СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ…….. 4
ВВЕДЕНИЕ..... 5
ГЛАВА 1. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ …….. 7
1.1 Нормативное регулирование пожарной безопасности……. 7
1.2 Особенности нефтегазовых объектов в области пожарной опасности…… 11
1.3 Статистическое исследование возникновения пожаров на нефтегазовых объектах……. 14
ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ БВС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ…… 18
2.1 Основные этапы развития гражданского применения беспилотных воздушных судов в мониторинге чрезвычайных ситуаций…… 18
2.2 Применение беспилотных воздушных судов в МЧС России…… 24
ГЛАВА 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА АНАЛИЗИРУЕМОМ ОБЪЕКТЕ…… 28
3.1 Характеристика деятельности рассматриваемого объекта…… 28
3.2 Методы и модели, применяемые для автоматического мониторинга пожарной безопасности в нефтегазовой отрасли ……. 31
3.3 Перспективы использования беспилотных воздушных судов для обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли……... 34

ВКР УдГУ

ГЛАВА 4. АДАПТАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ БВС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АО «БЕЛКАМНЕФТЬ»…….. 37
4.1 Алгоритм распознавания пламени с борта беспилотного воздушного судна…… 37
4.2 Распознавание области горения на черно-белом статическом изображении, полученном с борта беспилотного воздушного судна……. 41
4.3 Структурная схема работы беспилотной авиационной системы при проведении мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли …… 49
4.4 Методика автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли с борта беспилотного воздушного судна…….. 53
ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕННОГО РЕШЕНИЯ……. 60
5.1 Оценка экономической эффективности применения беспилотного воздушного судна…….. 60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….. 64
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ…….. 65
ПРИЛОЖЕНИЯ……. 73

ВКР УлГУ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БВС – Беспилотное воздушное судно

ПБ – Пожарная безопасность

НПА - Нормативно-правовые акты

РФ – Российская Федерация

ФЗ - Федеральный закон

МЧС - Министерство по чрезвычайным ситуациям

СНН - Склады нефти и нефтепродуктов

ЧП – Чрезвычайное положение

ВНИИПО - Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны

ФГБУ - Федеральное государственное бюджетное учреждение

ОПО – Опасный производственный объект

ТВС - Топливно-воздушная смесь

КПД – Коэффициент полезного действия

ЧС – Чрезвычайная ситуация

АО – Акционерное общество

НК – Нефтяная компания

НГДУ – Нефтегазодобывающее управление

RGB – (Red, Green, Blue - Красный, Зеленый, Синий)

СИ - Международная система единиц

GPS (Global Positioning System) - американская спутниковая система глобальной навигации

НСУ - Наземная станция управления

ВКР УДГУ

ВВЕДЕНИЕ

Нефть и природный газ являются ценными энергетическими ресурсами, их добыча и транспортировка играют важную роль в экономике Российской Федерации, так как их оборот составляет значительную часть бюджета страны. Однако, множество крупнейших месторождений нефти и газа расположено в труднодоступных районах Западной Сибири и Крайнего Севера. Поэтому для обеспечения углеводородами энергопотребителей необходимо осуществлять надежную доставку и транспортировку ресурсов путем использования нефтегазопроводов [1].

Каждый участок магистральных нефтегазопроводов – это сложное инженерное сооружение с автоматизированным технологическим процессом. Протяженность и труднодоступность данных объектов обусловлены неоднородным ландшафтом местности и сложными климатическими условиями, что значительно затрудняет их контроль и мониторинг. Отметим, что в последние годы для визуального обследования нефтегазовых трубопроводов стали широко использоваться беспилотные воздушные суда. Причем сложные многоуровневые системы обнаружения огня, позволяющие проводить мониторинг в автоматическом режиме, разработаны только в иностранных проектах. Поэтому, в целях импортозамещения и обеспечения пожарной безопасности магистральных объектов нефтегазовой отрасли, а также в соответствии с основными задачами стратегического развития Российской Федерации, связанными с совершенствованием отечественной промышленности и организации производств, предлагается использование методики автоматизированного мониторинга с борта беспилотного воздушного судна (БВС) [1].

Цель выпускной квалификационной работы: разработать методику применения беспилотных воздушных судов для обеспечения пожарной безопасности на нефтегазовых объектах.

ВКР УлГУ

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Проанализировать литературные источники в области пожарной безопасности, в том числе на нефтегазовых объектах;
2. Рассмотреть существующие методы обеспечения ПБ на нефтегазовых объектах;
3. Исследовать возможность применения БВС для обеспечения пожарной безопасности на нефтегазовых объектах;
4. Разработать методику применения БВС для обеспечения ПБ на нефтегазовых объектах;
5. Оценить рациональность применения БВС для обеспечения ПБ на нефтегазовых объектах.

ВКР УДГУ

ГЛАВА 1. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

1.1 Нормативное регулирование пожарной безопасности

Нормативно-правовые акты (НПА) пожарной безопасности имеют решающее значение, так как они защищают жизнь людей, их имущество и регулируют общественные отношения, связанные с обеспечением безопасности от пожаров. Они устанавливают обязательные требования, например, к зданиям и системам противопожарной защиты, а также определяют ответственность и порядок действий в случае пожара. Значительная часть в сфере гражданской безопасности отводится противодействию пожаров, которые могут не только наносить ощутимый вред людям и природе, но также перерастать в настоящие катастрофы. Для того чтобы противодействовать потенциальной угрозе, применяют нормативно-правовое регулирование по пожарной безопасности, в котором расписаны основные требования и правила в указанной сфере. Нормативная документация в виде инструкций, нормативов и других материалов в данном случае касается вопросов проведения учений, противопожарных требований, выдвигаемых к зданиям, и прочих сфер.

Целью нормативного регулирования пожарной безопасности является:

1. обеспечение безопасности населения и сохранности имущества и других ценностей;
2. стандартизация работы различных структур и инстанций, которые связаны с обеспечением пожарной безопасности;
3. установление неоспоримого и обязательного влияния НПА в вопросах пожарной безопасности [2].

К основным законодательным и иным нормативным правовым актам регламентирующих пожарную безопасность относятся. Конституция РФ [3], являющаяся основополагающим документом, это основной закон государства, высший нормативный правовой акт, который закрепляет основы его

ВКР УлГУ

политической, правовой и экономической системы, а также права и свободы человека и гражданина. Имеющий высшую юридическую силу.

Федеральный закон "О техническом регулировании" от 27.12.2002 N 184-ФЗ [4], закон регулирует отношения, возникающие при: разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к продукции, в том числе зданиям и сооружениям (далее - продукция), или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, применении и исполнении на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также к выполнению работ или оказанию услуг в целях добровольного подтверждения соответствия.

Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [5], закон определяет общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации, регулирует в этой области отношения между органами государственной власти, органами местного самоуправления, общественными объединениями, юридическими лицами, должностными лицами, гражданами, в том числе индивидуальными предпринимателями.

Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ [6], закон принимается в целях защиты жизни, здоровья, имущества граждан и юридических лиц, государственного и муниципального имущества от пожаров, определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает минимально необходимые требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям и сооружениям, производственным объектам, пожарно-технической продукции и продукции общего назначения.

ВКР УлГУ

Приказ МЧС России от 26.06.2024 N 533 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах" [7], методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах устанавливает порядок расчета величин пожарного риска на производственных объектах класса функциональной пожарной опасности Ф5 (за исключением стоянок легковых автомобилей без технического обслуживания и ремонта, а также стоянок легковых автомобилей, входящих в состав производственного объекта), включая здания иных классов функциональной пожарной опасности, входящие в состав производственного объекта.

Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации" [8], настоящие правила устанавливают требования пожарной безопасности, определяющие порядок поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания территорий, зданий, сооружений, помещений организаций и других объектов защиты в целях обеспечения пожарной безопасности.

Приказ от 26 декабря 2013 года N 837 Об утверждении свода правил "Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности" [9], настоящим сводом правил следует руководствоваться при разработке нормативных документов, регламентирующих требования пожарной безопасности СНН, при проектировании, строительстве, реконструкции, техническом перевооружении и ликвидации СНН.

Согласно законодательству, к предприятиям нефтегазового комплекса выдвигается ряд нормативных требований, выполнение которых направлено на минимизацию риска возникновения ЧП и ущерба от аварии, если она все-таки произошла. При проектировании комплекса недопустимо размещать технологическое оборудование внутри строительных объектов, которые по геометрической конфигурации способны образовать зоны застоя, скопления газов (включая их пары). Товарно-сырьевые парки, отдельные резервуары хранения

ВКР УлГУ

жидких, сжиженных углеводородов в составе производственных предприятий должны размещаться на более низких отметках рельефа относительно строительных объектов. Их необходимо обносить вентилируемой оградой, выполненной из негорючих материалов. Если же разместить наземные резервуары выше соседних строительных объектов не представляется возможным, в этом случае должны выполняться мероприятия по исключению возможности растекания проливов опасных веществ при авариях к зданиям, технологическим сооружениям [10].

Запрещено прокладывать надземные технологические трубопроводы, предназначенные для транзитной транспортировки взрывопожароопасных, ядовитых веществ, под строительными объектами предприятий, а также по наружным стенам, крышам зданий, независимо от степени стойкости к огню, эстакадам, отдельным опорам, колоннам, изготовленным из горючих материалов. В производственных, складских помещениях, где есть вероятность выделения газов, паров, которые могут привести к образованию взрывоопасных концентраций, промышленные напольные покрытия должны выполняться из антистатических и/или рассеивающих электричество материалов. Не допускается проведение эвакуации через помещения строительных объектов, площадки наружных технологических установок с возможным выделением взрывопожароопасных, токсичных соединений.

В настоящее время ФГБУ ВНИИПО МЧС России активно участвует в реализации различных нефтегазовых проектов. В качестве основных направлений работ можно выделить следующие:

1. оценка проектных решений на соответствие требованиям нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности;
2. разработка специальных технических условий, отражающих специфику обеспечения пожарной безопасности объектов и содержащих комплекс необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;

ВКР УлГУ

3. разработка разделов проектной документации в части обеспечения пожарной безопасности;

4. разработка планов тушения пожаров и др.

Необходимо далее проводить исследования, направленные на гармонизацию существующих и разработку новых нормативных документов, на поиск новых высокоэффективных способов и средств обеспечения пожарной безопасности объектов защиты. При этом нужно осуществлять взаимодействие на межведомственном уровне с привлечением различных научных и проектных организаций, занимающихся вопросами обеспечения пожарной безопасности, в том числе и на законодательном уровне [10].

1.2 Особенности нефтегазовых объектов в области пожарной опасности

В условиях современной нефтегазовой отрасли безопасность производственных процессов является одним из приоритетных направлений. Пожарные риски, связанные с эксплуатацией объектов нефтегазодобычи, представляют собой серьезные угрозы не только для сотрудников, но и для окружающей среды и экономики в целом. Поэтому вопросы минимизации этих рисков становятся актуальными и требуют внимательного изучения. На объекте нефтегазодобывающих производств существует высокий риск возникновения пожара из-за большого количества людей, электронных устройств, наличия горючих веществ и других потенциальных источников огня. Одним из основных факторов, способствующих возникновению пожара, является нарушение правил пожарной безопасности, в том числе отсутствие установленных мер и средств пожаротушения, неправильное размещение электрооборудования, неправильное хранение горючих материалов и т. д. Также к риску пожара на объекте нефтегазодобывающих производств может привести процесс бурения, переработки и хранения углеводородов, которые могут создавать высокие температуры и давление, что увеличивают вероятность возгорания. Чтобы

ВКР УдГУ

уменьшить риски возникновения пожара на объекте нефтегазодобывающих производств, необходимо проводить регулярные проверки на соответствие правилам пожарной безопасности, устанавливать средства пожаротушения и обучать персоналу, как их использовать. Также следует контролировать правильность размещения электрооборудования, запрещать курение на территории объекта нефтегазодобывающих производств и соблюдать меры предосторожности при проведении рекламных акций и мероприятий с использованием пиротехники [11].

Для минимизации пожарных рисков на объекте нефтегазодобывающих производств необходимо принимать меры по обеспечению безопасности, защите и контролю. Одним из важнейших этапов является проектирование и строительство объектов нефтегазодобывающих производств, с учетом профессиональных стандартов и правил пожарной безопасности. По мнению авторов [11], основными причинами возникновения пожаров в общественных зданиях являются:

1. Неосторожное обращение с огнем;
2. Неисправность электросети и электроприборов;
3. Выброс опасных веществ.

Из этого следует, что большая часть пожаров происходит по вине человека, из-за несоблюдения правил пожарной безопасности или банальной неаккуратности. Одним из способов защиты от пожара является установка автоматических систем пожарной сигнализации и пожаротушения, таких как огнетушители, системы дымоудаления. Также необходимо обеспечить регулярное обслуживание и тестирование этих систем. Системы предотвращения возгорания: разработка и использование автоматических систем, которые способны обнаруживать потенциальные источники пожара и предотвращать его возникновение, такие как система автоматического пожаротушения, системы определения дыма и тепла, системы автоматического выключения электричества. Обучение персонала: проведение регулярных тренингов и обучений для

ВКР УлГУ

работников по правилам пожарной безопасности, включающих в себя знание общих правил предотвращения пожаров, использования систем безопасности и при исполнении операций в случае пожара. Гильзование материалов: использование огнестойких материалов во всех конструктивных элементах здания, таких как перекрытия, стены и потолки. Соблюдение требований пожарной безопасности: разработка и соблюдение требований по пожарной безопасности, включая грамотное размещение эвакуационных выходов, правильную установку и обслуживание систем безопасности, и приобретение необходимой пожаротушительной аппаратуры. Правовые и нормативные акты: влияние законодательства на одобрение и внедрение стандартов безопасности на объектах нефтегазодобычи [11].

Проектирование зданий с учетом пожарной безопасности: соблюдение принципов пожарной безопасности и использование услуг профессиональных консультантов при проектировании и строительстве зданий. Организация эвакуации: разработка и реализация планов эвакуации и установка показателей, указывающих направления к выходам без использования глубоководных карт. Управление системами электроэнергии: использование технологий управления мощностью, которые позволяют управлять энергоснабжением здания и предотвращать перегрузки электрических сетей, что может стать причиной. Минимизация пожарных рисков на объектах нефтегазодобывающих производств – это многогранная задача, требующая комплексного подхода. Научные исследования свидетельствуют о значимости оценки рисков, проектирования, инновационных технологий, обучения персонала и соблюдения стандартов. Рекомендовано продолжать активные научные исследования в этой области для улучшения методов и практик безопасности. Также следует обратить внимание на сознательность работников, обучать их правилам безопасности при посещении объектов нефтегазодобывающих производств. Организация совместных мероприятий с пожарными службами, проведение пожарных тренировок – это также очень эффективные методы по минимизации возможных пожарных

ВКР УлГУ

рисков. Следуя всем необходимым правилам и мерам безопасности, можно существенно снизить возможность возникновения трагических последствий в случае пожара на объектах нефтегазодобывающих производств [11].

1.3 Статистическое исследование возникновения пожаров на нефтегазовых объектах

Ежегодно существенное количество выбросов парниковых газов поступает в атмосферу за счет различной антропогенной деятельности и аварий на опасных производственных объектах. Современная мировая наука ставит перед собой амбициозную задачу по значительному снижению их концентрации в атмосфере и минимизации выбросов в результате деятельности человека. Крупномасштабные пожары являются источниками значительного поступления в атмосферу планеты одного из мощнейших по негативному воздействию парниковых газов – диоксида углерода. По последствиям к ним можно отнести пожары, объектами которых являются лесные насаждения, торфяные залежи, и, несомненно, инфраструктура опасных производственных объектов (далее – ОПО), связанных с обращением органического топлива, например нефти, нефтепродуктов, природного газа и пр [12].

К ОПО нефтегазового комплекса относят ОПО нефтегазодобывающей, нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности, нефтепродуктообеспечения, подземного хранения газа, магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов и газопроводов, газораспределения и газопотребления. Значительные выбросы антропогенного диоксида углерода в природную среду определяют экологические риски, сопровождающие пожары на буровых установках, нефтеперерабатывающих заводах, резервуарных парках нефтепромыслов, нефтебазах, перекачивающих станциях магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, автомобильных газовых заправках, а также газораспределительных станциях, сетях газораспределения и

ВКР УлГУ

газопотребления. Проведен анализ аварий, произошедших в 2014–2023 гг. в Российской Федерации на ОПО, связанных с обращением органического топлива. На Рисунке 1 представлены сведения об авариях на нефте-, нефтепродукто- и газопроводах в рассматриваемой ретроспективе с указанием их количества и распределением по годам.

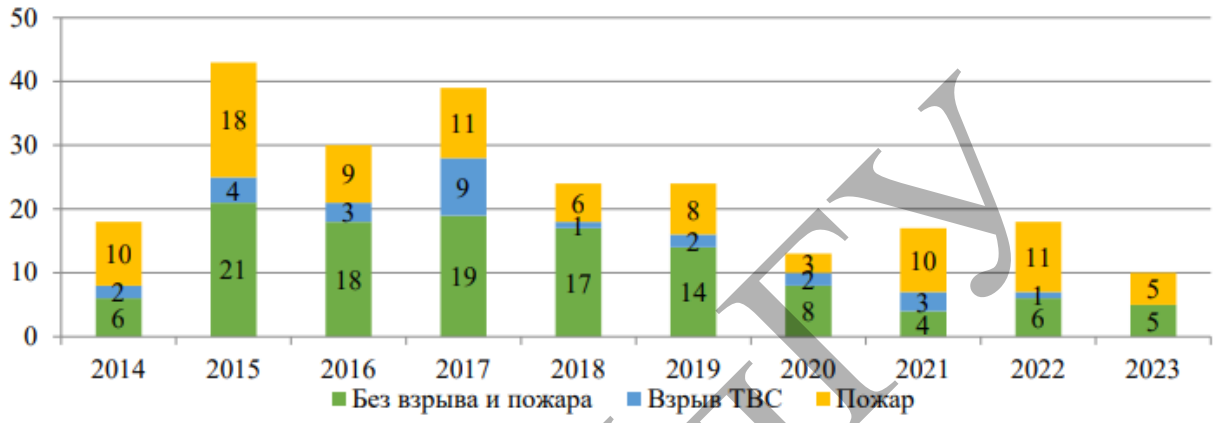

Рисунок 1 - Распределение аварий на объектах трубопроводного транспорта органического топлива по годам [12]

В среднем на трубопроводных системах ОПО происходит от 10 до 40 аварий в год. Часть из них характеризуется аварийной разгерметизацией, сопровождаемой разливом жидких нефтяных углеводородов или выбросом газообразных веществ без последующего их воспламенения. В остальных случаях происходит либо пожар, либо взрыв топливно-воздушной смеси (ТВС), которая образована газом или парами жидких нефтяных углеводородов (горючим компонентом) и кислородом воздуха (окислителем). Обобщенные за 10 лет данные показывают, что аварии на трубопроводных системах ОПО сопровождаются пожарами в 39 % и взрывами ТВС в 11 % случаев (Рис. 2).

ВКР УлГУ



Рисунок 2 - Распределение аварий на объектах трубопроводного транспорта по последствиям [12]

В результате исследований аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами ОПО Российской Федерации открывается несколько другая статистическая картина. Результаты анализа их последствий за период с 2014 по 2023 г. представлены на Рисунке 3.

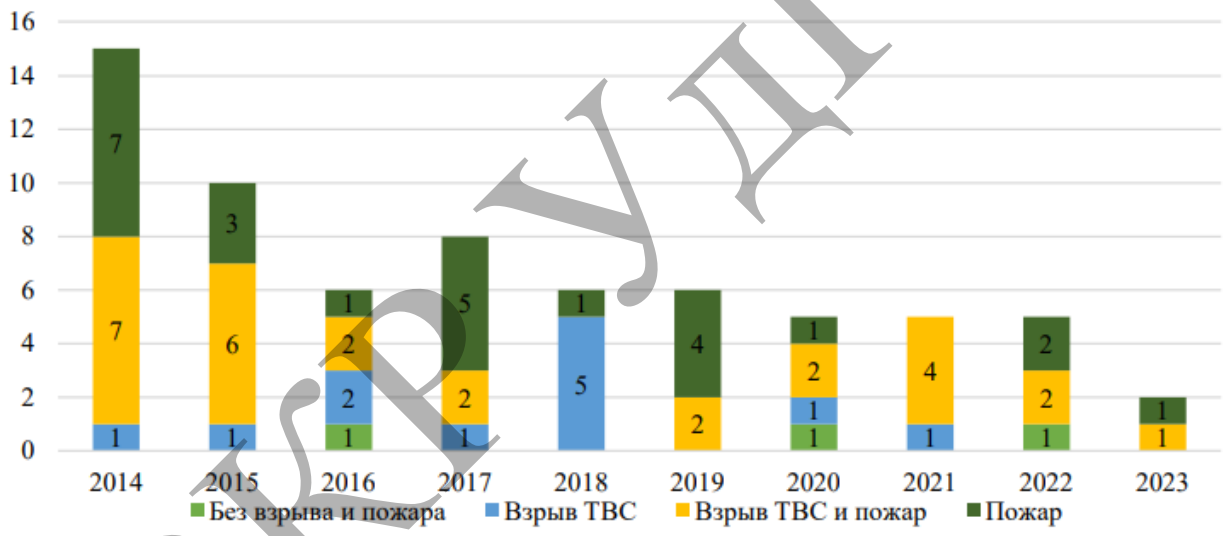

Рисунок 3 - – Распределение аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами по годам [12]

Аварии на резервуарах и технологических аппаратах характеризуются значительным количеством сопровождающих их взрывов и пожаров. Это, наиболее вероятно, связано с тем, что выход и образование взрыво- и пожароопасных сред происходит не на открытом пространстве, как в большинстве случаев аварийной разгерметизации магистральных и межпромысловых трубопроводов, а в замкнутом объеме самого объекта, подвергшегося аварии. Таким образом, пожары на подобных объектах,

ВКР УлГУ

являющиеся в большинстве случаев последствиями их аварийных разгерметизаций, происходят в 78 % случаев: в 37 % – только пожар, в 41 % – пожар и взрыв ТВС (Рис. 4).

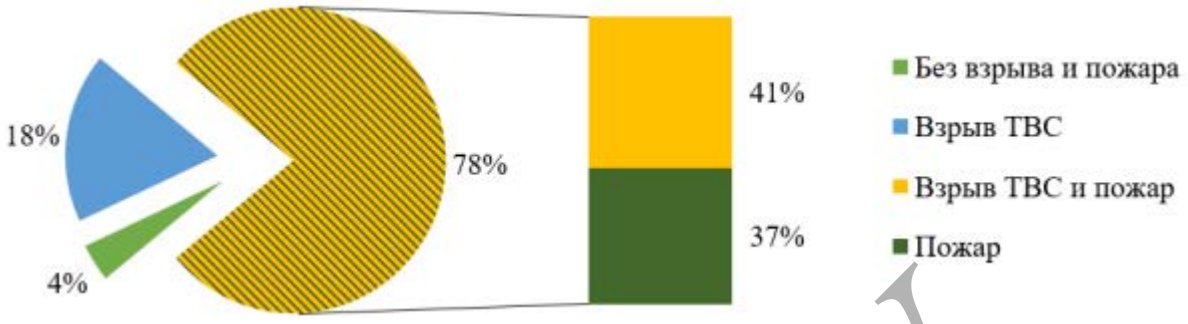

Рисунок 4 - Распределение аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами по последствиям [12]

Основная доля промышленной эмиссии углекислого газа (97–99 %) связана со сжиганием различных видов органического топлива. Отдельные авторы исследований по оценке объемов эмиссии парниковых газов предлагают учитывать выбросы по всей технологической цепочке движения топлива от добычи до потребления. В настоящее время множество различных причин, от имеющих техническую природу до милитаризованных террористических атак на объекты нефтегазового комплекса, разрывают описанные технологические цепочки, вызывая аварийное горение газа, нефти и нефтепродуктов. Негативное воздействие горения органических видов топлива в части формирования существенного вклада в образование диоксида углерода следует рассматривать как опасный фактор пожара непрямого отложенного действия и учитывать как важный источник поступления углекислого газа в атмосферу.

ВКР УлГУ

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ БВС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1 Основные этапы развития гражданского применения беспилотных воздушных судов в мониторинге чрезвычайных ситуаций

Создание и эксплуатация военной техники всегда несет за собой большие расходы, оправданные целями устройств. В гражданском применении нет опасности для пилота, и до 2000 года в связи со спецификой аппаратов применение устройств было экономически нерентабельно. С развитием технологий и миниатюризации устройств аппараты стали востребованы в гражданской области [13]. Их конструкция и задачи кардинально отличаются от военных предшественников, но скорость развития и повсеместный спрос позволили в кратчайшие сроки инженерам и производителям достичь значительных результатов. Процесс производства аппаратов не требует промышленных мощностей, проводится путем сборки устройств из комплектующих с программированием электромеханической части аппарата. Это позволило всем заинтересованным участникам с учетом выделения государственных грантов запустить инновационные стартапы в данной области. Традиционно в отрасли есть мировые лидеры и крупные компании, но наличие множества периферийных узконаправленных задач позволяет развиваться малым предприятиям [14].

В общепринятой практике беспилотные воздушные суда по своему устройству и области задач подразделяют на следующие типы:

1. беспилотные самолеты;
2. беспилотные вертолеты;
3. беспилотные аэростаты.

Конструктивный вид данных БВС показан на Рисунке 5.

ВКР УлГУ

Каждый тип устройств имеет эксплуатационные особенности и отрасль применения, характерные для физических принципов удержания аппаратов в воздухе. Беспилотные самолеты, используя подъемную силу крыла, эксплуатируются при заданном минимальном значении скорости, которое составляет для большинства аппаратов от 30 км/ч. Это позволяет обследовать участки большой протяженности или площади при выборе определенного маршрута в полетном задании. Преимущество аппаратов также проявляется в курсовой устойчивости, возможности эксплуатации в различных погодных условиях.



Рисунок 5 - Беспилотные самолеты, беспилотные вертолеты и беспилотные аэростаты [15]

Каждый тип устройств имеет эксплуатационные особенности и отрасль применения, характерные для физических принципов удержания аппаратов в воздухе. Беспилотные самолеты, используя подъемную силу крыла, эксплуатируются при заданном минимальном значении скорости, которое

ВКР УАТУ

составляет для большинства аппаратов от 30 км/ч. Это позволяет обследовать участки большой протяженности или площади при выборе определенного маршрута в полетном задании. Преимущество аппаратов также проявляется в курсовой устойчивости, возможности эксплуатации в различных погодных условиях. В существующих системах мониторинга объектов нефтегазовой отрасли самолеты применяют для высококачественной аэрофотосъемки, составления ортофотопланов и визуального наблюдения посредством видеофиксации [16].

Ограничение на применимость системы накладывают относительно низкие возможности передачи сигнала управления и видеосигнала на наземную стацию. Также существуют риски потери аппарата из-за смены погоды и сильного ветра на высоте полета аппарата. На практике по завершению полетного задания маршрут аппарата может пролегать против ветра, это приведет к низкой путевой скорости, и заряда батареи может быть недостаточно на точку старта. Эффективное выполнение работ данными аппаратами достигается на расстоянии до 70 км. Беспилотные самолеты по своим возможностям максимально обеспечивают потребности проведения мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли. Беспилотные вертолеты (мультироторные устройства) осуществляют вертикальный взлет с любой площадки или руки, позволяют оперативно обследовать сектор местности в кратчайшие сроки без развертывания станции управления. Высокая степень автоматизации позволяет подготовить внешнего пилота за один день. Недостатки устройства вытекают из принципа действия. Аппарат, удерживаемый в воздухе винтовой группой, не обладает возможностью планирования и интенсивно разряжает заряд аккумуляторов. Большинство гражданских устройств эффективно работают в течение 20 минут, профессиональные аппараты за счет большей грузоподъемности пребывают в воздухе до 3 часов, но запас времени эквивалентен количеству аккумуляторов и, как следствие, массе устройства. Также устройства проигрывают в скорости, массовые модели летают со скоростью в интервале от 35 до 50 км/ч.

ВКР УлГУ

Максимальные значения у специализированных аппаратов доходят до 400 км/ч. Использование аппаратов мультироторного типа в мониторинге магистральных трубопроводов, особенно в условиях отрицательных температур и шквалистого ветра, нерентабельно. Низкая информационная отдача, а также множество эксплуатационных ограничений способствовали этому [15].

Беспилотные аэростаты повторяют исторический опыт летательных устройств легче воздуха, позволяют поднимать большое количество полезной нагрузки и имеют проводную связь с наземной станцией. Устройство в классическом исполнении изменяет только высоту, тем самым уменьшая область мониторинга до минимума. Однако в частных случаях наблюдения за участком нефтегазового промысла, мониторинг с большой высоты через оптику с высоким разрешением и возможностью зума позволяют решать комплекс задач в режиме реального времени. Аэростат позволяет гарантированно провести наблюдение независимо от критически низких температур и скорости ветра, а также обеспечивает высокую надежность подъема и возвращения устройства. В существующих решениях высота подъема может составлять до 400 метров, при этом время мониторинга не ограничено в связи с подачей питания с земли. Данные устройства объективно применимы в нефтегазовом комплексе, требуют развития инструментария и комплексной поставки, удовлетворяющих полный сектор запросов служб, эксплуатирующих систему [17].

Прикладной задачей использования беспилотных воздушных судов является транспортировка малогабаритных грузов не небольшие расстояния. На сегодняшний день многие компании развивают такой тип услуг, доходя даже до доставки пиццы в окно покупателю. В массовых проектах стоит отметить американскую компанию Amazon, заявившую о намерении доставлять заказы интернет-магазина прямо на адрес покупателей. Отечественные компании в связи с недостаточно развитым законодательством не анонсируют подобные проекты, но Почта России произвела тестовый полет перспективной услуги доставки посылки квадрокоптером. Полет завершился неудачей с разрушением

ВКР УлГУ

дорогостоящего аппарата. Подобные технологии при их проработке на нефтегазовом промысле могут позволить организовать оперативную доставку грузов и деталей по воздуху. Это позволит добиться значительной экономии на вертолетном способе транспортировки, особенно в ситуациях оперативного переброса необходимых деталей в труднодоступные районы [15].

Ключевая проблема в эксплуатации беспилотных воздушных судов – ограниченный заряд батарей электропитания. Расстояние между перекачивающими станциями магистрали сжиженных углеводородов достигает 450 км. Провести исследования участка такой протяженности не представляется возможным, так как ресурса аккумуляторов не достаточно для движения на такое расстояние. Одним из способов повышения энергоэффективности является размещение солнечных батарей на борту аппарата. Подобный проект реализуют в Соединенных Штатах Америки с 1974 года. Опытный образец первого устройства с названием Sunrise I был испытан 4 ноября 1974 года. Эксперимент прошел удачно, но выявил ряд конструктивных задач, требующих доработки. Модернизация в течение года привела к появлению устройства Sunrise II, оснащенного 4480 солнечными элементами с эквивалентной мощностью в 0,6 кВт. Новый виток развития технологии стал возможен с 2010 года за счет уменьшения веса солнечных батарей. Рекордные опытные значения получены аппаратом Zephyr фирмы Qinetiq. За счет передовых технологий генерации энергии аппарат совершил полет продолжительностью 336 ч. 22 мин. 8 с. При этом устройство продолжало эффективно выполнять возложенные задачи и было приземлено исследователями в связи с достижением поставленных задач. Добиться таких достижений помогли сверхтонкие солнечные элементы из аморфного кремния, расположенные на хвосте и крыльях устройства. Несущий каркас был изготовлен из углеродистого волокна, что позволило добиться минимального веса с обширной поверхностью генерации энергии. При испытаниях максимальная высота полета составила 21 км, что выше нижнего слоя облаков и позволяет более эффективно получать энергию. Разработчики

ВКР УлГУ

видят массу возможностей применения аппарата от наблюдения за атмосферой до военной разведки. Развитие технологии привело к созданию особого типа аппаратов с общим названием атмосферные спутники. В проекте инженеры стремятся достичь баланса между отдаваемой и получаемой энергией, выведя аппарат на самообеспечение [15].

Одним из атмосферных спутников стал аппарат Airbus Zephyr, входящий в программу HAPS. Частной задачей аппарата явилось эшелонирование полета для работы в одном воздушном пространстве с самолетами гражданской авиации. Испытания устройства прошли в 2014 году над Дубаи. Аппарат в течении 23 ч. 47 мин. выполнил полетное задание, используя зазоры между эшелонами, совершив маршрут мимо международного аэропорта. Беспилотное воздушное судно несет в себе большую угрозу летательным аппаратам и столь значительные усилия по исследованию возможностей эшелонирования – вынужденная мера, позволяющая проработать алгоритмы и методы совместного и безопасного использования воздушного пространства. Характеристики аппарата: размах крыльев – 18 м, суммарный вес – 34 кг, эксплуатация при температурном диапазоне от +40 до –80 0С. Проблема обеспечения безопасности полета от столкновения справедлива и для России. Текущее законодательство требует вводить сегрегированное пространство для каждого подъема в воздух. Опыт мониторинга нефтегазовых магистралей показал конфронтацию интересов пилотов вертолетов и операторов БВС. Заявки на взлет заблаговременно регистрируются установленным образом в Единой системе организации воздушного движения, и пилоты вертолетов обязаны облетать зарезервированные участки под БВС [15].

Одним из способов увеличить время пребывания в воздухе беспилотного воздушного судна является подзарядка устройства за счет солнечных панелей. Но конструктивно их установка увеличивает вес при незначительном выигрыше в энергосбережении. Инженеры из Университета Шеффилда (Великобритания) разработали состав металлорганических галоидных перовскитов, обладающих фотоэлектрическими свойствами. В разработках состав наносится на поверхность

ВКР УлГУ

напылением минимальной толщины. Материал обладает значительным потенциалом за счет низкой стоимости и высокой эффективности. Проведенные испытания показали, что КПД панелей составляет более 11%. За свои особые свойства перовскит был включен в список ТОП-10 прорывов года (в 2013 г., по данным журнала Science). Перовскит – редкий для поверхности Земли минерал, титанат кальция, который был обнаружен в XIX веке в Уральских горах. Сейчас же ученые выяснили, что он сможет стать рабочей альтернативой кремниевым полупроводниковым панелям для солнечных батарей. В перспективных разработках весь корпус беспилотных самолетов возможно покрывать составом перовскита, что незначительно скажется на весе аппарата, но позволит возместить некоторый разряд энергии, расходуемой на движение аппарата. Рентабельность данной разработки будет также завесить от проработки системы сбора энергии и ее интеграции в существующие элементы питания аппаратов. В целом о применимости технологии можно будет сделать вывод, проанализировав процентную прибавку к продолжительности работы аппарата, стоимости и ремонтопригодности. Отечественные производители уделяют особое внимание последнему требованию. Особые условия эксплуатации аппаратов не дают возможности проведения оперативного гарантийного ремонта, и все системы имеют максимально открытую архитектуру, позволяющую в полевых условиях провести косметический ремонт подручными средствами. Такой подход крайне необходим при обследовании удаленных нефтегазопроводов и аварийных посадках [18].

ВКР УлГУ

2.2 Применение беспилотных воздушных судов в МЧС России

На вооружении МЧС России беспилотные воздушные суда находятся относительно недолго. Они применяются для контроля над пожароопасными районами, проведения поисковых работ и разведки на каждом крупном пожаре во всех регионах страны. Также широко используются в системе для управления в

кризисных ситуациях и получения оперативной информации. Первые беспилотные воздушные суда поступили в МЧС России в 2009 году. Глобальное оснащение министерства началось с 2012 года по распоряжению министра В. А. Пучкова. Региональные центры МЧС и региональные спасательные отряды провели пробную эксплуатацию аппаратов, а затем, по завершению испытания с принятием корректировок и доработок БВС, внедрены в ведомство повсеместно. Отряд МЧС России «Центроспас», участвующий в самых сложных операциях, одним из направлений деятельности которого является освоение беспилотных воздушных судов, расширил парк беспилотными аппаратами SupercamS250, произведенными в городе Ижевске компанией «Беспилотные системы» [19].

Также в феврале 2014 года БВС позволили сводному отряду МЧС России по Кировской области проводить мониторинг чрезвычайной ситуации и прилегающей местности при аварии на железнодорожном транспорте. С рельс сошел состав с газовым конденсатом, в результате удара возник пожар на обширном проливе горючей жидкости. Оперативная информация с воздуха использовалась для управления концентрацией сил и безопасной эвакуации людей. Мониторинг проводился круглосуточно, контролируя прилегающую территорию и снижая риски для аварийно-спасательной группы. Силами Главных управлений и Центрами управления в кризисных ситуациях разрабатываются оперативные планы мониторинга, особенно в пожароопасный и паводковой периоды. Беспилотные воздушные суда позволяют региональным отделениям МЧС России проводить оперативный мониторинг лесных насаждений и водной акватории, выявлять на ранних стадиях возникновение пожаров, следить за распространением пламени и определять тип горения (верховой, низовой), оценивать и держать под контролем площадь затопления. Перечисленные возможности беспилотной техники за последние девять лет были неоднократно подтверждены при мониторинге крупных пожаров, произошедших в Тульской, Ивановской, Московской, Курской, Нижегородской областях, при оценке паводка

ВКР УлГУ

в Республике Саха, Кемеровской, Воронежской области и других регионах страны [15].

Значительный вклад в обнаружение и спасение людей внесли беспилотные воздушные суда при наводнении на Дальнем Востоке в 2013 году. Отряд «Центроспас» задействовал в г. Хабаровск комплексы с беспилотными самолетами, которые осуществляли мониторинг в дневное и ночное время суток, информируя центральный штаб о затопленных территориях и местонахождении людей, оказавшихся отрезанными от суши.

Одним из общих недостатков БВС, стоящих на вооружении является недостаточно продолжительное время пребывания в полете [36]. Аккумуляторные батареи, установленные на аппаратах, не могут обеспечить выполнение полетного задания достаточно длительное время. Решением министра МЧС России созданы и укомплектовываются три центра беспилотной авиации в Южном, Северо-Кавказском, Крымском федеральных округах, что отражено на Рисунке 6.



Рисунок 6 - Южный, Северо-Кавказский, Крымский федеральные округа [15]

В создаваемых центрах внедряются системы воздушного оповещения на мультироторных платформах, предназначенные для скорейшего информирования населения о ЧС. Такие устройства были созданы группой компаний ZALA AERO

ВКР УлГУ

(г. Ижевск). Аппараты могут применяться и для системы экстренного оповещения «112». Помимо видеокамеры устройства оснащены звуковыми громкоговорителями. На сегодняшний день система успешно прошла испытания. Комплектование центров беспилотной авиации в трех южных федеральных округах – серьезный шаг в реализации потенциала беспилотных воздушных судов. Именно в этих регионах условия горной местности, обширного побережья, большого количества туристов и наличие объектов нефтегазовой отрасли обуславливают необходимость использования сил воздушного мониторинга. Эксплуатация в МЧС беспилотной техники сталкивается с множеством проблем, многие из которых уже разрешены. По-прежнему остается актуальным вопрос слабого материально-технического обеспечения комплектующими, запасными аккумуляторами, выделением финансирования на обязательное страхование гражданской ответственности. О последнем также говорится в представлении прокуратуры на запрет эксплуатации без страхования. Применение БВС при ликвидации ЧС природного и техногенного характера – современный, необходимый шаг для развития материальной базы МЧС России. Для каждой из стоящих задач необходимо создание комплекса оперативного управления БВС с набором проблемно-ориентированных программ, обеспечивающих адекватную интерпретацию данных и устойчивое функционирование БВС. Опираясь на ежедневные потребности противопожарной службы, производители стараются удовлетворить запросы все новыми техническими возможностями. Однако, как и прежде, для отечественных фирм актуальным остается вопрос конкурентоспособной цены аппаратов и глубина технической проработки автопилота устройств. При выборе закупаемой техники для МЧС России Китайский квадрокоптер DJI Fantom-3 показал ветровую устойчивость, компактность, легкую управляемость и проработанное программное обеспечение, а также стоимость в три раза ниже отечественных аналогов, в связи с чем и был выбран основной разведывательной единицей в МЧС России [15].

ВКР УлГУ

ГЛАВА 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА АНАЛИЗИРУЕМОМ ОБЪЕКТЕ

3.1 Характеристика деятельности рассматриваемого объекта

АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова [20] - одно из ведущих нефтедобывающих предприятий Удмуртии, входящее в состав АО «НК «Нефтиса». Общество имеет в разработке 59 месторождений нефти в Удмуртии и Кировской области. В штате компании трудится более 3500 человек. АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова является оператором добычи для предприятий ООО «Белкамнефть», ОАО «УНК», АО «Уральская нефть», ООО «РНК», ООО «Окуневское». Объем добычи нефти АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова в 2023 году составил более 3,2 млн тонн. На объектах нефтедобычи было реализовано 1451 геолого-технических мероприятия, 88,3 млрд рублей перечислено налогов в бюджеты всех уровней. Благотворительная деятельность является продолжением производственных успехов АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова. В 2023 году 175,6 млн рублей было направлено на реализацию благотворительных проектов [20].

Группа компаний «Белкамнефть» им. А.А. Волкова - одно из крупнейших нефтедобывающих предприятий в Удмуртской Республике. Оно является вторым по объемам производства и первым – по динамике добычи. Кроме того, компания входит в число крупнейших налогоплательщиков в Удмуртской Республике. Структура группы компаний «Белкамнефть» им. А.А. Волкова отражает ее нацеленность на увеличение добычи за счет роста вложений в разработку новых месторождений, рационального использования ресурсов и запасов, отлаженной логистики в производстве. В группу компаний сегодня входят 5 нефтедобывающих предприятий, которые ведут свою деятельность на территории Удмуртской Республики, Республики Башкортостан и Кировской области. Управление производственными активами большинства из них

ВКР УдГУ

сосредоточено в подразделениях АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова - НГДУ-1 и НГДУ-2. Такая организация управления производством позволяет компании добиваться существенного снижения управленческих издержек, выстроить эффективные и гибкие производственные цепочки, сократить время от принятия решения до его исполнения. Увеличение ресурсной базы – важнейшая стратегическая задача группы компаний «Белкамнефть» им. А.А. Волкова. Компания участвует во всех значимых конкурсах на разработку нефтяных месторождений Удмуртской Республики и ведет целенаправленную работу по геологическому изучению полученных в освоение недр. В АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова используются самые современные методы геологоразведки и моделирования, что позволяет с большой точностью вести учет запасов. Количество извлекаемых запасов составляет 94 млн 103 тысячи тонн категории А; В1; С1 и 17 млн 668 тысяч тонн – категории В2, С2. Порядка 40% всей добываемой в Удмуртской Республике нефти приходится на группу компаний «Белкамнефть» им. А.А. Волкова. Ежегодная добыча компании составляет более 4 млн тонн нефти. В последние годы благодаря применению самых современных методов разведки и добычи, компания изменила сложившиеся стереотипы о невысокой продуктивности удмуртских месторождений, получив в 2011 году на ряде скважин рекордные для всего Поволжья стартовые дебиты – до 650 тонн в сутки [20].

Анализируемый объект располагается на территории Вятской площади Арланского месторождения (Рисунок 7) [21]. Арланское месторождение, крупнейшее по запасам нефти, расположено на территории Краснокамского, Калтасинского и Дюртюлинского районов на северо-западе Башкирии и частично на территории Удмуртии. Включает в себя Арланскую, Новохазинскую, Николо-Березовскую и Вятскую площади. Расположено в пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП). Эксплуатируется нефтегазодобывающими управлениями (НГДУ) Арланнефть, Чекмагушнефть Башнефть-Добыча и НГДУ-1 Белкамнефть. Открыто в ноябре 1955 г. скважиной № 3, пробуренной бригадой

ВКР УдГУ

мастера Сахапова недалеко от деревни Ашит (в 15 км от г. Нефтекамск) Введено в разработку в 1958 г. К 2010 г. на месторождении добыто 500 млн т нефти, пробурено 9,8 тыс. скважин.

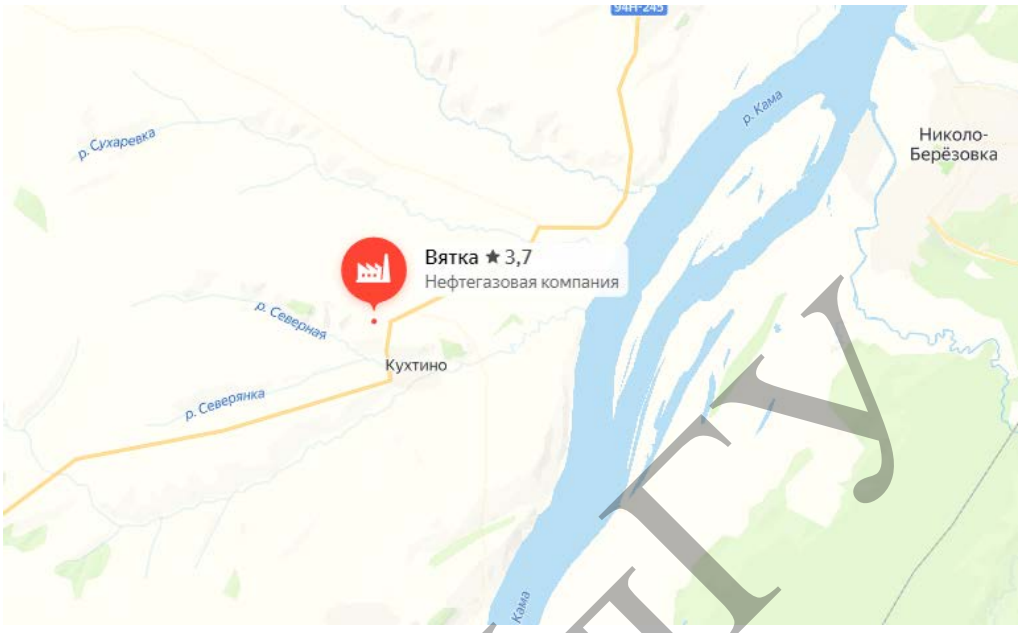

Рисунок 7 – Географическое местоположение Вятской площади АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова [20]

Протяженность более 100 км, при ширине до 25 км, приурочено к обширной антиклинальной складке с пологими крыльями. Нефтеносные песчаники визейского яруса нижнекаменноугольного возраста, карбонатные коллекторы каширо-подольской продуктивной толщи среднего карбона. Основные запасы сконцентрированы в песчаниках терригенной толщи нижнего карбона (75% начальных запасов) на глубине 1400-1450 м. Начальные запасы нефти группы оцениваются в 1,2 млрд т. При разработке применяется заводнение пластов. Основной способ эксплуатации добывающих скважин - механизированный. Общий фонд скважин около 8 тыс. единиц. Нефть добывается с большим содержанием воды (93%). На пике добыча на месторождении доходила до 12 млн т/год. Характеристики нефти - Нефть плотная (840 - 894 кг/м3), вязкая (до 30 мПа×с), высокосернистая (до 3%), с низкой газонасыщенностью (до 18 м3 газа на 1 т нефти) [21].

ВКР УдГУ

3.2 Методы и модели, применяемые для автоматического мониторинга пожарной безопасности в нефтегазовой отрасли

В боевом расчете подразделений МЧС России основной единицей беспилотной техники являются мультироторные устройства DJI Fantom 3. Имея значительные ограничения по времени эксплуатации и дальности полета, эксплуатирующие подразделения применяют метод точечного обзора.

Группа применения БВС передвигается на служебном транспорте вдоль нефтепровода, через каждые 5 км совершает взлет на высоту 500 метров для визуального изучения обстановки. С указанной высоты анализируется наличие дыма и огня, розлива нефти и нефтепродуктов, состояние охранной зоны, наличие автомобильной техники и людей в запрещенных местах [22].

Такое точечное обследование позволяет экономить ресурс БВС, обследовать большую площадь одним комплектом оборудования, свести риск потери аппарата к минимуму. К недостаткам метода следует отнести низкую детализацию обследования удаленных зон: с учетом перекрытия секторов визуально необходимо провести анализ расстояния в 2,5 км, получая данные только с монитора планшета с подключением возможностей оптического зума. Перечисленные факторы приводят к высокой степени обнаружения только лишь дыма, не позволяя проанализировать более мелкие элементы. Также способ подразумевает передвижение подразделения вдоль магистрали, что не всегда возможно и ведет к дополнительным затратам [22].

Часть подразделений укомплектована квадрокоптерами DJI Inspire с тепловизором Zenmuse XT. Устройства имеют значительно большую стоимость и ограничения по погоде, но способны дистанционно определять температуру объектов при мониторинге. Частную задачу обнаружения огня аппарат решает превосходно за счет значительного перепада температур и может автоматически оповестить оператора о превышении критических значений [51]. К способам

ВКР УлГУ

использования устройства можно отнести метод точечного обзора и линейного мониторинга, как и у DJI Fantom 3.

В связи с маленьким ходовым запасом, линейно с одной точки можно обследовать участок длиной только 4 км. Но к преимуществам аппарата в обследовании нефтегазовой отрасли можно отнести следующие:

– гарантированное обнаружение зон открытого горения;

– в случае подземной прокладки трубопровода фиксация места прокладки;

– возможность обнаружения незаконных врезок и подкопов за счет температурного шлейфа;

– возможность обнаружения утечек и свищей за счет изменения термографических очертаний трубопровода в месте прорыва [23].

К ключевым недостаткам устройства и метода, кроме перечисленных, следует отнести невозможность работы в отрицательных температурах, что в климатических условиях нашей страны приводит к слабой применимости методики. Вопрос мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли начинается с заинтересованных лиц в проведении данного обследования. Непосредственно в сферу деятельности МЧС участок трубопровода попадет после возникновения чрезвычайной ситуации. Заинтересованным лицом в плановом мониторинге является собственник объекта, в подчинении которого находятся специальные подразделения, обеспечивающие всестороннюю безопасность объекта. В сложившейся практике проведение мониторинга с помощью БВС возможно представителями организации при наличии знания, опыта и оборудования или с привлечением сторонней специализированной организации. Для целей разового мониторинга финансово выгодней использовать наемных специалистов с получением гарантированно качественных результатов [23].

Обследование магистральных трубопроводов проводится исключительно аппаратами самолетного типа и сводится к трем методам:

ВКР УлГУ

1. Движение над магистралью газо-нефтепровода с целью фотофиксации высокого качества;

2. Движение над магистралью с целью термографического исследования;

3. Движение над магистралью с целью визуального исследования.

Первый метод позволяет получить высококачественный отчетный материал по каждому метру магистрали. Но оценить обстановку или обнаружить пожар возможно лишь по возвращении аппарата на базу и просмотра громадного количества материалов. Это приводит к недопустимой задержке в принятии решения, особенно в случаях обнаружения любого типа горения [24].

Второй метод, используя современную инфракрасную камеру и получая изображение в режиме реального времени, позволяет оператору контролировать температурный режим исследуемых участков. На практике оператор вынужден непрерывно анализировать видеопоток без отрыва от монитора. Система может подать сигнал если зафиксирует превышение пороговых значений, но работа оператора обязательна для обнаружения утечек и врезок. Также недостатком являются невыразительные отчетные данные в виде монохромной записи полета, которые зачастую не применимы к другим потребностям собственника. Неоспоримым преимуществом метода является оперативность принятия решения и повышение пожарной безопасности объекта [25].

Также использование второго метода ведет к дополнительным расходам на покупку тепловизора. Стоимость типового устройства, применяемого для мониторинга с БВС, составляет более 550 тыс. рублей. Стандартная комплектация включает защитную полусферу, антивибрационный подвес и комплект подключения. Несмотря на все способы защиты, данный обвес является хрупким устройством и при аварийной посадке может выйти из строя.

Совместная работа первого и второго методов увеличивает вес полезной нагрузки в два раза, потребляет большее количество энергии и снижает возможную дальность мониторинга. Производители, зная о возможных запросах такого характера, в типовой линейке предусматривают модели увеличенного размера, но

ВКР УлГУ

стоимость и трудности в запуске и эксплуатации делают такие модели менее популярными. Третий метод является средним вариантом, вбирая в себя недостатки двух описанных выше. Характерен для любительских аппаратов и применим только в сочетании с комплексной системой мониторинга.

В настоящее время в качестве метода мониторинга пожарной опасности объектов нефтегазовой отрасли в АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова БВС не используются. Практически применяются тепловые линейные извещатели. Устанавливаются по периметру противопожарной насыпи, как правило – по углам и по направлению в основании резервуара, и вдоль магистральных трубопроводов. Чувствительным элементом извещателя является оптоволоконный кабель, который прокладывается в контролируемых зонах – его можно проложить в непосредственном контакте с защищаемым оборудованием, в любых труднодоступных местах. Эксплуатация возможна в условиях воздействия солевого тумана, влаги, пыли, агрессивных сред, вибрации. Особенностью и важным преимуществом извещателя является то, что даже при повреждении чувствительного элемента в условиях взрывоопасной атмосферы извещатель абсолютно безопасен и его использование не приведет к взрыву [37].

3.3 Перспективы использования беспилотных воздушных судов для обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли

Внедрение современных систем контроля и обеспечения безопасности в нефтегазовом комплексе – актуальное направление, особенно на стадии технического перевооружения производства. Применение беспилотных воздушных судов – лишь маленькая часть системы обеспечения безопасности.
Опыт эксплуатации данных аппаратов в нефтегазовой отрасли выявил ряд общих трудностей и специфичных для линейных объектов:

1. низкая продолжительность работы аппаратов;
2. проблемы запуска при отрицательных температурах;

ВКР УлГУ

3. проблемы поиска при аварийном приземлении;

4. отсутствие автоматизации процесса мониторинга;

5. погодные ограничения эксплуатации аппаратов;

6. сильное влияние ветра на успех мониторинга и д.р.

Решение поставленных вопросов задача множества научных направлений, прежде всего в энергосбережении и создании более эффективных аккумуляторов. В область пожарной безопасности входит разработка научных основ создания устройств автоматического контроля и управления системами обеспечения промышленной и пожарной безопасности. В любой процесс выполняемый человеком на современном уровне развития компьютерных технологий добавляют автоматизацию для уменьшения трудозатрат и снижения вероятности человеческой ошибки. Проведенный обзор показал, что в отечественных методиках применения БВС процесс цифрового обнаружения не реализован, и всю полезную информацию принимает с монитора оператор на протяжение всего мониторинга. Наиболее пожароопасным явлением из контролируемых параметров при проведении исследования является открытое горение. Его наличие может повлечь за собой внесение источника зажигания в горючую среду. Как следствие, развитие полномасштабной чрезвычайной ситуации на магистрали нефтегазопровода [6].

Для снижения пожарной опасности нефтегазового комплекса в ОАО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова предлагается методика автоматического мониторинга с борта беспилотного воздушного судна обеспечивающая обнаружение пламенного горения по видеопротоколу. При ее реализации будут достигнуты следующие частные задачи:

1.1 Исследуемая область будет проверяться на наличие горения без участия оператора, с его привлечением при обнаружении пожара;

1.2 Экономия энергии за счет обработки информации штатным микропроцессором без передачи видеопротокола на наземную станцию;

ВКР УлГУ

1.3 Процесс автоматизации обнаружения выполняется штатным оборудованием без докупки дорогостоящих элементов;

1.4 Расширение области мониторинга за счет вылета из границ передачи устойчивого видеосигнала;

1.5 Возможность автономной работы устройства по выполнению полетного задания с передачей сигнала оператору только в случае обнаружения пожара;

1.6 Повышение надежности обнаружения пожароопасных явлений за счет уменьшения влияния человеческого фактора;

1.7 Обработка информации в режиме реального масштаба времени с возможностью оперативного реагирования на пожароопасную ситуацию.

Проведенный обзор показал, что беспилотные воздушные суда используются для целей мониторинга пожарной и промышленной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли, но в перспективе развития нуждаются в модернизации существующих подходов с учетом потребностей и задач, стоящих перед организациями, эксплуатирующими трубопровод с максимальной автоматизацией процесса [26].

Таким образом, актуальность исследования в данной выпускной квалификационной работе, обусловлена необходимостью разработки систем, обеспечивающих снижение пожарной и промышленной опасности нефтегазового комплекса, а также возможностью предупреждения пожаров и аварий. Раскрыты сильные и слабые стороны существующих методов мониторинга, применяемых для обследования линейных объектов нефтегазовой отрасли силами МЧС России и другими организациями, оказывающими услуги в данной области. Обоснован вывод о низкой автоматизации процесса обнаружения и отсутствии отечественных технологий обнаружения пожара с борта движущегося воздушного судна [15].

ВКР УлГУ

4. АДАПТАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ БВС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АО «БЕЛКАМНЕФТЬ»

4.1 Алгоритм распознавания пламени с борта беспилотного воздушного судна

Проанализированна схема алгоритма обнаружения огня с беспилотного воздушного судна, основанная на математической обработке записи с цифровой видеокамеры, расположенной на борту аппарата. Алгоритм использует семь фильтров для ступенчатой проверки наличия горения в кадре. В системе использованы следующие фильтры: анализ цвета пикселей кадра на черно-белом изображении, проверка цвета выявленной области на совпадение с гаммой огня, определение областей движения, проверка цвета движущихся пикселей на совпадение с гаммой огня, пространственный вейвлет-анализ, определение частот изменения цвета в движущихся областях гаммы огня, проверка объемности области огня, анализ изменения формы очага относительно угла экспозиции движущегося беспилотного воздушного судна. Разработанный алгоритм направлен на проведение мониторинга без работы оператора по отслеживанию изображения и решает вопрос импортозамещения и создания оригинальных отечественных технологий обнаружения пожара с борта движущегося беспилотного воздушного судна. Алгоритм разработан исходя из подхода минимизации вычислительных затрат бортового микропроцессора для экономии электроэнергии. Математическая модель распознавания реализована в программном продукте, который установлен в микрокомпьютер, расположенный на борту летательного аппарата [27]. Схема алгоритма разработанной математической модели показывает последовательность взаимосвязанных операций, ключевое значение в которых определяется выполнением программных фильтров на видеоизображении, получаемом с камеры беспилотного воздушного судна, что отражено на Рисунке 8 (Приложение 1).

ВКР УлГУ

Рассмотрим фильтры, предложенные в алгоритме обнаружения.

Фильтр 1. Анализ цвета пикселей кадра. В связи с необходимостью рационального подхода к ресурсам микрокомпьютера предусмотрен алгоритм ранжирования фильтров, но только после положительного результата по первому из них [15].

Программа захватывает черно-белое изображение статичного кадра и определяет зоны, в которых цвет стремится к абсолютно белому. В пространстве RGB значения для таких пикселей будут приближаться к 255. Фильтр построен на предположении, что огонь в снимке имеет максимальную яркость и при переводе в черно белое изображение стремится к значению белого цвета. В предположение были введены граничные условия по освещенности, расстоянию экспозиции, вариативности силы света источника горения. Данные три фактора в наибольшей степени влияют на исследуемый показатель. Для выражения числового значения вводим пороговый коэффициент β, определяющий нижнюю границу цвета пикселя огня. Для определения освещенности используется датчик, встроенный в корпус летательного аппарата. Расстояние экспозиции – предопределенный параметр, он зависит от высоты полета, которая в свою очередь зависит от местности и типа воздушного судна. Вариативность силы света определяется исходя из возможных параметров очага пожара. Каждый фактор имеет весовой коэффициент, определяющий, насколько он подтверждает наличие огня, что учитывается в итоговой формуле. Для фильтра 1 весовой коэф. – 1. Положительный результат первого включает в работу фильтры 2, 3 [15].

Фильтр 2. Проверка цвета выявленной области на совпадение с гаммой огня. В первую фильтрацию могут попасть лучи прожектора, отблески солнца, но в цветном спектре данные явления визуально отличаются от цвета огня. Область пикселей, определенных в первом фильтре, сравнивается с заранее заданным цветовым распределением, которое представляет собой возможную цветовую гамму в пространстве RGB. В алгоритме предусмотрена база данных цветов гаммы огня в зависимости от освещенности и типа пожарной нагрузки. База

ВКР УлГУ

сформирована при помощи обработки изображений, содержащих области огня. В ней цвет представлен координатой в трехмерном пространстве, а вариативность учтена в радиусе допуска, который создает сферу допустимых значений. Если центр симметрии цвета пикселей из области, полученной на первом фильтре, попадает внутрь сферы. Считается, что область принадлежит огню. Для фильтра 2 весовой коэффициент – 0,5[15].

Фильтр 3. Определение областей движения. Движущиеся пиксели и области в видеопотоке определяются с помощью метода выделения фона. Отсеивание вибраций аппарата осуществляется подбором коэффициента ζ, учитывающим расстояние до аппарата и вариативности силы света, определяемой исходя из параметров очага пожара. Положительный результат третьего включает в работу фильтр 4. Для фильтра 3 весовой коэффициент – 0,5.

Фильтр 4. Проверка цвета движущихся пикселей на совпадение с гаммой огня. Алгоритм аналогичен фильтру 2. Анализируются только те области изображения, где было обнаружено движение. Цветовое распределение выгружается из базы данных. Положительный результат четвертого включает в работу фильтры 5, 6, 7. Для фильтра 4 весовой коэффициент – 0,5.

Фильтр 5. Вейвлет-анализ во временной области. Утверждение, на котором строится данный фильтр – нестабильность края огня, то есть граница пламени будет менять цвет с фонового на цвет пламени. В случае, если значение высокочастотных осцилляций стремится к нулю, пиксели границы не изменяют цвет во времени. Для фильтра 5 весовой коэффициент – 1.

Фильтр 6. Пространственный вейвлет-анализ. В обычном объекте, имеющем цвет огня, изменения цвета в движущихся областях будут незначительными. В движущихся областях, соответствующих пламени на изображении, такие изменения будут весьма существенными. Для разграничения показателей вводим пороговый коэффициент δ. Превышение данной частоты указывает на наличие горения. Для фильтра 6 весовой коэффициент – 1.

ВКР УлГУ

Фильтр 7. Проверка объемности области огня. Горение имеет объемные характеристики в зависимости от типа пожарной нагрузки и способа ее расположения. При пролете беспилотного воздушного судна над очагом в результате видеофиксации получается набор кадров горения, снятых под различным углом. Фильтр анализирует контур формы и делает вывод об объемности рассматриваемого объекта. Вариативными факторами при анализе являются высота полета, угол наблюдения, вариативность формы очага. Для фильтра 7 весовой коэффициент – 1. Положительные результаты каждого фильтра поступают в блок анализа весовых коэффициентов, где суммируются для принятия решения. Весовые коэффициенты подобраны исходя из особенностей каждого способа наиболее точно определять наличие горения. Пороговым значением обнаружения является пять и более [15].

В работе математическая модель построена для фильтров 1, 2, 5. В связи с усеченным составом работающих фильтров пороговым значением для блока анализа весовых коэффициентов является 2,5. Оператору по радиоканалу передается сигнал «ТРЕВОГА. Обнаружено горение» с координатами и временем события. Дальнейшие действия зависят от конкретных условий мониторинга и выбираются оператором. Типовыми действиями могут быть: проверка видеозаписи с аппарата для визуального подтверждения, прокладка курса возвращения аппарата к месту обнаружения для дополнительного мониторинга, выезд группы к месту пожара. Достоинствами технического решения является возможность автономной работы в зонах с затрудненной передачей радиосигнала, возможность освободить оператора от выполнения рутинной многочасовой работы, добиться целей распознавания огня более простыми и дешевыми техническими решениями. Математическая модель интегрирована в программный комплекс «Видеодетектор пламени 1.0 (FD)» и зарегистрирована под номером 2016615714. Особенностью методики является также требование минимальных технических характеристик к летательному аппарату: любой современный беспилотник имеет на борту видеокамеру и микропроцессор, что

ВКР УлГУ

открывает возможную перспективу использования метода в летательных аппаратах массового производства, в том числе стоящих на вооружении в МЧС России [15].

4.2 Распознавание области горения на черно-белом статическом изображении, полученном с борта беспилотного воздушного судна

Задача автоматического обнаружения пламени при мониторинге линейных объектов нефтегазовой отрасли с борта беспилотного воздушного судна решается многоуровневой системой фильтров, анализирующих различные характеристики горения. Первым фильтром разработанная модель анализирует цвет пикселя в черно-белом статическом изображении. Область пламени в монохромном пространстве RGB стремится к абсолютно белому цвету, пороговое значение которого зависит от расстояния, освещенности и яркости источника света. Для выявления математической зависимости рассматриваемых факторов и порогового значения цвета пламени были представлены лабораторный и полигонный полнофакторные эксперименты [15].

Современный набор задач, решаемых беспилотными воздушными системами, стремительно охватывает все научные и прикладные области, стремясь к уменьшению затрат и максимальной оптимизации используемого оборудования. Бурный рост использования воздушных судов стал возможен исключительно за счет уменьшения стоимости базовой версии летательных аппаратов и приемлемого качества летной платформы. С 2016 года подразделения МЧС России масштабно укомплектованы летательными аппаратами вертолетного типа малой дистанции для решения оперативных задач. Были закуплены DJI Inspire с тепловизором, позволяющие проводить широкий спектр термографических работ. Распознавание термального источника проводится с помощью специализированной инфракрасной камеры, наличие которой увеличивает стоимость аппарата до трех раз. Изображение, получаемое с камеры, изменением

ВКР УлГУ

градиента указывает на зону повышенной температуры, позволяя оператору принимать решение в режиме реального времени с монитора экрана. Недостатком данного способа является необходимость безотрывной работы человека у экрана наземной станции управления воздушной системы, высокая стоимость инфракрасных камер, отсутствие возможности проводить мониторинг на значительных расстояниях из-за ограничений передачи радиосигнала. Системные недостатки и преимущества устройств раскрыты в подпункте 3.2 [15].

Схема алгоритма распознавания пламени представляет собой семь взаимосвязанных фильтров, позволяющих программе сделать вывод о наличии события пожара. В параграфе представлена работа первого фильтра, анализ цвета пикселей кадра. В связи с необходимостью рационального подхода к ресурсам микрокомпьютера предусмотрен алгоритм ранжирования фильтров. Изображение анализируется последующими фильтрами только после положительного результата по первому. Первый фильтр построен на предположении, что область горения в снимке имеет максимальную яркость и при переводе в черно-белое изображение стремится к значению белого цвета [28]. Программа захватывает черно-белое изображение статичного кадра и определяет зоны, в которых цвет стремится к абсолютно белому. В пространстве RGB значения для таких пикселей будут приближаться к 255. Для выражения числового значения был введен пороговый коэффициент β, определяющий нижнюю границу цвета пикселя огня, зависящую от условий мониторинга. При построении математической зависимости порогового значения от факторов был подобран оптимальный набор математически значимых условий, влияющих на исследуемый процесс. Фильтр анализирует цвет пикселя в черно-белом изображении. В связи с этим в априорном ранжировании факторов рассматривались только факторы, влияющие на градиент белого. Алгоритм распознавания области огня в черно-белом статическом изображении с борта беспилотного воздушного судна представлен на Рисунке 9 (Приложение 2).

ВКР УлГУ

Первым фактором в уравнении было принято расстояние между источником горения и камерой беспилотного воздушного судна в метрах. Фактор является ключевым не только для первого фильтра, но и для всей беспилотной воздушной системы, так как с учетом угла экспозиции определяет граничные условия высоты полета воздушного судна. Световой поток от пламени, преодолевая расстояние, теряет энергию и, как следствие, в восприятии видеокамеры дает набор пикселей меньшей яркости. В системе автоматического распознавания расстояние – динамический параметр, определяемый исходя из высоты полета аппарата и угла экспозиции камеры относительно поверхности земли. В поставленном эксперименте граничные условия фактора составили от 1 до 50 метров. Увеличение высоты мониторинга привело к ухудшению возможности распознавания в связи с увеличением фоновых значений относительно источника горения малой яркости [15].

Второй фактор в уравнении представляет собой освещенность территории, на которой происходит наблюдение в люксах. Солнечный свет в зависимости от времени суток и погодных условий принципиальным образом определяет яркость фонового изображения и, как следствие, влияет на значение порога цвета пламени и цвета предметов, от которых отражается свет. Работа первого фильтра дает низкую эффективность при интенсивном солнечном свете, давая большое количество превышений порогового значения, что компенсируется следующими фильтрами. При проведении эксперимента значения фактора контролировались прибором люксметр Testo-545. Для обеспечения максимальной универсальности модели рассматривался диапазон освещенности от ночного времени до солнечного безоблачного дня с расположением солнца в зените, от 0 до 80000 люкс. В системе автоматического распознавания для определения освещенности используется датчик, встроенный в корпус летательного аппарата, который в режиме реального времени корректирует пороговое значение коэффициента β.

Третий фактор должен характеризовать способность источника горения выделять свет в видимом диапазоне. При определении единиц измерения данного

ВКР УдГУ

фактора были проанализированы единицы световых величин в международной системе единиц СИ и возможность инструментального контроля выбранного параметра в лабораторных и полевых условиях. Достаточно эффективно исследуемый параметр отражает световой поток, выражаемый в люменах. Но для его измерения необходим гониофотометр или измерительная интегрирующая сфера, в которых проводится спектральное распределение светового потока. Испытание проводится в сфере или в держателе, вращающемся в различных плоскостях. С учетом невозможности поместить горящий образец в установке и крайне высокой стоимости единица измерения не применима. Сила света – световой поток, посылаемый в данном направлении, деленный на малый (элементарный) телесный угол вблизи этого направления и
на проекцию площади источника на плоскость, перпендикулярную оси наблюдения, измеряется в канделах [кд]. Данная единица измерения связана со световым потоком, может быть высчитана из количества люменов и угла половинной яркости, но также требует специализируемых установок и не приемлема. В системе обеспечения пожарной безопасности для определения требуемых параметров эвакуационных табличек «Выход» используется прибор яркометр, измеряющий яркость в канделах на квадратный метр [кд/м2]. В решении задачи распознавания огня по видеоизображению способность огня выделять свет является ключевым условием обнаружения. Яркометр позволяет ввести в математическую модель диапазон значения фактора. Для эксперимента он составляет от 10 до 200 кд/м2. Указанное условие позволяет охватить вероятные параметры горения. Вариативность силы света для конкретного наблюдения – предопределенный параметр исходя из возможных параметров очага пожара [15].

Рассматриваемый фильтр использует кадр из видеопротокола. В эксперименте изображения были получены с помощью цифрового фотоаппарата в условиях, определенных экспериментом. Для обработки результатов эксперимента был разработан инструмент, позволяющий в монохромном цифровом изображении

ВКР УлГУ

выделить нижнее значение цвета попадающего в область огня. Для решения поставленной задачи был разработан скрипт на языке Python 2.7.10 [Anaconda 2.3.0 (64 – bit)]. Черно-белое изображение для компьютерного представления цвета является частным случаем цветного, в численной реализации цветового распределения RGB имеет одинаковое значение для трех компонент. Таким образом белый цвет выражается в данных [255, 255, 255], черный цвет [0, 0, 0]. Программа сравнивает цвет каждого пикселя с пороговым значением, заданным оператором, и при выполнении условия превышения значения изменяет цвет на красный. Шаг в подборе цвета определен в 5 единиц, достаточно точный для определения лучшего порогового значения. Варианты корректного и некорректного выбора порогового значения отображены на Рисунке 10.

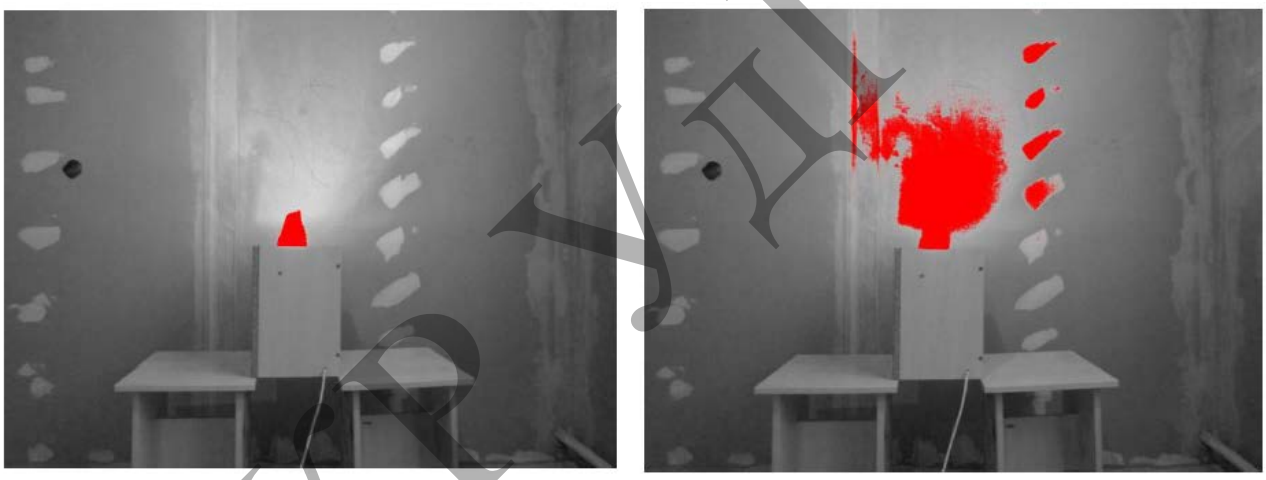

Рисунок 10 - Работа программы, определяющей цвет области горения в черно-белом изображении [15]

Для каждого снимка путем подбора было установлено значение цвета, которое исчерпывающим образом определяет область пламени без захвата отражений или предметов близких к белому цвету. В пространстве RGB значение абсолютно белого цвета составляет 255. Пламя в кадре имеет неоднородные области и в зависимости от факторов эксперимента характеризуется превышением определенного значения. На рисунке слева красным закрашена область, значение пикселей в которой превышает 230. Значение является оптимальным, потому что выделена исключительно область пламени. На рисунке

ВКР УлГУ

справа красным закрашена область, значение пикселей в которой превышает 180. В область распознавания попал отблеск от пламени, а также фрагменты фона белого цвета, что является не допустимым и требует корректировки. Фильтр использует коэффициент β, являющийся безразмерной величиной. Для перевода значения цвета в коэффициент необходимо параметр разделить на 255. Исходя из этого, для рассматриваемого на рисунке примера коэффициент β составляет 0,902. Соответственно, при максимальной яркости в 255 коэффициент β составляет 1. Данное математическое преобразование было учтено при заполнении матрицы плана эксперимента [15].

Для достижения поставленной цели были проведены лабораторный и полигонный эксперименты. В лабораторных условиях горение имитировалось специально сконструированным устройством, визуально повторяющим процесс горения, как показано на Рисунке 11.

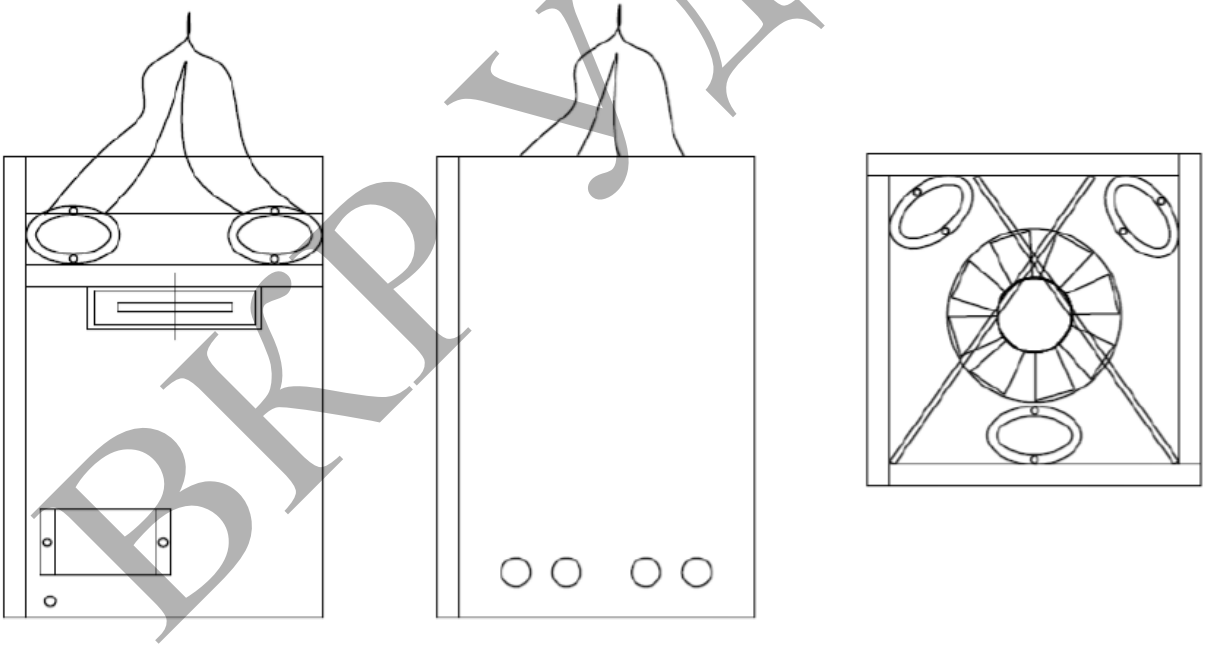

Рисунок 11 - Схема устройства, имитирующего пламенное горение [15]

Корпус аппарата выполнен в виде аэродинамической трубы, в которую установлен вентилятор. Поток воздуха поднимает лоскуты ткани, которые выполняют хаотичное движение за счет неоднородности обдува воздушной массой. Ткань освещается тремя лампами, оборудованными светофильтрами

ВКР УдГУ

красного, желтого и оранжевого цветов. На видеоизображении установка эффективно имитирует языки пламени, центральную область наиболее интенсивного свечения, динамическое изменение края горения, цветовое сходство и наличие отблесков на фоне. Установка имеет возможность регулирования яркости источника света и подходит для проведения лабораторных экспериментов. Для подтверждения вывода о сходности лабораторной установки и пламенного горения был поставлен полигонный эксперимент в факторном пространстве лабораторного. В качестве источника горения была использована газовая горелка. Для нормализации фактора яркости был подобран расход газа, дающий необходимый параметр яркости. В опыте на каждом из десяти снимков пламя располагалось в разной части кадра с целью проверки влияния на яркость восприятия и получения достоверных данных. Расположение пламени в кадре на исследуемый параметр не влияет [15].

При обработке результатов выяснилось, что попадание фрагмента неба воспринимается фильтром за горение раньше, чем само пламя. Из этого сделан вывод о необходимости выбора угла экспозиции камеры, позволяющего обеспечить непопадание неба в кадр. Также уменьшение освещенности значительно повышает эффективность фильтра. Заключительным шагом является проведение полнофакторного полигонного эксперимента. Для достижения требуемой яркости были использованы горелка с большей пропускной способностью и максимальные возможности газобаллонной установки, что отражено на Рисунке 12.

ВКР УДГУ



Рисунок 12 - Полнофакторный полигонный эксперимент [15]

Особенностью опыта стал неоднократный обрыв пламени из-за высокой скорости истечения газа с дальнейшим затуханием. В эксперименте максимальное расстояние составляет пятьдесят метров. При интенсивном солнечном свете на таком удалении граничные показатели цвета фона и огня имеют наименьший диапазон. При увеличении яркости источника горения данный показатель стабилизируется.

Ключевым значением для фильтра является коэффициент β. Лабораторный и полигонный эксперименты показали, что экспертная выборка факторов, влияющих на работу фильтра, выполнена успешно. План эксперимента установил границы доверительного интервала, в рамках которого может эксплуатироваться воздушное судно для достижения задач устойчивого распознавания. Также были выявлены условия, в которых фильтр выдает положительный результат на событие, которое заведомо не является пожаром. А именно: фрагмент неба в ясный день, предметы и области белого цвета, поверхности способные отражать солнечный свет, водная поверхность, предметы точечного свечения: фонари, прожектора, фары автомобиля, и т.д. В особые условия также можно отнести белый снег, который может создать сплошной ковер, создающий в фильтре

ВКР УлГТУ

положительное решение. Все перечисленные решения в системе обнаружения пламени передаются на последующие фильтры, которые в свою очередь отсеивают все явления кроме огня. В связи с этим можно сделать вывод, что гипотеза, принятая в фильтре, подтверждена, обеспечивает распознавание с минимальным использованием вычислительных ресурсов микрокомпьютера. В граничных условиях исследования фильтр гарантированно распознает пламя, при этом множество ложных срабатываний компенсируется на следующих фильтрах.

Приоритетной задачей при создании модели распознавания пламени является техническая возможность ее реализации с помощью ресурсов микрокомпьютера, расположенного на борту беспилотного воздушного судна. Для исполнения этой цели фильтры ранжированы, и математически сложные приемы, такие как пространственный вейвлет-анализ, выполняются последними, когда все простые фильтры указывают на пожар. Цели автоматизации процесса распознавания при мониторинге линейных объектов нефтегазовой отрасли с борта беспилотного воздушного судна позволяют оператору находиться на безопасном расстоянии, проводя работы в самых сложных и опасных условиях без риска для жизни [15].

4.3 Структурная схема работы беспилотной авиационной системы при проведении мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли

Обеспечение пожарной безопасности магистральных нефтегазопроводов осложняется большой протяженностью и труднодоступностью мест их прокладки. В существующей практике для целей проверки экологической, охранной и пожарной безопасности с воздуха применяют вертолетные облеты. Данный способ по сравнению с эксплуатацией для этих целей беспилотных воздушных судов отличается высокой стоимостью. Также арендуемые вертолеты не оборудованы специальными устройствами для мониторинга. Контроль проводится проверяющими через иллюминаторы, что ухудшает условия

ВКР УлГУ

наблюдения и не дает качественных материалов по результатам обследования. Создание летательного аппарата, способного проводить такой мониторинг – это комплекс задач и направлений, выходящих за область пожарной безопасности [29].

Одной из задач в области пожарной безопасности при проведении облетов является фиксация открытого горения вблизи трубопровода. Оно может возникнуть в следующих условиях.

Пал костров. Разведение огня категорически запрещено вблизи с трубопроводом, но в условиях низких температур для согревания осознанно к этому способу прибегают рыбаки, охотники и даже обслуживающий персонал магистрали. Горение растительной подстилающей поверхности. Данный тип пожаров возникает, как правило, в результате человеческого фактора при неосторожном обращении с огнем. Частным случаем является бесконтрольное горение ягеля на просторах тундры, что является опасным явлением для защищаемых объектов [30].

Локальный очаг горения углеводородов до перетекания в глобальную чрезвычайную ситуацию. В перечисленных случаях оперативность получения информации о горении повышает пожарную безопасность за счет введения оперативных действий по ликвидации пожара. Интервал времени, с которым первый фильтр программы захватывает и обрабатывает изображение, влияет на загруженность микропроцессора и зависит от конкретных параметров мониторинга. В исследовании использован аппарат самолетного типа Supercam S350. Для проведения мониторинга выбраны оптимальные условия эксплуатации БВС и граничные условия, лежащие в основе экспериментальной базы – Рисунок 13.

ВКР УлГУ

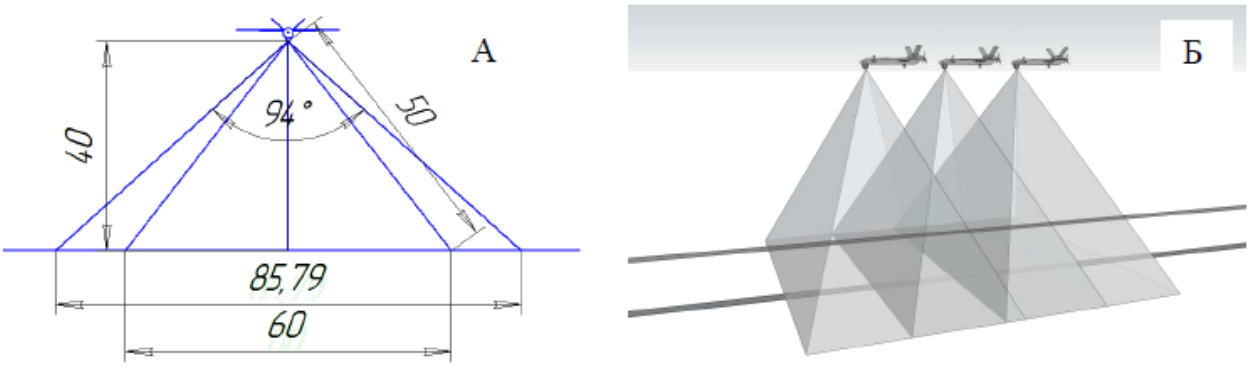

Рисунок 13 - Параметры мониторинга [15]

Согласно Рисунка 13: А – геометрические параметры стандартных условий мониторинга; Б – аксонометрическая проекция зоны мониторинга.

Угол обзора камеры аппарата – 94 градуса. Видеоизображение представляет собой прямоугольник с соотношением сторон 16:9. Рабочая высота наблюдения для аппарата – 40 м. При этом область, попадающая в видеоизображение, имеет размеры 85,79 м на 48,20 м. Для уменьшения искажения изображения в результате перспективы и соблюдения ограничения максимальной удаленности в 50 м, заложенной в математической модели обнаружения, выделим зону в 70% от общей ширины. Это приведет к сокращению участка мониторинга до 60 метров и обеспечит адекватную работу модели [15].

В работе принято условие достаточности исследования одной точки с двух различных ракурсов. Для достижения качества и равномерности видеофиксации каждого следующего участка земной поверхности предусмотрен перехлест зон в 10%. Визуально это отражено на Рисунке 13 (б) в виде совмещения проекции пирамиды у основания для первого и третьего кадра. Исходя из параметров мониторинга захват изображения происходит через каждые 21,7 м. Рабочая скорость беспилотного воздушного судна в исследовании – 50 км/ч, но в связи с погодными условиями (встречный ветер), этот параметр может значительно отличаться. Представим частоту захвата кадра в виде зависимости от скорости для интервала от 20 до 70 км/ч [31].

$$t_{f1} = 8{,}637 - 0{,}3305 \times s + 0{,}05239 \times s^2 - 0{,}00002935 \times s^3 \quad (1);$$

ВКР УлГУ

В соответствии с полученной зависимостью интервал захвата кадра для скорости 50 км/ч составляет 1,5 с. Необходимо уточнить, какое значение скорости входит в формулу. Ветер при мониторинге оказывает большое влияние на летательный аппарат. При полете система автопилота учитывает ветровое давление, его скорость, направления и выбирает траекторию БВС с учетом внешнего воздействия. Летательный аппарат перемещается за счет усилия, создаваемого винтовой группой, имеет собственную путевую скорость. За счет ветра эта скорость может быть выше или ниже относительно передвижения над поверхностью земли. В общепризнанных терминах это значение выражается в определении истинной скорости. Именно показатели истинной скорости применяются в Уравнении 1. Современные образцы БВС автоматически определяют данное значение по координатам GPS и пересчетом относительных скоростей. Применение такого подхода позволяет обеспечить равномерность исследования поверхности рассматриваемого участка с сохранением интервалов запаса [31]. Схема алгоритма способа оценки влияния источника зажигания на развитие пожара на линейных объектах нефтегазового комплекса [98], представлена на Рисунке 14.

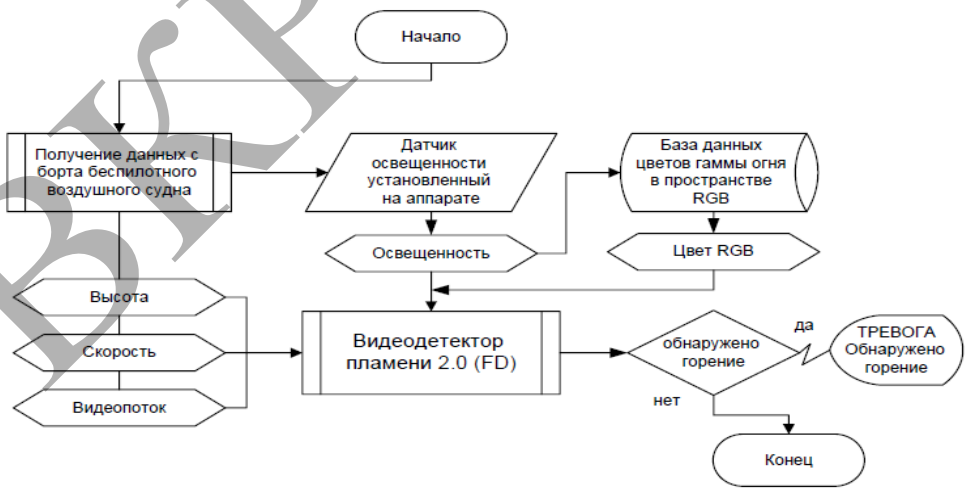

Рисунок 14 - Схема алгоритма способа оценки влияния источника зажигания на развитие пожара на линейных объектах нефтегазового комплекса [15]

Разработанная схема алгоритма показывает взаимосвязь летной платформы, программы обнаружения, базы данных и датчика освещенности которые в

ВКР УлГУ

совокупности производят обнаружения источника зажигания позволяя оценить развитие пожара на линейных объектах нефтегазового комплекса. Ее структура показывает необходимость интеграции математической части процесса именно в штатный микрокомпьютер для скорейшей реализации и загрузки информации в алгоритм. При этом для обеспечения безопасности пролета установлен приоритет на задачах, контролирующих управление и движение аппарата. Частота современных микропроцессоров позволяет реализовывать совместную работу автопилота и алгоритма обнаружения. Алгоритм интегрирован в бортовую систему и является дополнением, расширяющим функционал устройства. Это позволяет реализовывать функцию обнаружения без дополнительного навесного оборудования в штатной комплектации типового БВС. Программа «Видеодетектор пламени 2.0» является кроссплатформенной, что открывает возможности широкой интеграции как в новые аппараты, так и в стоящие на вооружении [32].

4.4 Методика автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли с борта беспилотного воздушного судна

Развитие производственного комплекса привело к массовой комплектации МЧС России легкими беспилотными воздушными судами, предназначенными для оперативного мониторинга и разведки при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Принцип принятия решений при их эксплуатации построен на получении фото- и видеоматериалов в режиме реального времени оператором, анализирующим и воспринимающим информацию с монитора пульта управления. Данная методика теряет свою эффективность при необходимости проведения мониторинга на значительных территориях, примером которых могут являться линейные объекты нефтегазовой отрасли.

Целью рассматриваемой Главы 4 является описание разработанной методики автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазового комплекса,

ВКР УлГУ

основанной на математической модели распознавания пламени по видео протоколу, полученному с борта беспилотного воздушного судна [33].

Для этого подобрана летная платформа отечественного производства, способная решать задачи мониторинга, высота и скорость полета, алгоритм взаимодействия программы распознавания с технической частью аппарата, последовательность методики проведения мониторинга с учетом разработанных параметров, обеспечивающих соблюдение граничных условий модели. Активное развитие беспилотных аппаратов стало возможным, в том числе за счет использования микропроцессора, реализующего комплекс программ, управляющих полетом. Кроме них в современных моделях используются такие алгоритмы, как следование за объектом, облет препятствий, распознавание военной техники, человека [34].

Научная новизна предлагаемой методики – в использовании математической модели обнаружения пламени с борта беспилотного воздушного судна по видеоизображению, реализованной в программном комплексе «Видеодетектор пламени 2.0 FD», получившем свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Алгоритм обнаружения состоит из ряда взаимосвязанных фильтров и представлен в работе. Данной проблеме посвящено зарубежное исследование COMETS в котором задача обнаружения огня решалась несколькими аппаратами одновременно. В алгоритме принятия решения анализировалась информация с видеокамеры, тепловизора и инфракрасной камеры, расположенных на разных аппаратах. Задача обнаружения огня по видеоизображению со статично расположенной камеры решена в научных работах и реализована на ряде объектов в системе видеонаблюдения. При получении информации с борта воздушного судна точка наблюдения постоянно движется, создавая условия, неприменимые к разработанным системам. В отечественных исследованиях нет разработок, направленных на решение поставленной задачи [35].

Существуют инфракрасные камеры, способные на значительном расстоянии определить температуру и сообщить оператору о превышении порогового

ВКР УлГУ

значения. Но они имеют высокую стоимость относительно цифровых видеокамер, как правило, входящих в базовую комплектацию летательных аппаратов. Использование автоматизированной системы обнаружения позволяет уменьшить нагрузку на оператора и производить анализ видеопотока на борту аппарата без передачи сигнала на землю. В исследовании автоматизация мониторинга по видеопотоку проведена для линейных объектов нефтегазовой отрасли. При выборе беспилотной авиационной системы для реализации разработанного алгоритма учитывались следующие требования: аппарат самолетного типа, возможность движения устройства в автоматизированном режиме по полетному заданию, значительная дальность полета, отечественное производство. Также учитывалась специфика обследования магистральных газонефтепроводов и соответствие устройства этим целям. Другими словами, устройство должно быть известно потребителю, испытано, неоднократно применяться для целей мониторинга магистралей и желательно находиться на вооружении у организаций, эксплуатирующих газонефтепроводы [15].

Исходя из предъявляемых требований к качеству летной платформы беспилотного воздушного судна, используемого для целей мониторинга, рассмотрен аппарат отечественного производства Supercam S350 (Рисунок 15) – воздушное судно самолетного типа с размахом крыльев 3,2 м и дальностью полета не менее 240 км. Масса летательного аппарата с полезной нагрузкой (взлетный вес) – 9,5- 10,5 кг. Радиус действия радиолинии – 70 км. Аппарат производится на собственной технологической линии в городе Ижевск.

ВКР УдГУ



Рисунок 15 - Аппарат отечественного производства Supercam S350 [15]

Методика автоматического мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли с борта беспилотного воздушного судна, обеспечивающая снижения пожарной опасности, предупреждение пожаров и аварий, представлена в виде схемы на Рисунке 16.

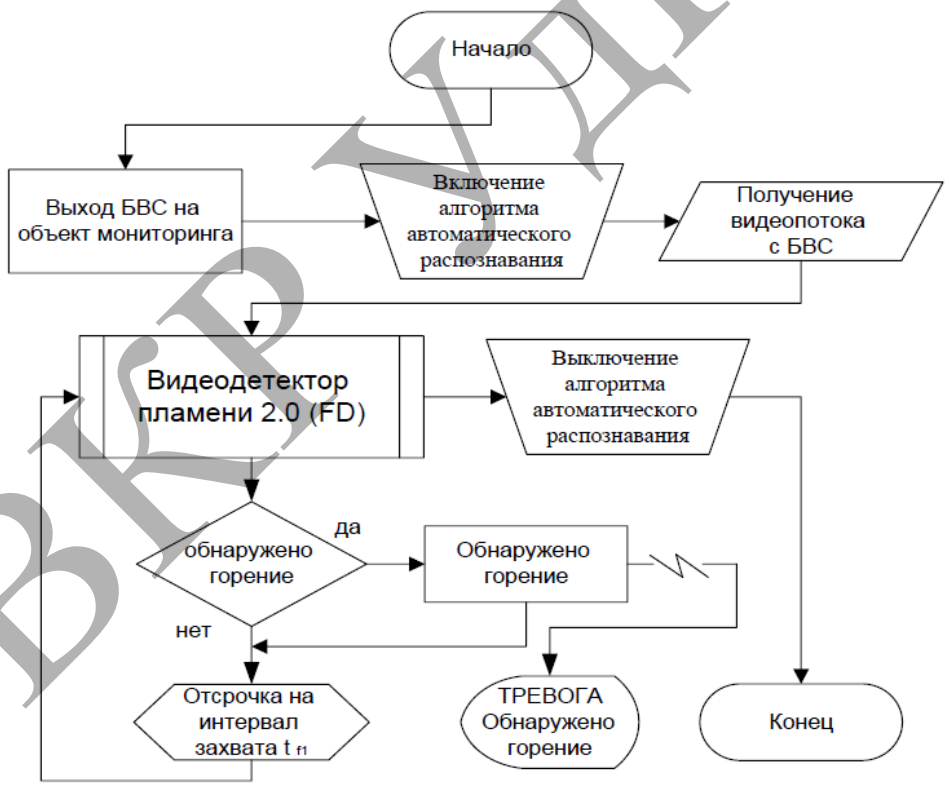

Рисунок 16 - Схема алгоритма методики применения беспилотных воздушных судов для мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли [15]

ВКР УдГУ

Методика реализуется следующим образом:

1. Подготовка к взлету. Сбор аппарата, эластичной катапульты, наземной станции управления (далее НСУ), наземного блока антенн для управления и телеметрии с приемником видеосигнала. Загрузка карты местности с перепадом высот, проверка аккумуляторов питания НСУ или подключения к системе питания;

2. Подключение питания к воздушному судну. Проверка связи с НСУ, зарядки аккумуляторов. Проведение предполетной подготовки, в том числе проверка датчиков воздушного давления и освещенности. Установка навесного оборудования (камеры) с выполнением проверочного снимка с НСУ;

3. Проверка погодных условий на соответствие эксплуатационным ограничениям: скорость ветра не выше 15 м/с, температура окружающего воздуха от -40 0С до +40 0С, дождь или снегопад умеренный. Также недопустимо эксплуатировать аппарат в грозу или при сильной кучевой облачности;

4. Запуск БВС осуществляется двумя операторами с площадки размером не менее 100 м на 100 м с помощью эластичной катапульты в режиме максимальной мощности двигателя. До подъема на рабочую высоту оператор на НСУ разблокирует парашют для раскрытия в случае проблем на взлете;

5. Выход аппарата на круг при достижении рабочей высоты. Загрузка полетного задания по мониторингу линейного объекта нефтегазовой отрасли. В задании учитывается геометрия трубопровода для обеспечения плавного угла поворота, который может быть осуществлен воздушным судном. Задание точки возврата исходя из максимального радиуса передачи радиоволны в 90 км;

6. Выход аппарата на полетное задание с последующим включением алгоритма автоматического распознавания пламени в ручном режиме или автоматическом режиме, в контрольных точках полетного задания;

7. Обработка поступающих данных. Алгоритм обнаружения пламени работает с видеопотоком, анализируя в соответствии с интервалом захвата. Видеозапись не записывается на носитель, а хранится в оперативной памяти в течение двух минут от момента записи. В случае положительного решения по первому

ВКР УлГУ

фильтру программа выгружает предшествующий интервал захвата и анализирует все кадры по алгоритму. В случае обнаружения пламени на твердотельную память записывается две минуты до обнаружения и две минуты после обнаружения. В случае положительного решения по первому фильтру записывается интервал захвата до и два интервала после;

8. Обнаружение горения. В этом случае по радиоканалу передается сигнал, «ТРЕВОГА, обнаружено горение, координаты, время, вид пожарной нагрузки, фотография обнаруженного очага». При наличии возможности производится передача фрагмента видеопотока с обнаруженной зоной горения. Место обнаруженного горения обозначается маркером на карте НСУ;

9. Принятие решения оператором по полученной информации. Могут быть приняты следующие решения: заход на круг для проверки информации на другой высоте, или визуальный осмотр места пожара с помощью телеметрии в режиме реального времени, или выгрузка видеопотока зоны обнаружения, или направление аварийной бригады на ликвидацию чрезвычайной ситуации;

10. Окончание полетного задания, возврат на точку взлета, приземление в автоматическом или ручном режиме [15].

Таким обозом, методика автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли позволяет проводить контроль в режиме реального времени, обеспечивая снижение пожарной опасности и предупреждение аварий. Предложенная методика выполняет задачи импортозамещения и максимально эффективно использует возможности БВС, проводя математическую обработку видеоизображения микропроцессором, находящимся на борту аппарата без необходимости передачи сигнала оператору. Также алгоритм использует цифровую видеокамеру стандартного разрешения, выполняя задачу обнаружения без специализированного оборудования. Это существенно снижает стоимость аппарата и открывает возможность широкой интеграции в существующие БВС за счет кроссплатформенности программного комплекса [15].

ВКР УлГУ

Соответственно можно сделать следующие выводы, предложен летательный аппарат отечественного производства, способный по тактико-техническим характеристикам реализовывать предложенный алгоритм мониторинга. Произведен расчет условий эксплуатации по высоте и скорости устройства, в которых обеспечиваются пороговые значения допуска модели. Выведена регрессионная модель интервала захвата кадра в зависимости от скорости аппарата. Обобщены эксплуатационные особенности и сведены в виде методики автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазового комплекса с беспилотного воздушного судна, обеспечивающей снижение пожарной опасности и предупреждение аварий.

ВКР УДГУ

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕННОГО РЕШЕНИЯ

5.1 Оценка экономической эффективности применения беспилотного воздушного судна

Эффективность проведения разведки, фото- и видеосъемки, осмотра нефтегазопроводов будет зависеть от экономической эффективности ее применения. Она будет включать в себя стоимость проведенной аэросъемки и эффект от ее получения. Возьмем конкретно затраченные средства для проведения сьемки и полученный результат, который так же будет необходимо сравнивать с возможностью получения его, используя другую технику и способы ведения осмотров или разведки [36].

Для определения экономической эффективности использования беспилотных летательных аппаратов по упрощенной схеме независимо от класса и модели введем коэффициент полезного использования. Коэффициент полезного использования беспилотного летательного аппарата (Пбпла) – это коэффициент применения БПЛА всех типов и моделей, используемых непосредственно для фото, аэросъемки или воздушной разведки на большой площади при проведении общественных мероприятий или пресечении массовых беспорядков (осмотре территории), рассчитываемый путем деления расчетной стоимости использования БПЛА за 1 час полета на количество осмотренных м2 площади контролируемого объекта. Коэффициент полезного использования при облете территории (стоимость часа полета (Q) /кол-во осмотренной территории Sосм) вычисляется по Формуле 2.

$$Пбпла = Q/ S осм \quad (2);$$

Коэффициент полезного использования беспилотного летательного аппарата (Пбпла) может быть использован как при определении эффективности разведки, фото, видеосъёмки, так и контроля. Результаты вычисления коэффициента

ВКР УДГУ

полезного использования беспилотного воздушного судна представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Коэффициент полезного использования БВС [36]

Наименование, марка летательного аппарата	МИ-8	МИ-26	Supercam S350
Экипаж	3	5	-
Количество обслуживающего персонала, чел	10	15	2
Оплата труда 1 специалиста, в среднем, тыс. руб.	175	650	10
Стоимость часа полета, тыс. руб.	45	150	20
Время беспосадочного полета, ч.	6	7	5
Требование наличия взлетной полосы	да	да	нет
Охват наблюдаемой территории за 1 час полета, кв. км	12	18	10
Коэффициент полезного	3,75	36,11	1,5

ВКР УдГУ

использования при облете территории, (стоимость часа полета/кол-во осмотренной территории, Пбпла)			

В ходе проводимых полетов БВС Supercam S350, заменяют по своим функциональным обязанностям работу 2 вертолетов МИ-8 с экипажем в 2 человека. В течение 1 часа они осматривают и контролируют территорию, равной площади одного среднестатистического стадиона 1400-1600 кв. м, проводя воздушную разведку, осуществляя аэросъемку и участвуя в координации действий наземных сил. Введенный автором коэффициент полезного использования беспилотного летательного аппарата (Пбпла) в данном случае будет равен 1,5, против 3,75(7,5) у вертолета МИ-8. Чем ниже коэффициент полезного использования, тем выше эффективность применяемого для контроля территории технического средства [36].

Учитывая, что для мониторинга применяются вертолеты типа Ми-8 имеющиеся в авиации МЧС и БВС можно произвести сравнительный анализ экономической эффективности их применения. Рассчитаем стоимость применения Ми-8 с тепловизором (СОН- 112-5) для проведения мониторинга пожароопасной обстановки. Мониторинг пожароопасной обстановки на вертолете проводится ежедневно в период с мая по середину сентября, что составляет около 135 дней полетов. Летный час на Ми-8 равен 45 000 рублей. Мониторинг проводится около 3 часов. Соответственно стоимость дневного полета составляет: 135 000 рублей. В 2025 году Авиационно-спасательным центром по мониторингу на вертолете типа Ми-8 было выполнено около 52

ВКР УлГУ

полетов с общим налетом 156 часов. Исходя из произведенного налета рассчитаем затраты на мониторинг, который составил:

ПМи-8 = 52*135 000= 7 020 000 рублей;

При применении БВС для проведения мониторинга пожароопасной обстановки, произведем расчет затрат на его использование.

Летный час на БПЛА составляет около 20 000 рублей.

Расчет производим для такого же количества часов как для вертолета Ми-8 стоимость использования составит:

Пбпла = 156 * 20 000 = 3 120 000 рублей;

Рассчитаем экономическую эффективность:

Пэфф= ПМи-8 – Пбпла = 7 020 000 - 3 120 000 = 3 900 000 рублей;

Из произведенных расчетов можно сделать выводы, что использование БВС, экономически выгодно из за большой стоимости использования вертолета МИ-8.

ВКР УлГУ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены следующие задачи. Проанализировано нормативное регулирование пожарной безопасности, сделаны выводы что, необходимо далее проводить исследования, направленные на гармонизацию существующих и разработку новых нормативных документов, на поиск новых высокоэффективных способов и средств обеспечения пожарной безопасности объектов защиты. Исследованы особенности нефтегазовых объектов в области пожарной опасности, рассмотрено что, минимизация пожарных рисков на объектах нефтегазодобывающих производств – это многогранная задача, требующая комплексного подхода. Научные исследования свидетельствуют о значимости оценки рисков, проектирования, инновационных технологий, обучения персонала и соблюдения стандартов. Рекомендовано продолжать активные научные исследования в этой области для улучшения методов и практик безопасности. Рассмотрена статистика возникновения пожаров на нефтегазовых объектах.

Проанализированы литературные источники в области пожарной безопасности, в том числе на нефтегазовых объектах, где указаны основные этапы развития гражданского применения беспилотных воздушных судов в мониторинге чрезвычайных ситуаций, применение беспилотных воздушных судов в МЧС России. Рассмотрена деятельность АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова, как объект анализа и дальнейшего практического применения методики применения БВС для обеспечения ПБ на нефтегазовых объектах. Разработана методика автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли с борта беспилотного воздушного судна. Проведена оценка экономической эффективности применения беспилотного воздушного судна, которая показала обоснованность применение и эффективность разработанной методики. Соответственно поставленные задачи выпускной квалификационной работы решены, цель достигнута.

ВКР УлГУ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогожа, В. А. Использование дронов и роботизированных систем для обеспечения безопасности объектов топливно- энергетического комплекса в Российской Федерации / В. А. Рогожа, П. А. Тульская // Правовое регулирование деятельности топливно-энергетического комплекса в современных условиях : Тезисы докладов III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Москва, 12 декабря 2024 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, 2025. – С. 132-136. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82730929 (дата обращения: 29.11.2025). – Текст: электронный.

2. Теоретические и практические аспекты развития современной науки: теория, методология, практика: Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Уфа, 19 февраля 2021 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2021. – 165 с. – URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44780206 (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

3. Конституция Российской Федерации (с изменениями на 4 октября 2022 года): дата введения: 01-07-2020: [Принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 1 июля 2020 года]. - URL : https://docs.cntd.ru/document/9004937 (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

4. Федеральный закон "О техническом регулировании" от 27.12.2002 N 184-ФЗ (последняя редакция): дата введения 2002-12-27: [Принят Государственной Думой 15 декабря 2002 года]. - URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

ВКР УлГУ

5. Федеральный закон "О пожарной безопасности" от 21.12.1994 N 69-ФЗ (последняя редакция): дата введения 1994 -12-21: [Принят Государственной Думой 18 ноября 1994 года]. - URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности": дата введения 2008-07-22: [Принят Государственной Думой 4 июля 2008 года]. - URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/6e24082b0e98e57a0d005f9c20016b1393e16380/ (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

7. Приказ МЧС России от 26.06.2024 N 533 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах": дата введения 2024-06-24: [Зарегистрировано в Минюсте России 2 сентября 2024 г. N 79360]. - URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_485176/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddf518/ (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

8. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 03.02.2025) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации": дата введения 2020-09-16: [Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 года N 1479]. - URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

9. Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Приказ от 26 декабря 2013 года N 837 Об утверждении свода правил "Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности": дата введения 2014-01-01: [Утвержден И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом МЧС России от 26 декабря 2013 г. N 837]. - URL : https://docs.cntd.ru/document/1200108948?marker=7D20K3 (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

ВКР УлГУ

10. Рузаев, С. Н. Обеспечение пожарной безопасности на объектах нефтегазовой промышленности / С. Н. Рузаев, К. А. Кречетов // Актуальные вопросы обеспечения комплексной безопасности : Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 35-летию МЧС России и 95-летию Оренбургского ГАУ, Оренбург, 23 мая 2025 года. – Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2025. – С. 395-397. – URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=83059418 (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

11. Техносферная безопасность в XXI веке : Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Иркутск, 20–22 ноября 2024 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2024. – 357 с. – URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80386337 (дата обращения: 30.11.2025). – Текст: электронный.

12. Особенности протекания крупных пожаров на объектах нефтегазового комплекса и методика снижения аварийной эмиссии CO2 / Е. А. Басова, С. Г. Ивахнюк, Л. А. Королева, В. В. Семенов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2024. – Т. 8, № 3. – С. 325-336. – URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68609310 (дата обращения: 01.12.2025). – Текст: электронный.

13. Вытовтов, А. В. Применение беспилотных летательных аппаратов при проведении культурно массовых мероприятий / А. В. Вытовтов, В. В. Шумилин, А. В. Калач // Computational Nanotechnology. – 2015. – № 4. – С. 69-73. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=25216503 (дата обращения: 02.12.2025). – Текст: электронный.

14. Брусянин, Д. В. Применение транспортных беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС России / Д. В. Брусянин, О. Г. Булатов, А. Б. Жернаков // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение безопасности при чрезвычайных ситуациях : Материалы VII

ВКР УлГУ

Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 24 сентября 2015 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2015. – С. 127-130. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=37541387 (дата обращения: 02.12.2025). – Текст: электронный.

15. Вытовтов, А. В. Методика применения беспилотных воздушных судов для обеспечения пожарной безопасности на нефтегазовых объектах / А. В. Вытовтов, А. В. Калач // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Воронеж, 23–24 мая 2018 года. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2018. – С. 264-267. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=35656874 (дата обращения: 03.12.2025). – Текст: электронный.

16. Строительство и обустройство объектов нефтегазовой отрасли на основе модернизации и ресурсосбережения / Г. А. Булычев, О. В. Бурлаченко, Ф. Г. Булычев [и др.] ; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2017. – 297 с. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=30615849 (дата обращения: 03.12.2025). – Текст: электронный.

17. Кирсанов, А. И. Инновации в области обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов / А. И. Кирсанов, В. П. Инчиков // Территория Нефтегаз. – 2015. – № 3. – С. 98-99. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=23420022 (дата обращения: 03.12.2025). – Текст: электронный.

18. Цариченко, С. Г. Обоснование необходимости применения робототехнических средств для повышения тактических возможностей пожарных подразделений / С. Г. Цариченко, А. Н. Денисов, К. С. Власов // Пожарная

ВКР УлГУ

безопасность. – 2014. – № 4. – С. 53-60. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=22590649 (дата обращения: 03.12.2025). – Текст: электронный.

19. Степанов, Р. А. Перспективы развития и применения беспилотных воздушных судов в МЧС России / Р. А. Степанов, Д. С. Белкин, А. С. Перевалов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2017. – № 2(42). – С. 36-43. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=30485644 (дата обращения: 03.12.2025). – Текст: электронный.

20. О Копмании // АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова [офиц.сайт]. - © 2006—2021 АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова - URL : https://www.belkamneft.ru/about/ (дата обращения: 04.12.2025).- Текст: электронный.

21. Арланское месторождение // Нефтегаз.ру [офиц.сайт]. - © Neftegaz.RU 2000 – 2025 - URL : https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/505965-arlanskoe-mestorozhdenie/ (дата обращения: 04.12.2025).- Текст: электронный.

22. Хабибулин, Р. Ш. Интеллектуализация управления пожарной безопасностью на объектах хранения нефти и нефтепереработки / Р. Ш. Хабибулин // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2015. – Т. 1, № 1(6). – С. 29-31. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=26717074 (дата обращения: 05.12.2025).- Текст: электронный.

23. Актуальные вопросы обеспечения безопасности процессов транспортировки и хранения нефти и нефтепродуктов / В. В. Кокорин, Е. А. Контобойцев, М. Г. Контобойцева, Ф. Ш. Хафизов // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 4(148). – С. 13-16. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=18950430 (дата обращения: 05.12.2025).- Текст: электронный.

24. Исследование воздействия электромагнитного поля высокой выдержкой пламени / Ф. Ш. Хафизов, А. В. Пермяков, И. Ф. Хафизов [и др.] // Проблемы сбора, подготовки и транспортировки нефти и нефтепродуктов. – 2016. – №

ВКР УлГУ

2(104). – С. 105-110. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=26538795 (дата обращения: 06.12.2025).- Текст: электронный.

25. Проблемы нормирования в области пожарной безопасности нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий / Д. М. Гордиенко, В. Л. Малкин, В. А. Колосов [и др.] // Пожарная безопасность. – 2015. – № 3. – С. 126-128. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=24278245 (дата обращения: 06.12.2025).- Текст: электронный.

26. Королев, Д. С. Методика прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки для обеспечения пожарной и промышленной безопасности : специальность 05.26.03 "Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Королев Денис Сергеевич. – Воронеж, 2017. – 22 с. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=30443923 (дата обращения: 06.12.2025).- Текст: электронный.

27. Посошков, П. И. Импортозамещение в нефтегазовой отрасли как фактор повышения уровня экономической безопасности России / П. И. Посошков // Актуальные проблемы труда и развития человеческого потенциала : МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ. Том Выпуск № 15. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2017. – С. 95-98. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=30786340 (дата обращения: 07.12.2025).- Текст: электронный.

28. Вытовтов, А. В. Распознавание области горения на черно-белом статическом изображении, полученном с борта беспилотного воздушного судна / А. В. Вытовтов, В. В. Шумилин, А. В. Калач // Техносферная безопасность. – 2018. – № 2(19). – С. 12-24. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=35433970 (дата обращения: 08.12.2025).- Текст: электронный.

29. Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность : тезисы докладов. X Молодежная международная научно-практическая конференция, п. Развилка, 24–26 мая 2022 года. – п. Развилка: Общество с ограниченной

ВКР УлГУ

ответственностью "Научно- исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ", 2022. – 164 с. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=48731077 (дата обращения: 09.12.2025).- Текст: электронный.

30. Ермекбай, А. Т. Пожарная безопасность на объектах нефтяной промышленности / А. Т. Ермекбай // Актуальные вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов различного назначения : сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 31 мая 2023 года / Межотраслевой научно-информационный центр Пензенского государственного аграрного университета. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 67-70. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=54169275 (дата обращения: 09.12.2025).- Текст: электронный.

31. Цариченко, С. Г. Беспилотные летательные аппараты, как средство повышения эффективности оперативно-тактической деятельности пожарно-спасательных подразделений / С. Г. Цариченко, Н. С. Родиченко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 1(162). – С. 14-23. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=23168854 (дата обращения: 10.12.2025).- Текст: электронный.

32. Разиньков, С. Ю. Разработка состава комплекса оперативного управления беспилотных летательных аппаратов для мониторинга природных и техногенных явлений в режиме реального масштаба времени / С. Ю. Разиньков, А. В. Вытовтов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2015. – Т. 1, № 1(6). – С. 76-79. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=26717091 (дата обращения: 10.12.2025).- Текст: электронный.

33. Вытовтов, А. В. Перспективы использования БПЛА для обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли / А. В. Вытовтов, С. Ю. Разиньков // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 1-1(6).

ВКР УлГУ

– С. 19-21. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=25603908 (дата обращения: 10.12.2025).- Текст: электронный.

34. Международный опыт технического нормирования при проектировании систем противопожарной защиты резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов / Д. Л. Бастриков, Б. Ж. Битуев, В. П. Молчанов, С. С. Воевода // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 4(56). – С. 5. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=23105872 (дата обращения: 11.12.2025).- Текст: электронный.

35. Информационная база контроля состояния пожарной безопасности на объектах газодобычи / Е. В. Попова, Е. М. Абуталипова, Д. Е. Бугай [и др.] // Проблемы сбора, подготовки и транспортировки нефти и нефтепродуктов. – 2015. – № 4(102). – С. 199-208. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=26160311 (дата обращения: 11.12.2025).- Текст: электронный.

36. Осипенко, А. А. Оценка экономической эффективности применения беспилотных воздушных судов при выполнении служебно-боевых задач / А. А. Осипенко, Р. Ю. Пономарев // Яковлевские чтения : Сборник научных статей II Межведомственной научно-практической конференции с международным участием. В 2-х частях, Новосибирск, 21–22 марта 2023 года / Под общей редакцией В.В. Косухина. Том Часть 2. – Новосибирск: Новосибирский военный институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации, 2023. – С. 209-215. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=53865620 (дата обращения: 14.12.2025).- Текст: электронный.

37. Николаев, Д. В. Методы мониторинга пожарной опасности объектов нефтегазовой отрасли / Д. В. Николаев, Р. Е. Марчук, Д. Ю. Легенький // Проблемы науки. – 2020. – № 1(49). – С. 8-12. – URL : https://elibrary.ru/item.asp?id=42459264 (дата обращения: 05.01.2026).- Текст: электронный.

ВКР УлГУ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Схема алгоритма математической модели автоматического распознавания пламени с борта беспилотного воздушного судна

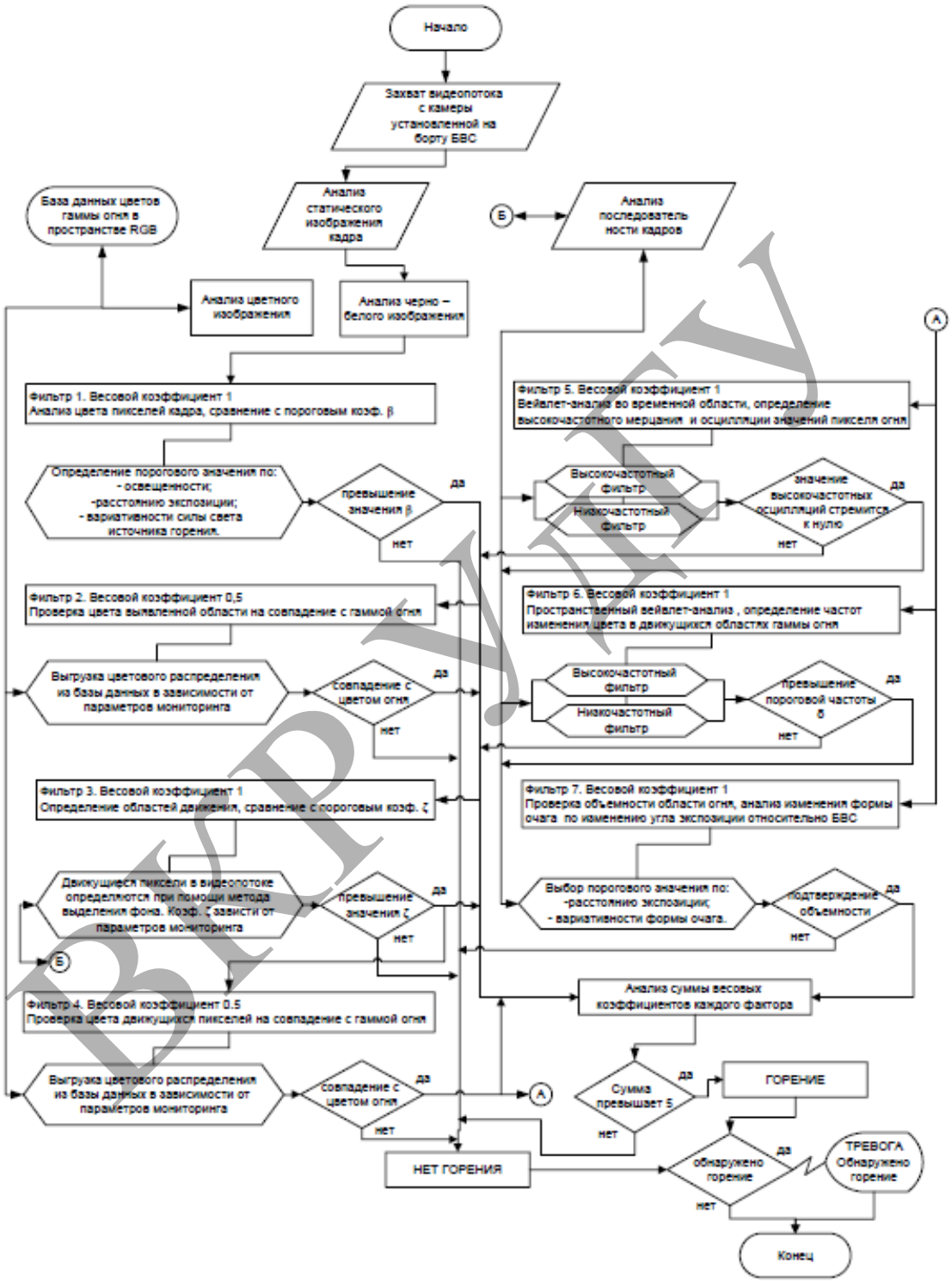

Рисунок 8 - Схема алгоритма математической модели автоматического распознавания пламени с борта беспилотного воздушного судна

ВКР УлГУ

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Алгоритм распознавания области огня в черно-белом статическом изображении с борта беспилотного воздушного судна

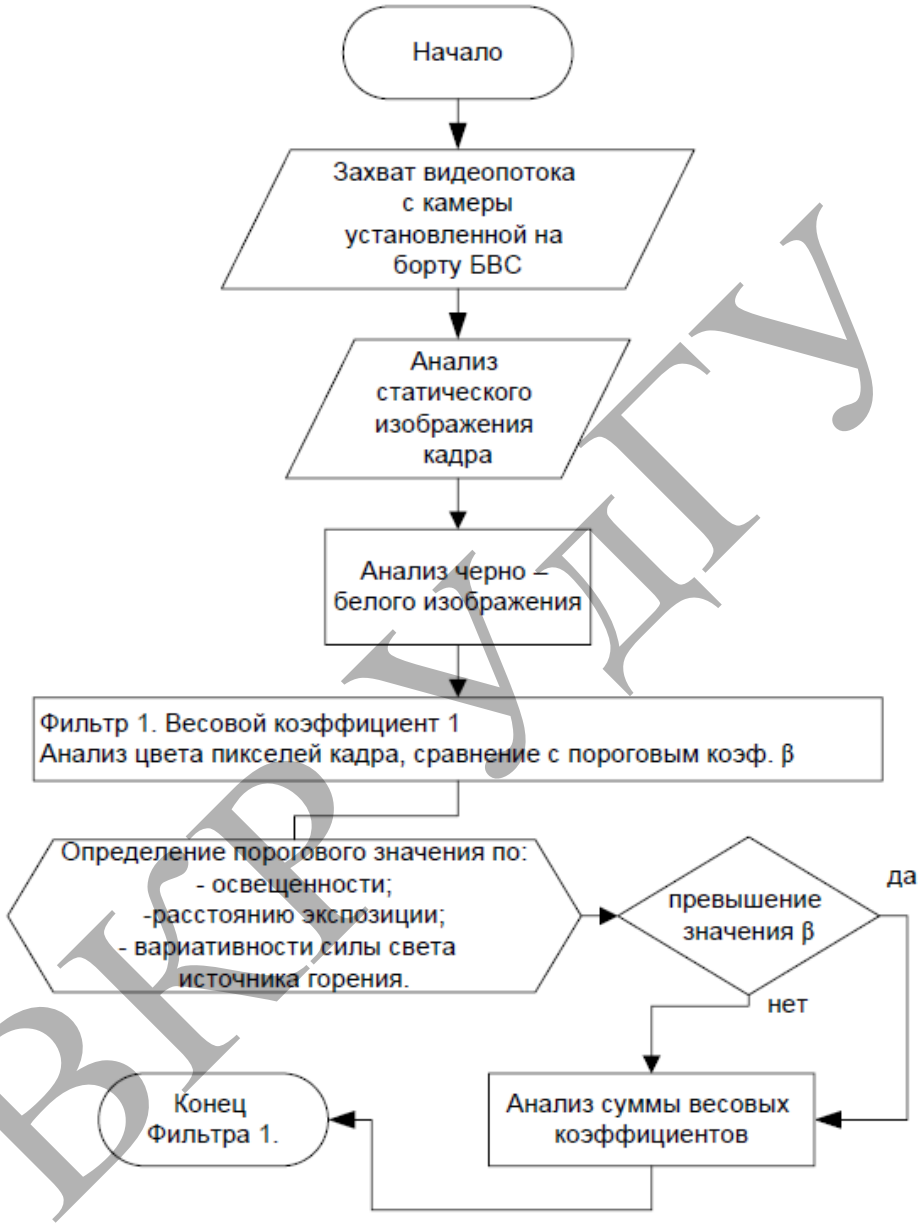

Рисунок 9 - Алгоритм распознавания области огня в черно-белом статическом изображении с борта беспилотного воздушного судна

ВКР УдГУ