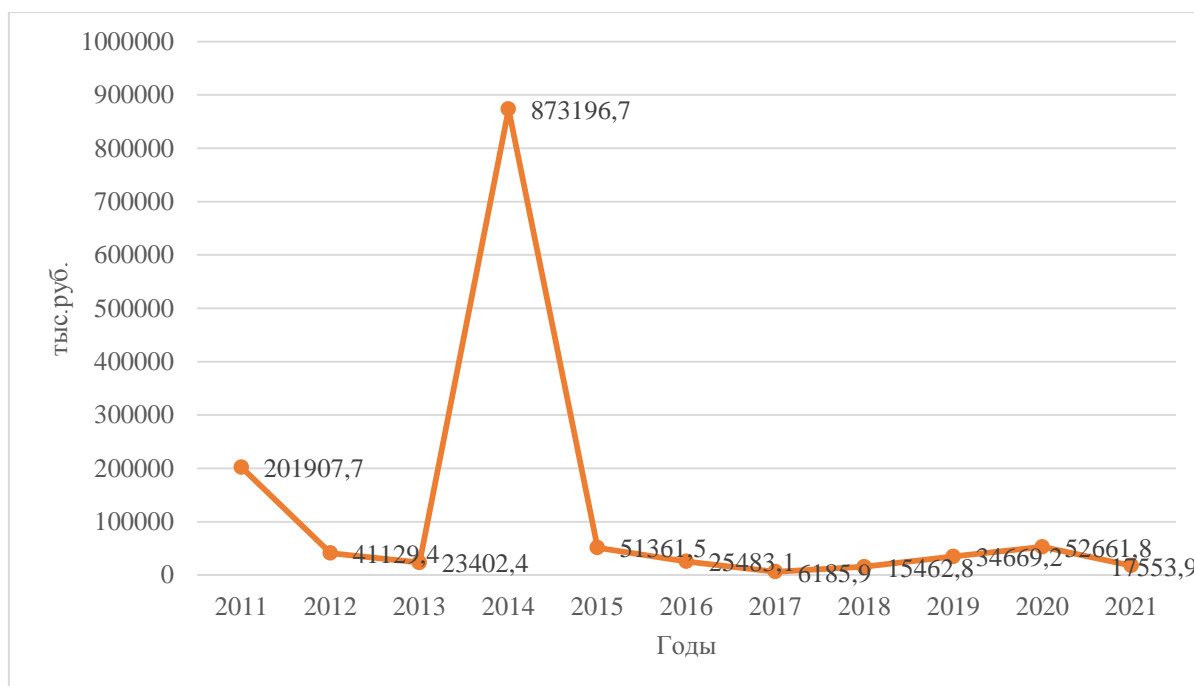


Рисунок 13 – Статистические данные об ущербе, причиненном лесными пожарами в ЦФО РФ за 2011-2021 годы (составлено по данным [79])

Единовременно на приобретение БПЛА и устройства управления в ЦФО РФ потребуется 477060 тыс.руб. (табл. 10).

Таблица 10 – Затраты на приобретение БПЛА и устройства управления, а также ежегодные затраты

№ п/п	Статья затрат	Количество, ед.	Цена, тыс.руб.	Стоимость, тыс.руб.
1	БПЛА	85	5460	464100
2	Устройства управления	1	12960	12960
3	З/плата операторов	20	88	1760
4	Итого			478820

Определим годовой экономический эффект (Эгп) от практического использования предложенной технологии, а также средств обнаружения и тушения лесных пожаров

$$\mathcal{E}_{гп} = \mathcal{E}_г - K * E_n \quad (1)$$

Где $\mathcal{E}_г$ – годовая экономия (прибыль), обусловленная практическим использованием лучших отечественных методов и технологий, а также средств обнаружения и тушения лесных пожаров;

K – единовременные затраты, связанные с приобретением, модернизацией и внедрением лучших отечественных методов и технологий, а также средств обнаружения и тушения лесных пожаров;

E_n – нормативный коэффициент эффективности.

Таким образом, годовой экономический эффект равен:

$$\mathcal{E}_{гп} = 122092,2 - 478820 * 0,19 = 31116,4 \text{ тыс. руб.}$$

Далее рассчитаем эффективность:

В результате эффективность (\mathcal{E}) составит:

$$\mathcal{E} = \frac{31116,4}{122092,2} = 0,25$$

В результате расчета эффективности, при соблюдении ряда условий, и комплексного практического использования предложенной технологии, а также средств обнаружения и тушения лесных пожаров может быть

обеспечена эффективная охрана лесов от пожаров, а именно, ущерб, наносимый лесными пожарами, может быть снижен на 25%.

Выводы к главе 3

Для выявления и тушения лесных пожаров в мировой практике привлекаются огромные ресурсы, используются самые современные технологии – от спутникового мониторинга до самых современных систем видеонаблюдения с элементами компьютерного зрения, разработанными передовыми учеными мира. Для устранения противоречия между большим количеством дорогостоящих высокотехнологичных противопожарных средств, привлекаемых для борьбы с лесными пожарами, и их недостаточной эффективностью, мы предлагаем вовлечь в противопожарный мониторинг леса БПЛА индивидуальных пользователей, активное развитие которых мы наблюдаем сегодня. Идея привлечения и возможного расширения информационно-технологических возможностей БПЛА базируется на проведенном нами обзоре их современных моделей и анализе возможных сфер применения. Разработан метод автоматизированного поиска очагов лесных пожаров и оповещения МЧС с использованием параллельных вычислений, рассчитан на использование устройств управления с четырехъядерными процессорами в режиме просмотра, что обеспечивает назначение, порядок и оптимизацию использования ресурсов БПЛА и устройства управления.

Как показали результаты тестирования, предложенная технология обладает достаточным качеством и скоростью распознавания очагов лесных пожаров и позволит повысить эффективность мониторинга и противопожарной защиты. При условии должного финансирования мер по охране лесов от пожаров например в размере не менее 122092,2 тыс.руб. и использования предложенной технологии, а также средств обнаружения и тушения лесных пожаров может быть обеспечена эффективная охрана лесов от пожаров. В результате, наносимый лесными пожарами ущерб, может быть снижен на 25%.

Заключение

В работе решена актуальная на сегодняшний день научно-техническая задача – разработка информационной технологии раннего выявления очагов зажигания пожаров на основе расширения зон информационно-технологических возможностей неспециализированных беспилотных летательных аппаратов. При этом получены следующие основные результаты:

1. В результате обзора информационно-технологического обеспечения и аппарата моделей, используемых при функционировании беспилотных летательных аппаратов, было установлено, что существует широкий спектр алгоритмов, которые интегрированы в информационные системы и используются для решения многих задач навигации, однако ни одна из ИС не решает задач мониторинг объектов, в том числе и очагов лесных пожаров, в фоновом режиме. Также установлено, что нет общепринятой методологии применения математических методов и их автоматической адаптации к техническим характеристикам устройств управления.
2. Разработана информационная технология оповещения спасательных служб привлеченными неспециализированными беспилотными летательными аппаратами при обнаружения очага лесного пожара, основанного на расширении их информационных и технологических возможностей, что позволит дополнительно информировать МЧС, а, следовательно, улучшить эффективность пожарной безопасности. На основе проведенного анализа технических характеристик беспилотных летательных аппаратов и устройств управления выделен минимальный набор требований, необходимых для их интеграции в разработанную информационную технологию.
3. Разработан метод обработки видеопотоков для автоматизированного поиска очагов лесных пожаров в фоновом режиме с использованием

параллельных вычислений, рассчитан на использование устройств управления с четырехъядерными процессорами, что обеспечивает распределение и оптимизацию использования ресурсов беспилотного летательного аппарата и устройства управления.

Проведены эксперименты, позволяющие установить оптимальные настройки параметров и сравнить эффективность функционирования разработанной информационной системы по сравнению с человеком-оператором, что подтвердило эффективность предлагаемой информационной технологии. В частности, время распознавания оператором пожара на проработанных снимках сократилось в 5 раз по сравнению с оригинальными. Качество и полнота принятия решения оператором повысилось с 70% до 90%, что подтвердило эффективность предлагаемой информационной технологии.

Список используемых источников

1. Абдурагимов И. М., Говоров В. Г., Макаров В. Е. (1980). Физические и химические базы развития и тушения пожаров. ВПТШ СССР. Москва, С. 255.
2. Антонов А.В., Боровиков В.А., Орел В.П. и др.// Огнетушащие вещества. Пособие К.: Пожинформтехника, 2004. 176 с.
3. Алексеев О. М., Бондарев Д. И. Перспективы развития беспилотного и муниципального авиационного транспорта. Системы обработки информации. 2016. № 8. С. 10-16.
4. Агаларова С. М., Сабинин О. Ю. // Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса. Пожаровзрывобезопасность, 2007 Том N 16, N 6.
5. Агафонов В.В., Копилов Н.П. Установки аэрозольного пожаротушения: элементы характеристики, проектирования, монтаж та эксплуатация. М.: ВНИПО, 1999. 232 с.
6. Агафонов В.В., Копылов Н.П. Сычев А.И., Углов В.Ф., Жыганов Д.Б. Mechanismoffiresuppressionbycondensedaerosols. HalonOptionsTechnicalWorking Conference, 15th Proceedings. HOTWC, 1-10 (2005).
7. Арцыбашев Е. С. Лесные пожары и борьба с ними. М. : Лес. промышленность, 1974. 152 с.
8. Ардентов А. А., Бесчастный И. Ю., Маштаков А. П. Алгоритмы вычисления положения и ориентации БПЛА. Программные системы : теория и приложения. 2012. Т. 3, № 3. С. 23–39.
9. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. Москва : Мир, 1989. 336 с.
10. Беспилотник БПЛА для науки. Zala Aero Group URL: <http://zala.aero/category/applications/science/> (дата обращения: 11.12.2022).

11. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки. Москва : Мир, 1989. 448 с.
12. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т., Кит Ю.В., Левуш С.С. Влияние газовой фазы на эффективность огнетушащих аэрозолей // Вестник НУ политехника. 2004. №497. С. 102-104.
13. Баланюк В. М. Флегматизациягазоаэрозольной смесью горючих систем / Баланюк, Д. А. Журбинский. //ВІТР. 2013. Vol. 32, Issue 4. С. 53-58.
14. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. М.: Стройиздат, 1982. 72 с
15. Баланюк В. М. Определение огнетушащей эффективности аэрозоль-образующих смесей с добавкой аммоний гидроксид фосфата / В. М. Баланюк, А. Т. Лозинский, О. И. Гарасымюк // Пожарная безопасность: сб. науч. пр. 2015. №27. С. 6-11.
16. Баланюк В.М. Обоснование выбора компонентов тернарных огнетушащих смесей для противопожарной защиты объектов с наличием высокотемпературных источников зажигания / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, А. И. Гарасимьюк //Актуальные проблемы моделирования рисков и угроз возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах критической инфраструктуры: междунар.наук.-практ.конф.(26-28 мая 2016 г.). Киев, 2016. С. 536-541.
17. Баланюк В.М. Совершенствование аэрозольного огнетушащего вещества на основе солей калия и обоснование условий его применения. / Диссертация на соискание ученой степени к. т. н. 2006.
18. Белошицкий М.В. Влияние соотношений компонентов на огнетушащую способность огнетушащих АВС-порошков. Научный вестник НИИПБ, 2007, №1 (15) С. 107-114.
19. Богданова В. В., Кобец О. И. Локализация и тушение торфяных пожаров с применением огнетушащих составов. Пожарная безопасность - 2007: материалымежд. наук.-практ. конф., 2007. С. 334 - 335.

20. Богданова В. В., Кобец О. И. Регулирование эффективности огнезащитных составов для лесных горючих материалов. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. тез. докл. 4-ой Междунар. науч.-практ. конф. Минск. 2007. Т. 1. С. 136 - 139.

21. Богданова В. В., Лахвич В. В. Применение жидкостных химических составов в переносных установках пожаротушения. Пожарная безопасность - 2007: материалы междунар. науч.-практ. конф., 2007. С. 330 - 331.

22. Богданова В. В., Лахвич В. В., Врублевский А. В. Исследование эффективности применения жидкостных химических составов при тушении тлеющих материалов. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. тез. докл. 4-ой Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2007. Т. 1. С. 142 - 144.

23. Билкун Д. Г., Казаков Н. В., Пешков В. В. Тушение древесины водой с низкомолекулярными добавками. Теоретические и практические вопросы пожаротушения : сб. науч. тр. М. : ВНИИПО, 1982. С. 99 - 105.

24. Бондарев Д. И., Кучеров Д. П., Шмелева Т. Ф. Модели групповых полетов беспилотных летающих аппаратов с использованием теории графов. Наука и техника. 2015. №3. С. 68-74.

25. Валендик Э. Н., Матвеев П. М., Софронов М. А. Крупные пожары. М. : Наука, 1979. 198 с.

26. Веремеенко К., Ким Н., Козорез Д. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. Москва : Физматлит, 2009. 562с.

27. Волошинов А. Б. Перспективы применения перестраиваемых акустооптических фильтров в составе аппаратуры беспилотных летательных аппаратов. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами : сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции, г.. Коломна, 2016. С. 54–57.

28. Виды пожаров. Энциклопедия. URL: <https://xn--b1ae4ad.xn--p1ai/enc/vidy-pozharov> (дата обращения: 11.12.2022).

29. Галикеев А.Р. Определение пожаровзрывоопасных показателей углеродсодержащих отложений при составлении рецептуры огнезащитных красок и разработке огнетушащих порошков // *electronicscientificjournal «oilandgasbusiness»*. 2001.

30. Гарасимюк А.И. Применение газо-аэрозольно-порошковых огнетушащих смесей для защиты от зажигательных смесей. / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, О.И. Гарасимюк // *ScienceRise*. Том 5, №2 (22) (2016). С. 10-14.

31. Главач В., Шлезингер М. И. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию образов. Научная мысль, 2004. 554с.

32. Гоголь Л.А., Кононенко К.М., Единорог Д.С., Колесников Б.Я. и др. /Ингибирование горения пропана аэрозолями солей металлов// Ингибирование цепных газовых реакций: Материалы совещания по механизму ингибирования цепных газовых реакций. Алма-Ата, 1971. С. 205 – 213.

33. Гонсалес Р., Вудс. Цифровая обработка изображений. Москва : Техносфера, 2006. 1072 с.

34. ГОСТ 18307-78 Сажа белая. Технические условия. М.: ИПК издательство стандартов, 1978. 19 с.

35. ГОСТ 14922-77 Аэросил. Технические условия. М.: ИПК издательство стандартов, 1977. 35 с.

36. ГОСТ 7193-74 Анемометр ручной индукционный. Технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200024110>(дата обращения: 11.12.2022).

37. Гребенников А. Г., Мялица А. К., Парфенюк В. В. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов : справ. пособие: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. 377 с.

38. Гусак О. М. Логика построения математической модели психологических процессов восприятия и проработки зрительных образов. Научный Вестник ЧНУ. 2012. № 635. С. 81-85.

39. Гунар С. В., Денисов А. Н. О кодексе управления пожарами. Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. № 5. С. 10 - 15.

40. Даник Ю.Г., Пулеко И.В. Выявление беспилотных летательных аппаратов на основе анализа акустических и радиолокационных сигналов. Вестник ЖДГУ. 2014. № 4. С. 71-81.

41. Ефремов П. В., Попов К. А., Капитонова Т. А., Стручкова Г. П. Обработка и анализ данных дрона для мониторинга линейных объектов, эксплуатирующихся на севере. Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 10-2. С. 238 – 239.

42. Ефимов А.Г., Дрюков А.В., Кострикин В.Д. Классификация пожаров на объектах авиапредприятия по видам горючего вещества // Пожарная и промышленная безопасность. Проблемы безопасности жизнедеятельности. Материалы III международной научно-практической конференции. 2020. С. 33-36.

43. Журбинский Д.А. Разработка методики и установки для изучения огнетушащей эффективности аэрозоль генерирующих составов // Пожарная безопасность. 2001. С. 302-305.

44. Журбинский Д. А. Влияние вида аэрозольобразующих соединений на основе солей калия и добавок инертных газов на флегматизированную эффективность аэрозоля / В.М. Баланюк, Д.А. Журбинский, А.С. Лин // Пожарная сохранность: сб. науч. стир. Л.: ДЛУБЖД, 2013. № 22. С. 7-11.

45. Заградительные полосы как способ локализации пожаров в природных экосистемах / Р. В. Лихневский и др. Гражданская защита и пожарная безопасность: науч. изд. 2016. № 2. С. 55 – 59.

46. Зинченко О. Н. Беспилотный летательный аппарат : применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. Москва : Ракурс, 2011. 200 с.

47. Исследование огнезащитного действия гелеобразующих составов по отношению к хвойной лесной подстилке / Д. И. Савельев, С. Н. Бондаренко, А. А. Киреев, К. В. Жерноклёв. Проблемы пожарной безопасности. 2017. Вып. 41. С. 147 - 153.

48. Исследования по определению огнетушащей эффективности смесей ингибиторов горения и инертных разбавителей / Жартовский В. М., Откидач М. Я., Цапко Ю. В., Тропинов О. Г. // Научный вестник.-2003. №2. С. 5-10.

49. Карта и спутниковые фотографии пожаров в Чернобыльской зоне. URL: https://www.chernobyl-tour.com/chernobyl_zone_map_satt.html (дата обращения: 11.12.2022).

50. Казьмин В. Н., Носков В. П. Объемное зрение в системе навигационного обеспечения беспилотного летательного аппарата. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Москва, 2012. №11. С. 40.

51. Коптеры. Комплектующие, сборка, настройка. URL: <http://forum.rcdesign.ru/f123/thread272136.html> (дата обращения: 11.12.2022).

52. Костриков С. В. Геоинформационное моделирование природно-антропогенной окружающей среды: научная монография. Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2014. 484с.

53. Клименти, Н. Ю. Пожарная тактика [Электронный ресурс] : курс лекций : в 2 ч. Ч. 1 / Н. Ю. Клименти ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград :ВолгГАСУ, 2013. 65 с.

54. Колобородов В.И., Харитоненко К.В. Применение методов и алгоритмов цифровой обработки изображений в оптико-электронных приборах. Вестник НТУУ «КПИ», 2010. №40. С. 23 – 31.

55. Курбатский Н. П. О классификации пожаров. Лесное хоз-во. 1970. № 3. С. 68 - 73.

56. Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М. : Гослесбумиздат, 1962. 154 с.

57. Кустов М.В., Калугин В.Д. Установление связи между временем пожаротушения и физико-химическими свойствами огнетушащих веществ на основе воды. Проблемы пожарной сохранности. 2007. Вып. Двадцать первый С. 126 - 131.

58. Кустов М.В., Калугин В.Д. Влияние физико-химических свойств истинных растворов на их огнетушащую эффективность. Проблемы пожарной сохранности. 2007. Вып. 22. С. 126 – 134.

59. Кустов М. В., Калугин В. Д. Повышение огнетушащей эффективности истинных растворов с помощью добавок электролитов. Проблемы пожарной безопасности. 2008. Вып. 24. С. 38 – 43.

60. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. Вопросы лесной пирологии. Красноярск :ИЛид СО АН СССР, 1970. С. 5 - 58.

61. Курбатский Н. П. Техника и тактика борьбы с лесными пожарами. М. :Гослесбумиздат, 1962. 164 с.

62. Краснянский М. Е. Теория порошкового пламегашения // Пожарная безопасность: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции ВНИИПО МВД РФ, 1995. С. 177-178.

63. Лавровский М. С., Тур Н. Е. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга чрезвычайных ситуаций в лесной местности. Сборник научно-технических работ. Научный вестник НЛТУ. 2015. Вып. 25.8. С. 353-359.

64. Левицкий В. А., Тришевская Т. Г. Исследования в области создания технологии производства огнетушащих порошков. Химическая промышленность. 1998. № 3. С. 48-54.

65. Левицкий В. А., Тришевская Т. Г., Шихов Б. А. Разработки харьковского НПО „Карбонат” в области создания новых средств пожаротушения. Проблемы пожарной безопасности. 1993. Вып. 2. С. 288 – 289.

66. Лепский А. Е., Броневиц А. Г. Математические методы распознавания образов Таганрог: Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», 2009. 155 с.

67. Лиго Т., Фомичев А. В. Планирование пространственного маршрута полета беспилотного летательного аппарата с использованием метода частичного целочисленного линейного программирования. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. Москва, 2016. № 2. С. 53.

68. Малышева Н. В. Картографическое обеспечение государственного учета лесного фонда с использованием геоинформационных систем. Лесное хозяйство. 2007. № 3. С. 40-42.

69. Малышева Н. В., Владимирова Н. А., Золина Т. А., Райченко Н. Э. Создание интерактивных карт и электронного атласа для информационной поддержки управления лесным хозяйством России. Проблемы непрерывного географического образования и картографии : сб. научных статей. Харьков, 2013. Выпуск 17. С. 31-34.

70. Менеджмент безопасности жизнедеятельности: перспективы развития и проблемы преподавания: Сборник материалов III открытой Республиканской научно-практической конференции. Минск : УГЗ, 2022. 339 с.

71. Мелещенко Р. Г. Определение скорости создания противопожарного барьера с применением самолетов АН-32П для локализации природных пожаров (на примере кустарниково-травяных пожаров): дис. канд. ... техн. наук : 21.06.02. Х., 2015. 154 с.

72. Методы и средства пожаротушения. URL: <https://the-distance.ru/metody-i-sredstva-pozharotusheniya/> (дата обращения: 11.12.2022).

73. Методика определения минимальных огнетушащих концентраций средств газового пожаротушения методом «цилиндра». (Утверждена первым заместителем начальника НИИПБ МВД). М, 1997.

74. Некоторые аспекты повышения эффективности аэрозольно-порошкового пожаротушения / О.И. Гарасимюк, В.М. Баланюк, П.В. Пастухов // Вестник Кокшетауского технического института: №2(22), 2016. С. 39-49.

75. Нейронные сети в задачах обработки изображений URL: http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t2/24..htm. (дата обращения: 11.12.2022).

76. Никифоров А. А., Мунимаев В. А. Анализ зарубежных беспилотных летательных аппаратов, применяемых в лесном секторе. Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Петрозаводск, 2010. С. 97–99.

77. О повышении эффективности и коэффициента использования огнетушащих составов при тушении пожаров ТГМ / И. М. Абдурагимов, С. К. Вильчковский, К. М. Ринков, Г. А. Яворский. М, 1978. Вып. 3. С. 10 - 12.

78. Обеспечение безопасности жизнедеятельности : проблемы и перспективы : сб. материалов IX международной научно-практической конференции молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) : В 2-х ч. Ч.1. Минск : КИИ, 2015. 143 с.

79. Официальный сайт Федерального агентства лесного хозяйства. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/> (дата обращения: 11.12.2022).

80. Основы пожарной теплофизики / Башкирцев М.П., Бубырь М.Ф., Минаев Н.А., Ончуков Д.Н.. М.: Стройиздат, 1984. 200с.

81. Патент 871804 А62С 1/00 Способ определения огнетушащей способности порошковых составов. //Лубяный, Умнягин, Шевцов, Товбин, Емельянов, Слободяник, Забуга, Галаджий, Даценко, Баратов, Вайсман. Заявка 2843374, 28.11.1979, Опубликовано: 15.10.1981.

82. Пожарная служба Манчестера использует дроны с инфракрасной камерой. URL: <http://29y.ru/main/22073-pozharnaya-sluzhbamanchestera-ispolzuet-dronov-s-infrakrasnoy-kameroj.html/> (дата обращения: 11.12.2022).

83. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.09.2020 № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/(дата обращения: 11.12.2022).

84. Поражающие факторы источников чрезвычайных ситуаций, характерных для мест расположения и производственной деятельности организации, а также оружия массового поражения и других видов оружия. URL: [https://vniigen.ru > uploads > 2020/04](https://vniigen.ru/uploads/2020/04) (дата обращения: 11.12.2022).

85. Пожары в жилых и общественных зданиях. URL: <https://pptcloud.ru/obzh/pozhary-v-zhilyh-i-obschestvennyh-zdaniyah> (дата обращения: 11.12.2022).

86. Применение добавок для повышения огнетушащей способности водоаэрозольных установок / И. А. Корольченко, В. Г. Кузьмин, А. Н. Егоров, С. В. Зенков. Пожаровзрывобезопасность. 1998. № 2. С. 64 - 70.

87. Проценко М.М. Анализ методов цифровой обработки видеоизображений аппаратурой беспилотного летательного аппарата. Вестник ЖДТУ, 2014. № 1. С. 89-95.

88. Программный комплекс Inpho компании Trimble. URL: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/inpho> (дата обращения: 11.12.2022).

89. Путренко В. В. Интеллектуальный анализ угрозы возникновения природных пожаров на базе геоинформационных технологий. Проблемы непрерывного географического образования и картографии: сб. научных работ. Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина. Харьков, 2014. №19. С. 48.

90. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. (Кн.2). Москва : Мир, 1982. 342с.

91. Поляков Г. А., Шматков С. И., Толстолужская Е. Г., Толстолужский Д. А. Синтез и анализ параллельных процессов в адаптивных времяпараметризованных вычислительных системах : монография. ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. 672 с.

92. Пути повышения эффективности тушения полимерных материалов / А. А. Киреев, А. Б. Каракулин, К. В. Жерноклёв, М. А. Чиркина. Проблемы пожарной безопасности. 2013. Вып. 34. С. 71 - 77.

93. Пат. 2159138 Российская Федерация, МПК 7 А 62 D 1/00. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения / Антонов А. В., Белошицкий Н. В., Смирнов А. С., Смирнов А. Г., Бурыгин О. П., Агаларова С. М., Шабалова О. Н.; заявитель и патентообладатель ЗАО «ЭКОХИММАШ» . № 98123738/12; заявл. 23.12.1998; опубл. 20.11.2000.

94. Разработка системы контроля и управления роботизированными мобильными средствами для комплексного мониторинга состояния среды и наземных объектов. URL: https://report.kpi.ua/files/2016_2835.pdf (дата обращения: 11.12.2022).

95. Радецкий В.Г., Руснак И.С., Даник Ю.Г. Беспилотная авиация в современной вооруженной борьбе: монография. НАОУ, 2008. 224 с.

96. Расчет биоритмов URL: <http://www.caliostro.com/> (дата обращения: 11.12.2022).

97. Рэндал В. Б., Тимоти В. М. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва: Техносфера, 2015. 312 с.

98. СайфеддинДахер. Мехатронная система управления полетом квадрокоптера и планирование траектории методами оптической одометрии : диссертация кандидата технических наук : 05. 02. 05 / ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова» Новочеркасск, 2015. 186 с.

99. Сальник Ю. П. Направление обеспечения мониторинга местности перспективной аппаратурой БПЛА, 2007. № 3 (61). С. 106–108.

100. Савин Л. В. Новые способы ведения войны: как Америка строит империю. СПб. : Питер, 2016. 208 с.

101. Силин, Н.А. Пиротехнические аэрозолеобразующие составы и средства объемного пожаротушения на их основе. Текст. / Н.А. Силин, Л.Г. Веретинский, А.И. Сидоров [и др.] // Взрывчатые материалы и пиротехника / М.: 1993. Вып. 1-2. С. 17-21.

102. Солонина А. И., Улахович Д. А., Яковлев Л. А. Основы цифровой обработки сигналов : курс лекций. СПб : БХВ – Петербург, 2005. 768 с.

103. Софронов М. А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. М. : Наука, 1967. 148 с.
104. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 11.12.2022).
105. Слюсар В. И. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО. Электроника: наука, технология, бизнес. Москва, 2010. №3. С. 80–86.
106. Слюсар В. И. Радиолинии связи с БПЛА : примеры реализации Электроника: наука, технология, бизнес. Москва, 2010. №5. С. 56–60.
107. Служба технической поддержки компании Ракурс. PHOTOMOD 6.3. Обработка данных беспилотных летающих аппаратов. Руководство пользователя. Служба технической поддержки компании Ракурс. URL: <http://www.racurs.ru/?page=804> (дата обращения: 11.12.2022).
108. Стругайло В. В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений. Научное издание МГТУ имени Н. Э. Баумана. Наука и образование. Электронный научно-технический журнал. Москва, 2012. №77. С. 270–281.
109. Смирнов С.Д. Психология образа. неувязка активности психического отражения. Познание как высшая форма отражения. Активность познавательной деятельности: монография. Москва: МГУ, 1985. 233 с.
110. Стивенс С.С. Психология ощущений и восприятия. Хрестоматия по психологии. Москва: Иностранная литература, 1999. 283 с.
111. Спутниковый мониторинг лесных пожаров. URL: http://urps-notices.blogspot.nl/2010/08/blog-post_06.html (дата обращения: 11.12.2022).
112. Спутниковые снимки. URL: <https://exactfarming.com/ru/solutions/developers> (дата обращения: 11.12.2022).
113. Сумцов Ю. А., Киреев А. А., Жерноклёв К. В. Оценка массы гелеобразующего состава для тушения верхового пожара. Проблемы пожарной безопасности. 2010. Вып. 27. С. 192 - 197.

114. Сумцов Ю. А., Киреев А. А., Тарасова Г. В. Исследование времени работоспособности гелеобразующих составов при борьбе с лесными пожарами. Проблемы пожарной безопасности. 2006. Вып. 20. С. 197 - 202.
115. Тагиев Р.М., Крушевский С.В. «Техногенные проблемы ликвидации горящего скважинного фонтана в Арктике» // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. № 6. С. 23-25.
116. Тарахно Е.В., Михайлюк А.П., Рябова И.Б. Аэрозольное ингибирование пламенного горения//Проблемы пожарной безопасности. 2000. Выпуск 7. С. 201-204.
117. Тарахно Е.В., Рябова И.Б., Тригуб В.В. К вопросу о механизме огнетушащего действия АОС // Проблемы пожарной безопасности. 2001. Выпуск 8. С. 199-201.
118. Товарянский В. И., Паснак И. В. Экспериментальные исследования пожарной опасности хвои в лабораторных и полевых условиях. Пожарная сохранность. 2018. Вып. 33. С. 107-111.
119. Тест Спилбергера-Ханина URL: <http://psyttests.org/psystate/spielberger-run.html> (дата обращения: 11.12.2022).
120. Терехнев В. В. Т35 Пожарная тактика : Основы тушения пожаров : учеб. пособие / В. В. Терехнев, А. В. Подгрушный. М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. 322 с.
121. Течение отдельных внутренних процессов в огнетушащих аэрозолях при гашении диффузного пламени / Копистинский Ю. А., Баланюк В. М., Лавренюк А. И., Журбинский Д. А. // Научный вестник НИИПБ. 2008, № 1 (17) С.155-159.
122. Тарахно О.В., Петухова О.А., Беляев М.В. Повышение огнетушащей эффективности воды химической модификацией // Пожарная безопасность. 2001. С.165- 166.
123. Тарахно О. В. Теоретические основы пожаровзрывоопасности. М.: ГУ, 2016. 395 с.

124. Трубников Г.В., Воронов В.В. Беспилотные летательные аппараты и технологическая модернизация страны. Экспорт вооружений. 2009. № 4. С. 11-20.
125. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий. Москва: Физматлит, 2003. 280 с.
126. Шалыгин А.С., Бородавкин В.А., Зазимко В.А. Анализ и синтез законов управления систем стабилизации беспилотных летательных аппаратов методами моделирования: уч. пособие. Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет Военмех, 2008. 152 с.
127. Шалыгин А. С. Траекторные задачи динамики беспилотных летательных аппаратов / А. С. Шалыгин, И. Л. Петрова. Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет Военмех, 2009. 130с.
128. Шпаковский Г.И. Реализация параллельных вычислений: MPI, OpenMP, кластеры, грид, многоядерные процессоры, графические процессоры, квантовые компьютеры. Минск : БГУ, 2011. 176 с.
129. Шкоруп О. И. Определение рациональных параметров комбинированной подачи огнетушащих веществ для повышения эффективности пожаротушения: Автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.02 / А.И. Шкоруп; Гос. Макеевка. н.-д. ин-т по безопасности работ в горн. пром-сти. Макеевка, 2003. 20 с.
130. Шкарабура М.Г., Маладык И.Г., Дядченко А.И. Взаимное влияние огнетушащих порошков на ингибирование процесса горения. // Проблемы пожарной безопасности. Харьков: Фолио, 2003. Вып. 14. С. 230-234.
131. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок при их строительстве (конспект лекций): Учебное пособие. Донецк: Новый мир, 1998. 329 с.
132. Яне Б. Цифровая обработка изображений. Москва : Техносфера, 2008. 584с.

133. Юдин Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации : задачи и методы стохастического программирования. Москва : КРАСАНД, 2010. 400 с.
134. Яцук К.В., Стафеев М.С., Казаринов С.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в локальных конфликтах и войнах. Молодой учёный. 2016. №25. С. 107-111.
135. Bouabdellah K., Noureddine H., Larbi S. Using Wireless Sensor Networks for Reliable Forest Fires Detection. *Procedia Computer Science*. 2013. No 19. P. 794–801.
136. Balanyuk V. M., Study offire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures» *Eastern-european journal of enterprise* / V. M. Balanyuk, N. M. Kozyar, O. I. Garasymuyk. 4-12.
137. Chuan Li, George D. Skidmore, C. J. Han. DRS uncooled VOx infrared detector development. *Optical Engineering*. 2010. Vol. 50, No 50.
138. Curtis T. Ewing, Francis R. Faith, James B. Romans, J. Thomas Hughes and Hower W Carhart, Flame extinguishment properties of such chemicals: extinction weights для малого diffusion pan fires and additional evidence for flame extinguishment by thermal J. Of Fire Prot. Engr., 4(2) 1992, pp. 35-52.
139. Clemens W. *Colloid Chemistry // Gels*. 2018 - Vol. 2. Is. 64. DO 10.3390/gels4030064
140. De-xu Du, Xu-hai Pan, Min Hua Experimental Study on Fire Extinguishing Properties of Compound Superfine Powder. *Procedia Engineering*. 2018. Vol 211. pp. 142-148.
141. Dupuy J. L., Marechal J., Morvan, D. Fires from a cylindrical forest fuel burner: combustion dynamics and flame properties. *Combust. Flame*. 2003. No 135. P. 65–76.

142. Dupuy J. L. Slope and fuel load effects on fire behavior: laboratory experiments in pine needle fuel beds. *Int. J. Wildland Fire*. 1995. No 5. P. 153–164.
143. Drone Major. Глобальная платформа Drone. URL: <https://ru.dronemajor.net/brands/workswell> (дата обращения: 11.12.2022).
144. Dowitte M., Vrebaxh J., Van Tiggelen A. Inhibition and Extinction of Premixed Flames by Dust Particles // *Combustion and Flame*. 1964. Vol. 8, №4. P. 257-266.
145. Dotan J.B., Dempstar P.B. Suppression of methane-air ignitions by fine powders // *Journal of Applied Chemistry*. 1955. №5. P. 510-517.
146. Emilio Chuvieco. *Fundamentos de teledetección espacial*. Segunda edición. Madrid: Edicionesrialp, S. A., 1995. 449 с.
147. Fischer, G., и Leonard, J.T., “Эффективность пожара огнеупорных порошков, основанных на малой ступени пожарной резиденции,” *Naval Research Laboratory*, NRVMW6180-95-7778, Washington, DC, 1995.
148. Habib A., Ghanma M., Morgan M., Al-Ruzouq R. Photogrammetric and lidar Data Registration Using Linear Features. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2005. Vol. 71, P. 699 – 707.
149. Hansen R. Estimating the amount of water required to extinguish wild fires under different conditions and in various fuel types. *International Journal of Wildland Fire*. 2012. Vol 21(5). DOI: 10.1071/WF11022 CO.
150. Kuti Rajmund Characteristics of forest fires and their impact on the environment. *Academic and Applied Research in Military Science*. 2016. Vol 15 (1). Pp. 5-17
151. Leidenfrost, JG *De Aquae Communis Nonnullis Qualitatibus Tractatus*. URL: <https://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/display/bsb1126907300005.html> (дата обращения: 11.12.2022).

152. Matt P.
Criteria and methodology for evaluating aerial wild fire suppression. International Journal of Wildland Fire. 2013. Vol. 22(8).
153. Modeling Forest Aboveground Biomass and Volume Using Airborne LiDAR Metrics and Forest Inventory and Analysis Data in the Pacific Northwest. Remote Sensing. 2015. No 7. P. 229-255.
154. Mitani T.A.
Study of thermal and chemical effects of heterogeneous flames suppressants// Combustion and Flame. 1982. Vol. 44, №1/3. P 247-260.
155. J.H. McGuire, борющиеся строительные пожары с фильтром-нитрогеном: в литературе survey, Fire Safe. J. 4 (1981) 15-19. DOI:10.1016/0379-7112(81)90003-5.
156. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Volume quadrichologram-based associative memories. Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2014. Vol. 23, No 4. P. 225–232.
157. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation approach to all-optical holographic associative memories. Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2014. Vol. 23, No 1, P. 12–25.
158. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Self conjugation hetero associative memories using thin static nonlinearly recorded holograms. Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2014. No 2. P. 74–83.
159. Robert E. Tapscott, Ted A. Moore, и J. Douglas Mather. (1998). Halon replacement research - a historical review of technical progress and regulatory decision points. Halon Options Technical Working Conference 12-14 May, 17-22.
160. Rogalski. Infrared detectors : an overview. Infrared Physics & Technology. 2002. No 43. P. 187–210.
161. Rawet D., Smith R., Kravaninis G. A comparison of water additions for mopping up after forest fire. International Journal Wildland Fire. 1996. V. 6. №2 1. P. 37 - 43.

162. Rochnu R. High expansionfoamas a firebreak. Wildfire. 1999. V. 8. № 3. P. 27 - 30.
163. Romano M. E. Innovation inLiDARprocessingtechnology. Photogramm. Eng. Remote Sens. 2004. Vol 70, No 11. P. 1202–1206.
164. Rudolh S, Braun U. SchaumundWasser. Braundwatsh. 2002. V. 57. № 2. P. 58 - 59.
165. Taylor G., Kidner D., Brundsdon K. Modellingandpredictionof GPS availabilitywithdigitalphotogrammetryandLiDAR. International Journal ofGeographical Information Science. 2007. Vol. 21, No 1. P. 1–20.
166. Torikai H., Murashita T., Ito, A. и Metoki T. (2011). Расстояние ламинированного ремешка дифференциального использования, используя бутылочное окно профилированное с нитрогеном. Fire Safety Science. DOI: 10: 557-567.10.3801/IAFSS.FSS.10-557.
167. Ted A. Moore, NobuoYamada. (1998). Nitrogengas как halonreplacement. HalonOptionsTechnicalWorking Conference 12-14 мая. 330-338.
168. Taylor, G. (2001), Time is Up forHalons. Industrial Fire Journal, Issue 41, pp. 63-64, 67-68.
169. U.S. Federal Aviation (Февраль 2002) Administration Final Report OptionstoUseofHalonsfor Aircraft Fire Suppression Systems.
170. Wasserloscherfastuniversell. HorianHessen. 1990. Apr. P. 6.
171. Yongfeng, JinXiang, LiaoGuangxuan, Xiaomin Ni., (2007). Experimentalstudyoffire-extinguishingeffectivenessof 1-bromo-3,3,3-trifluoropropene/nitrogenmixtures. Journal offiresciences, vol. 25, 177-187. DOI: 10.1177/0734904107067914.
172. Zhao K., Valle D., Popescu S. HyperspectralremotesensingofplantbiochemistryusingBayesianmodelaveragingwithvariableandbandselection. Remote Sensingof Environment. 2013. No 132. P. 102– 119.

173. Zhou X.M., Liao G.X., Cai B. Improvement of Water Mist's Fireextinguishing Efficiency with MC Additive. Fire Safety Journal. 2006. Vol. 41. Pp. 39-45.