

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права

УДК 614.8; 681.7.08:535.3

СИЗИКОВ
Алексей Сергеевич

**СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И РАЗЛИВОВ
НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий (технические науки)**

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Беляев Ю.В.

Минск, 2023

Научная работа выполнена в Государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Научный руководитель

Беляев Юрий Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий лабораторией оптико-физических
измерений Научно-исследовательского
учреждения «Институт прикладных
физических проблем имени А.Н. Севченко»
Белорусского государственного университета,
г. Минск

Официальные оппоненты:

Борботько Тимофей Валентинович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой защиты информации
Учреждения образования «Белорусский
государственный университет информатики
и радиоэлектроники», г. Минск

Хижняк Александр Вячеславович,
кандидат технических наук, доцент, начальник
кафедры автоматизированных систем
управления войсками Военной академии
Республики Беларусь, г. Минск

Оппонирующая организация:

**Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики
Национальной академии наук Беларуси»**,
г. Минск

Защита состоится «25» сентября 2023 г. в 14⁰⁰ на заседании Совета по защите диссертаций К 02.18.01 при Межгосударственном образовательном учреждении высшего образования «Белорусско-Российский университет» по адресу: Республика Беларусь, 212022, г. Могилев, пр-т Мира, 43, ауд. 323, телефон ученого секретаря +375 (222) 60-33-66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусско-Российского университета.

Автореферат разослан «25» августа 2023 г.

Ученый секретарь

Совета по защите диссертаций

кандидат технических наук, доцент



С.В. Болотов

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Беларуси разрабатываются и широко используются технические средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), применяемые при ведении аэрокосмического мониторинга. Вместе с тем имеет место необходимость научно обоснованного совершенствования методической и методологической базы, позволяющей повысить качество осуществления авиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера. Из-за того, что информации, получаемой только в видимом диапазоне средствами фото- и видеофиксации с борта летательного аппарата (ЛА) не всегда оказывается достаточно, в ряде случаев не удается верно идентифицировать зону или объект ЧС, что значительно затрудняет принятие правильных управленческих решений по предупреждению и ликвидации ЧС, их последствий. Например, не всегда представляется возможным провести принципиальное различие между пятном выгоревшей сухой травы и нефтяным загрязнением верхнего слоя почвы во время визуального наблюдения с борта ЛА. Кроме этого, представляется достаточно сложным определение площади и границ низового или торфяного лесного пожара с борта ЛА, так как верхний слой почвы, кроны деревьев, плотный дым создают условия плохой видимости, препятствуя наблюдению и фиксации указанных контролируемых параметров.

С учетом изложенного вопросы объективной и качественной идентификации зон и объектов ЧС на основе их спектральных характеристик, эффективного применения методов повышения качества изображений и термограмм при использовании тепловизионных технических средств для осуществления авиационного мониторинга ЧС природного и техногенного характера представляются весьма актуальными. Решение данных задач позволит своевременно и верно оценить складывающуюся оперативную обстановку и принять правильное управленческое решение по ликвидации ЧС и их последствий.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Исследования, составившие основу диссертационной работы, выполнялись в:

учреждении «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь в рамках:

НИР «Провести оценку параметров систем дистанционного зондирования и методов обработки данных, используемых для мониторинга зон чрезвычайных ситуаций (ЧС). Осуществить анализ алгоритмов обработки и отображения видеоспектральной информации, получаемой системами мониторинга зон ЧС» (2013 г.);

НИР «Определение спектральных зон дистанционного оптического мониторинга ЧС на примере определения и анализа спектров отдельных веществ» (2014 г.);

НИР «Подготовить эталонные образцы загрязнений поверхности Земли, возникающих вследствие ЧС, и осуществить лабораторные измерения их спектральных характеристик» (2015 г.);

научно-исследовательском учреждении «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ в рамках реализации заданий:

ГНТП «Эталонные и научные приборы» подпрограмма «Уникальное научное оборудование» на 2016–2020 гг. «Разработать комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов для центра коллективного пользования» № г.р. 20164554 от 19.12.2016 г. (2016–2019 гг.);

ГПНИ «Информатика, космические исследования и научное обеспечение безопасности человека, общества и государства» подпрограмма «Научное обеспечение защиты от чрезвычайных ситуаций и судебно-экспертной деятельности» на 2016–2020 гг. «Исследование зависимости идентификации объектов земной поверхности от параметров авиасъемки и разработка новых методик обнаружения потенциально опасных явлений» № г.р. 20163152 от 11.08.2016 г. (2016–2020 гг.).

Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработать методическое обеспечение для определения контролируемых параметров ЧС природного и техногенного характера при осуществлении авиационного мониторинга для повышения эффективности применения данных пассивного оптического зондирования зон лесных пожаров, разливов нефтепродуктов при принятии управленческих решений по ликвидации ЧС и их последствий.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. *Определить и апробировать* методы повышения качества изображений, полученных с помощью технических средств авиационного мониторинга ЧС природного и техногенного характера;

2. *Разработать* алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров, основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по методике, основанной на оценивании неопределенности и использовании низкотемпературного рабочего эталона АЧТ;

3. *Разработать* комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов и *провести* на нем лабораторные исследования образцов, имитирующих последствия лесных пожаров и техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов;

4. *Разработать* методику определения контролируемых параметров лесных пожаров посредством авиационного мониторинга;

5. *Разработать* методику определения контролируемых параметров техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга.

Объект исследования – ЧС природного и техногенного характера, в частности лесные пожары, аварии, связанные с разливом (утечкой) нефтепродуктов.

Предмет исследования – спектральные, энергетические и пространственные характеристики зон лесных пожаров, разлива нефтепродуктов, регистрируемые в виде изображений, термограмм и спектров.

Научная новизна

Разработан алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров, основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике, основанной на оценивании неопределенности и использовании низкотемпературного рабочего эталона АЧТ, позволяющей точно определить градиент значений температуры при суммарной стандартной неопределенности результата измерений от 1,4 до 2,0 °С, что практически в 2,5 раза лучше минимально допустимого, для повышения достоверности и качества термограмм лесных пожаров.

Создан комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов, отличающийся от зарубежных аналогов тем, что содержит измерительный модуль на основе двух спектрометров диапазона длин волн 350–1 050 нм и 1 050–2500 нм, выполненный с возможностью использования поляризационных насадок, раму и штангу для перемещения измерительного модуля и источника коллимированного излучения в вертикальной плоскости, вращающиеся платформу с шаговым двигателем и лабораторный стол для размещения исследуемых образцов, имитирующих реальные объекты ЧС (разлив нефтепродуктов, последствия лесного пожара), и получения их спектральных характеристик для верификации данных ДЗЗ, что позволяет повысить достоверность результатов авиационного мониторинга ЧС.

Определено, что зависимости значений коэффициента спектральной яркости (КСЯ) загрязненных нефтепродуктами образцов от времени и процентного содержания нефти (5–15 %) практически отсутствуют, а диапазон 600–850 нм является наиболее информативным для таких измерений (при углах визирования β от 0° до 40°). Выявлена зависимость степени поляризации отраженного излучения от величины термического повреждения древесины: при полном сгорании до угольной фазы (гарь) степень поляризации увеличивается практически в 2 раза по сравнению с частично поврежденной (горельник) и ее максимальные значения (30–40 % и 15–20 % соответственно) регистрируются в диапазоне длин волн 500–700 нм в плоскости солнечного вертикала при углах визирования, близких по значению, но противоположных по знаку к углу падения солнечного излучения. Выявлены зависимости спектрально-поляризационных характеристик отраженного излучения от углов

визирования образцов, имитирующих зоны разливов нефтепродуктов, позволяющие регистрировать значения степени поляризации нефтяного разлива на воде 40–50 % в диапазоне длин волн 500–700 нм при оптимальных углах наблюдения, близких к зеркальным по отношению к углу падения излучения в плоскости солнечного вертикала, что до 5 раз выше аналогичных значений (8–10 %) при визировании в плоскости, перпендикулярной к плоскости солнечного вертикала.

Впервые разработаны: «Методика определения контролируемых параметров лесных пожаров посредством авиационного мониторинга» и «Методика определения контролируемых параметров техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга», основанные на методах повышения качества изображений, полученных с помощью технических средств авиационного мониторинга ЧС, алгоритме повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров за счет улучшения точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике, а также на результатах научных исследований по определению спектрально-поляризационных характеристик лабораторных образцов, имитирующих последствия ЧС, позволяющие в плоскости солнечного вертикала в диапазоне длин волн 500–700 нм регистрировать максимальные значения степени поляризации отраженного излучения: 30–40 % для гари, 15–20 % для горельника и 40–50 % для нефтяного разлива на водной поверхности при оптимальных углах наблюдения близких к зеркальному по отношению к углу падения солнечного излучения, а также до 2 раз повысить точность идентификации объектов авиационного мониторинга зон ЧС природного и техногенного характера для принятия правильного управленческого решения по их ликвидации.

Положения, выносимые на защиту

1. Алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров, основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике, основанной на оценивании неопределенности и использовании низкотемпературного рабочего эталона АЧТ, позволяющей точно определить градиент значений температуры при суммарной стандартной неопределенности результата измерений от 1,4 °С до 2,0 °С, что практически в 2,5 раза лучше минимально допустимого, для повышения достоверности и качества термограмм лесных пожаров и принятия правильного управленческого решения по их ликвидации.

2. Комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов и результаты лабораторных исследований образцов, имитирующих реальные объекты ЧС (разливы нефтепродуктов, последствия лесного пожара), полученные на данном комплексе с использованием поляризационных насадок при различных условиях (углах освещения, наблюдения, концентрации загрязняющих веществ, времени, прошедшем после загрязнения, степени

термического повреждения древесины) для верификации данных ДЗЗ, позволяющие до 2 раз повысить точность идентификации объектов авиационного мониторинга зон ЧС природного и техногенного характера.

3. Установленная зависимость повышения степени поляризации отраженного излучения от увеличения степени термического повреждения древесных элементов, позволяющая в диапазоне длин волн 500–700 нм регистрировать максимальные значения степени поляризации для горельника 15–20 % и для гари 30–40 %, и разработанная на ее основе Методика определения контролируемых параметров лесных пожаров посредством авиационного мониторинга.

4. Установленные зависимости спектрально-поляризационных характеристик отраженного излучения от углов визирования образцов, имитирующих зоны разливов нефтепродуктов, обеспечивающие регистрацию значений степени поляризации нефтяного разлива на воде 40–50 % в диапазоне длин волн 500–700 нм при оптимальных углах наблюдения, близких к зеркальным по отношению к углу падения излучения в плоскости солнечного вертикала, что до 5 раз выше аналогичных значений (8–10 %) при визировании в плоскости, перпендикулярной к плоскости солнечного вертикала, и разработанная на их основе Методика определения контролируемых параметров техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга.

Личный вклад соискателя ученой степени

Основные результаты, вошедшие в диссертационную работу, получены автором самостоятельно. Руководитель, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией оптико-физических измерений Ю.В. Беляев участвовал в постановке цели и задач, выборе и анализе методов их решения, а также в обсуждении полученных результатов. Диссертационные исследования проводились при тесном взаимодействии и сотрудничестве с лабораторией оптико-физических измерений Научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета (НИИ ПФП им. А.Н.Севченко БГУ) и на ее базе.

Личный вклад соискателя заключается в:

– определении и апробации методов повышения качества изображений, полученных с помощью технических средств авиационного мониторинга ЧС природного и техногенного характера;

– разработке алгоритма повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров, основанного на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике, основанной на оценивании неопределенности и использовании низкотемпературного рабочего эталона АЧТ, для повышения достоверности и качества термограмм лесных пожаров и принятия правильного управленческого решения по их ликвидации;

– разработке комплекса для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и

искусственных объектов и в проведении на нем лабораторных исследований образцов, имитирующих реальные объекты ЧС (разливы нефтепродуктов, последствия лесного пожара);

– разработке методик определения контролируемых параметров лесных пожаров, а также техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга.

Соавторам принадлежат результаты обсуждений и анализа полученных результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные результаты проделанной работы в рамках диссертационного исследования доложены и обсуждены на Международных научно-практических конференциях «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (г. Гомель, Беларусь, 2012 и 2014); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы технических и социально-гуманитарных наук в обеспечении деятельности службы гражданской защиты» г. Черкассы, Украина, 2013 г.); XI Международной научно-практической конференции «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – 2013» (г. Киев, Украина, 2013 г.); IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (г. Кокшетау, Республика Казахстан, 2013 г.); III Международной конференции «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: настоящее и будущее» в рамках форума «Безопасность и связь» (г. Казань, Россия, 2014 г.); IV Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, Россия, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Гражданская защита в Республике Казахстан: состояние, проблемы, перспективы», посвященной 20-летию Дня спасателя (г. Алматы, Республика Казахстан, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Прикладные аспекты техногенно-экологической безопасности» (г. Харьков, Украина, 2015 г.); VII Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (г. Минск, Беларусь, 2016 г.); VIII Международной научно-практической конференции «Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (г. Черкассы, Украина, 2017 г.); XXIX Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России «Горение и проблемы тушения пожаров» (г. Москва, Россия, 2017 г.); XIV международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей и адъюнктов (аспирантов, соискателей) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (г. Минск, Беларусь, 2020 г.); XXXII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Москва, 2020 г.), VIII Белорусском космическом конгрессе (г. Минск, Беларусь, 2022 г.).

Опубликование результатов диссертации

Результаты диссертации опубликованы в 36 научных работах, в том числе 19 статей, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 13,5 авторских листа, а также 17 статей в сборниках тезисов и материалов докладов (научных трудов) международных конференций. Получен патент на полезную модель «Комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов».

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из перечня сокращений и обозначений, введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка, приложений. Работа изложена на 140 страницах; 48 рисунков занимают 29 страниц, 14 таблиц – 11 страниц, 7 приложений – 8 страниц. Библиографический список состоит из 125 наименований, включая собственные публикации автора.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе «Системы дистанционного зондирования оптического диапазона для мониторинга зон ЧС природного и техногенного характера» приведен анализ существующих технических средств мониторинга ЧС, а также методов определения их контролируемых параметров. Рассмотрены классификация, типы и характеристики используемой при ДЗЗ аппаратуры. Проведен сравнительный анализ гониометрических лабораторных установок для измерений спектральных характеристик объектов ЧС.

Рассмотрены перспективы их использования для определения контролируемых параметров ЧС при авиационном мониторинге. Проанализированы методы исследований спектральных маркеров объектов ЧС. Обоснована актуальность использования методов повышения качества изображений, полученных аппаратурой с борта ЛА, а также повышения точности тепловизионных средств путем разработки методик их калибровки. Обоснована перспективность разработки методического обеспечения для определения контролируемых параметров ЧС посредством авиационного мониторинга за счет использования видеоспектральной информации для принятия верных решений по ликвидации ЧС и их последствий, определены цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе «Повышение эффективности авиационного мониторинга ЧС путем использования методов повышения качества получаемых изображений и термограмм объектов ЧС» рассмотрены и апробированы методы повышения качества изображений, полученных авиационной спектральной системой «АВИС» с борта ЛА, в том числе поэлементная обработка изображений, линейное контрастирование, степенные и логарифмические преобразования яркости, пороговая обработка, повышение резкости термограмм за счет подъема уровня высоких частот спектра

изображения, а также поэлементная обработка цветных изображений. Приведены результаты применения данных методов, позволившие повысить контраст изображений от 10% до 30%, и обосновано их использование при авиационном мониторинге для лучшего распознавания зон и объектов ЧС.

Обоснована актуальность и приведены основные положения разработанной методики калибровки тепловизионного оборудования, используемого с борта ЛА, при определении контролируемых параметров ЧС (на примере тепловизора Flir A615, входящего в состав «АВИС»), основанной на оценивании неопределенности и использовании низкотемпературного рабочего эталона АЧТ.

Разработана и приведена схема осуществления калибровки тепловизионного оборудования, применяемого при авиационном мониторинге ЧС, обеспечивающей получение корректных тепловизионных данных, имеющих прослеживаемость к Государственным первичным эталонам единицы температуры (рисунок 1).

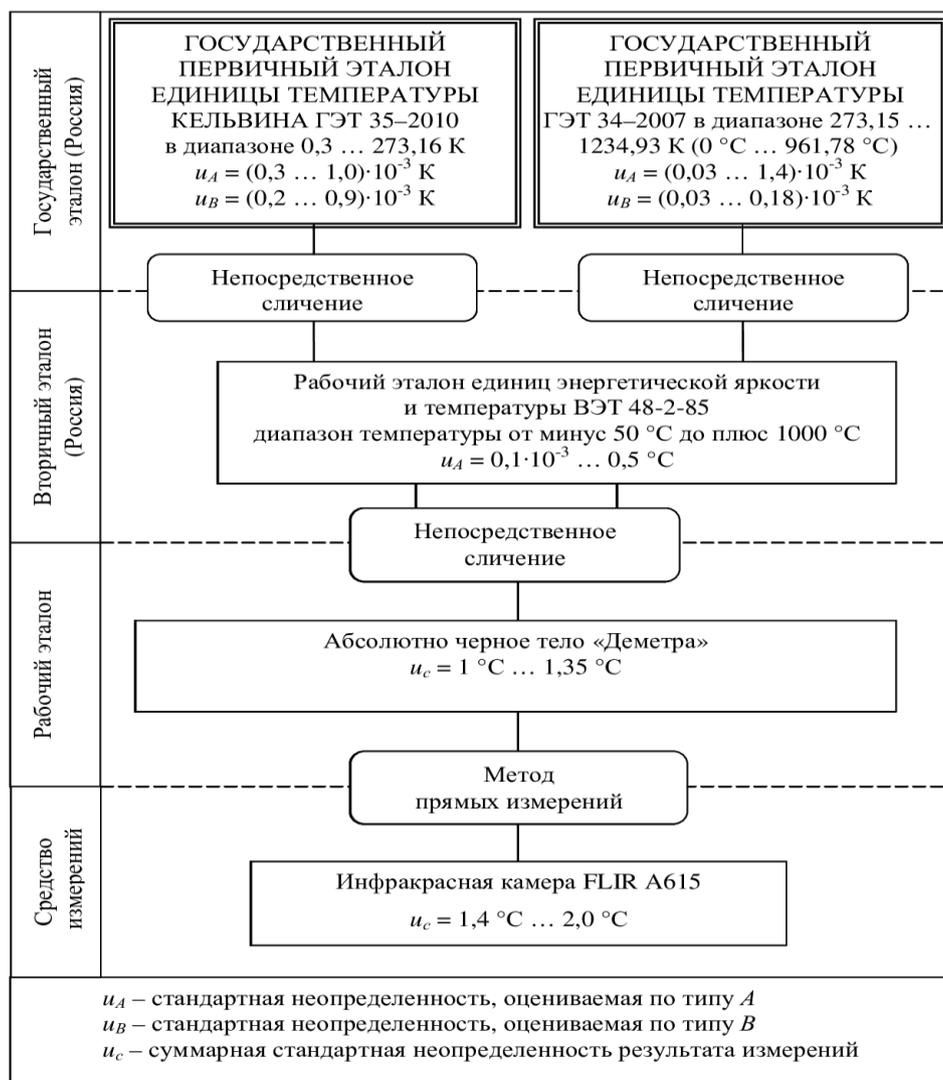


Рисунок 1 - Схема осуществления калибровки тепловизионного оборудования

Обоснована актуальность и приведен разработанный алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров (рисунок 2), основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике.

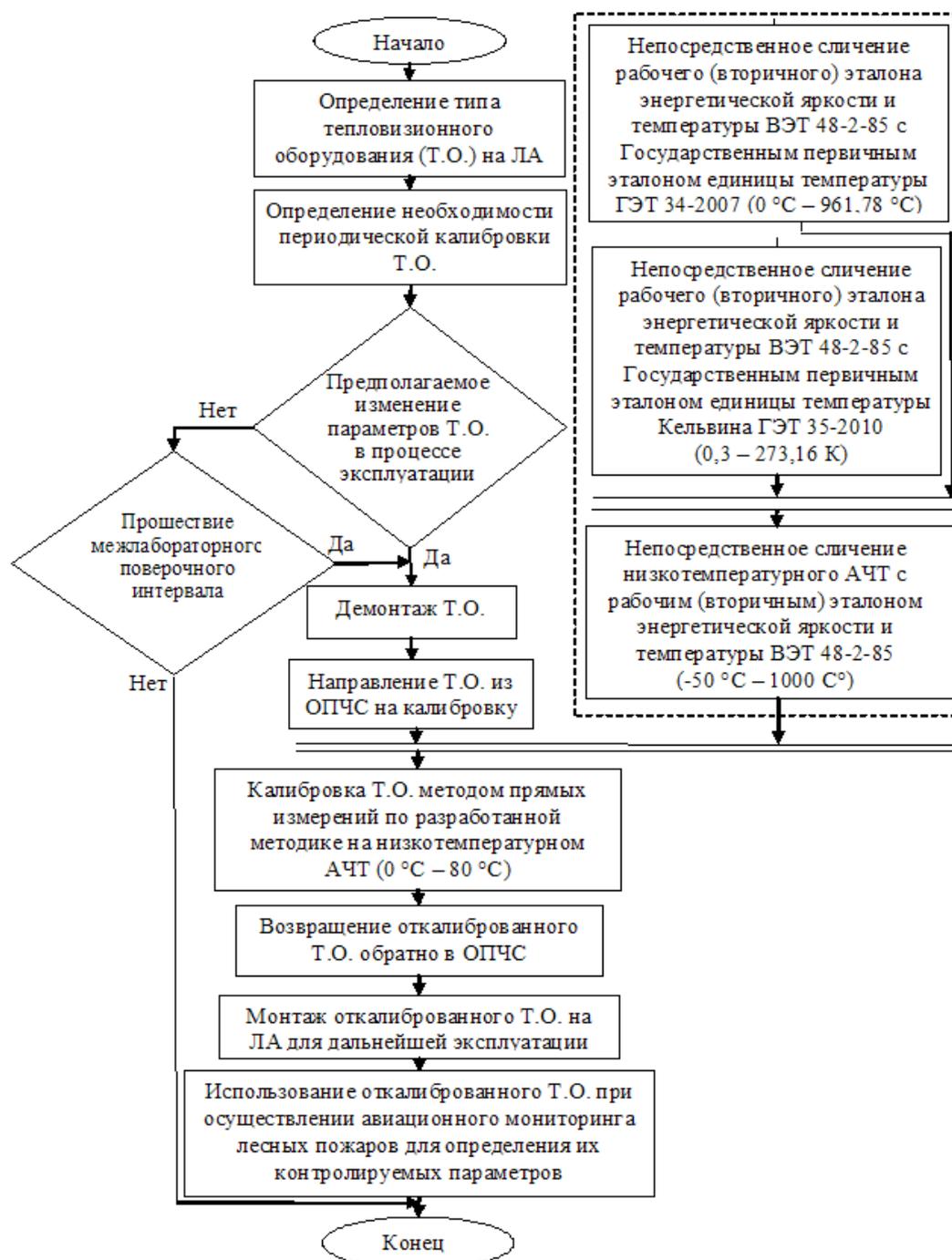


Рисунок 2 – Алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров, основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, используемого при ДЗЗ

Определено, что при калибровке тепловизионного оборудования по разработанной методике обеспечивается возможность определения градиента температурных значений при суммарной стандартной неопределенности результата измерений от 1,4 до 2,0 °С, что практически в 2,5 раза лучше

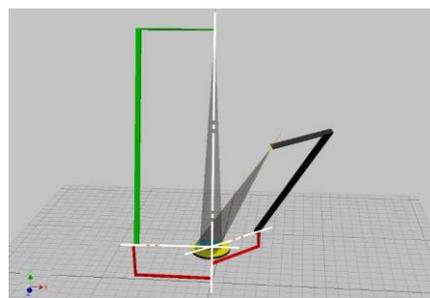
минимально допустимого ($5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и позволяет повысить достоверность, качество термограмм лесных пожаров.

Отмечено, что решение задач качественного выделения зон ЧС, определения их контролируемых параметров обеспечивает принятие грамотного решения по ликвидации ЧС, их последствий, что становится возможным благодаря получению достоверных цифровых карт тепловых изображений в абсолютных единицах радиационной температуры.

В третьей главе «Лабораторные исследования с использованием средств для определения спектральных характеристик объектов ЧС» описывается разработка отечественного оригинального комплекса «Визир», позволяющего определять двунаправленные спектрополяризационные коэффициенты отражения природных и искусственных объектов (рисунок 3). Комплекс обеспечивает получение в лабораторных условиях спектральных характеристик образцов, имитирующих реальные объекты ЧС (разливы нефтепродуктов, последствия лесных пожаров и др.), для верификации данных ДЗЗ, что способствует повышению достоверности результатов авиационного мониторинга при определении контролируемых параметров ЧС.



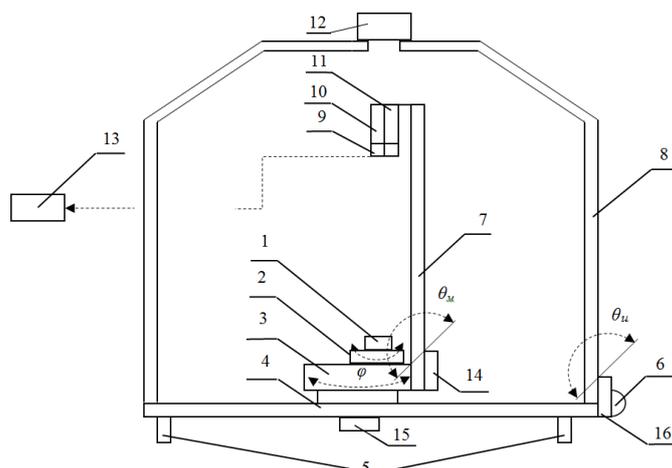
а



б

Рисунок 3 – Внешний вид комплекса «Визир» (а) и 3D-схема качания по зенитным углам кран-штативов (оси вращения – белым цветом) (б)

Приводятся состав и характеристики комплекса, обосновываются и описываются его конструкция (рисунок 4) и принцип работы. Отмечается, что зенитное сканирование источником коллимированного излучения 12 (угол θ_n) и измерительным модулем на базе спектрометров 10, 11 (угол θ_m) выполняется за счет поворотной рамы 8 и штанги 7 с датчиками считывания углов 16 и 14 на оси вращения. Азимутальное сканирование (угол φ) выполняется за счет лабораторного столика 2 с исследуемым образцом 1 и вращения платформы 3 с датчиком считывания углов 15. Зенитные углы θ_m , θ_n могут принимать значения от 5° до 90° , а азимутальный – φ от 0° до 360° . Перемещения рамы выполняются вручную, штанги и платформы – шаговыми двигателями.



1 – исследуемый образец, 2 – лабораторный столик, 3 – поворотная платформа, 4 – станочная платформа, 5 – домкрат-стопоры, 6 – дискретная шкала, 7 – штанга измерительного модуля, 8 – поворотная рама, 9 – поляризационные насадки, 10 – спектрометр диапазона длин волн 350 – 1050 нм, 11 – спектрометр диапазона длин волн 1050 – 2050 нм, 12 – источник коллимированного излучения, 13 – компьютер, 14, 15, 16 – датчики считывания углов

Рисунок 4 – Эскизный чертеж комплекса «Визир»

Указано, что использование для перемещения источника освещения и измерительного модуля в вертикальной плоскости кран-штативов (рисунок 3 б) обуславливает оригинальность конструкции комплекса, а его новизна характеризуется возможностью применения поляризационных насадок, отсутствующей в аналогах.

Отмечено, что данная конструкция обеспечивает более качественное получение спектрополяризационных характеристик лабораторных образцов, имитирующих последствия ЧС, что позволяет осуществить правильный выбор рабочего спектрального диапазона бортовых сенсоров ЛА при выполнении авиационного мониторинга контролируемых параметров ЧС.

В четвертой главе «Исследование спектральных данных подстилающих поверхностей для выделения объектов ЧС и динамики их развития» представлены результаты экспериментальных исследований и обсуждение полученных данных.

Приведены статистические сведения по ЧС на территории Беларуси в период 2006 – 2018 гг. Установлена особая значимость ЧС природного характера (лесные пожары) и техногенного характера (транспортные аварии (катастрофы), в том числе с разливом нефтепродуктов). Обоснована актуальность определения контролируемых параметров указанных ЧС при авиационном мониторинге на основе изучения спектральных характеристик образцов, имитирующих их последствия.

На первом этапе исследования проводились при различных углах наблюдения, концентрациях загрязняющих веществ, временных интервалах после загрязнения на гониометрических установках спектрорадиометра МС-16А. Опытным путем установлено, что при увеличении угла наблюдения β значения КСЯ исследуемых чистых (до загрязнения) образцов уменьшаются, а

после их загрязнения – увеличиваются, что позволяет с помощью двуугловых или многоугловых одновременных измерений (несколько камер под разными углами (0° , 30° , 45°)) выявлять зоны загрязнений нефтью и их оконтуривать. Спектральный диапазон таких измерений в интервале 600–850 нм (при углах визирования β от 0° до 40°) определен как наиболее информативный. Определено, что зависимость значений КСЯ загрязненных образцов от времени наблюдения, прошедшего с момента загрязнения, а также от процентного содержания нефти в интервале 5–15 % практически отсутствует.

На втором этапе исследований были изучены спектрально-поляризационные характеристики образцов, имитирующих последствия ЧС природного (лесные пожары) (рисунок 5) и техногенного (связанных с разливом нефтепродуктов) (рисунок 6) характера при различных углах освещения, наблюдения, а также с использованием поляризационных насадок.



Рисунок 5 – Фрагменты древесных пород, подвергшихся огневому воздействию

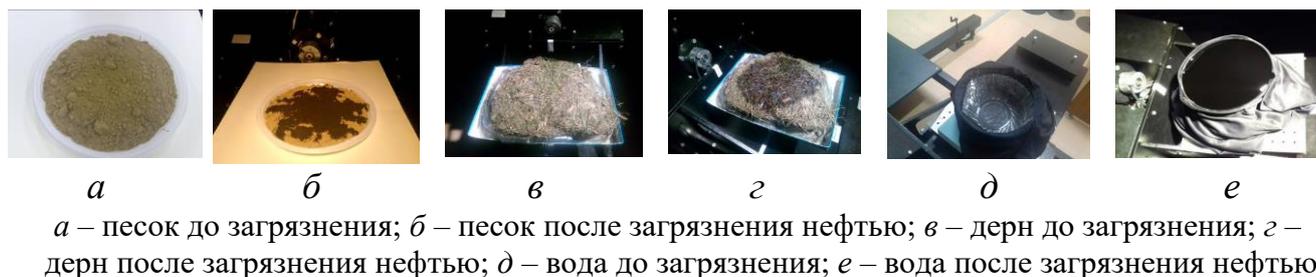
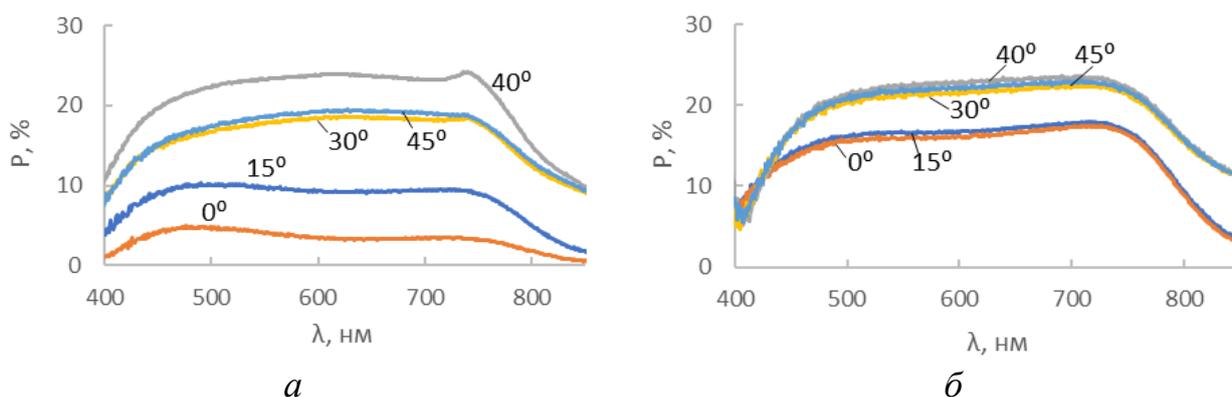


Рисунок 6 – Исследуемые лабораторные образцы земной поверхности до и после нанесения загрязнения (сырой нефти)

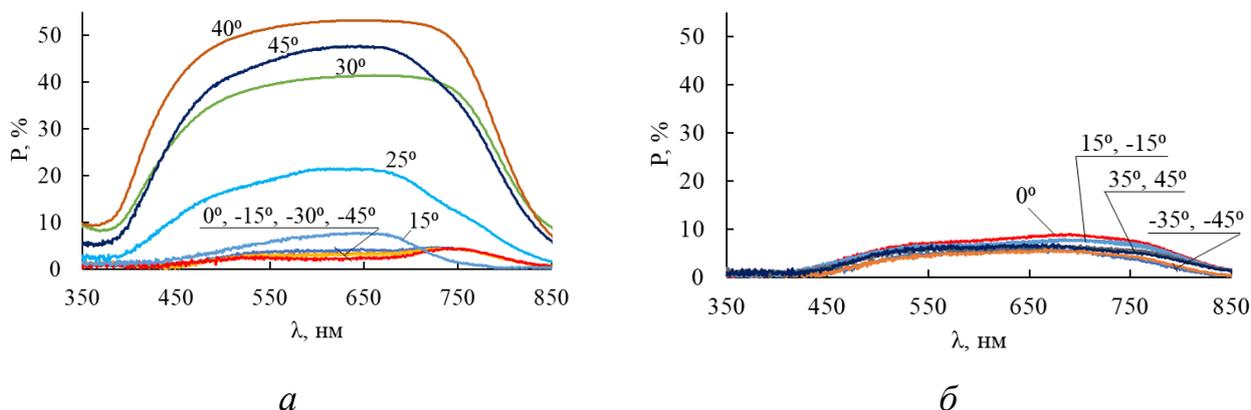
Результаты измерений спектрально-поляризационных характеристик созданных образцов приведены на рисунках 7 – 10.



a – в плоскости солнечного вертикала, *б* – в плоскости, перпендикулярной плоскости солнечного вертикала

Рисунок 7 – Степень поляризации отраженного излучения от чистой водной поверхности при различных углах визирования

Практически доказано, что поляризационная насадка показывает высокую эффективность при регистрации спектрально-поляризационных данных для выявления отличительных особенностей исследуемых лабораторных образцов.



a – в плоскости солнечного вертикала, *б* – в плоскости, перпендикулярной плоскости солнечного вертикала

Рисунок 8 – Степень поляризации отраженного излучения от разлива нефти на водной поверхности при различных углах визирования

Определено, что степень поляризации нефтяного пятна на воде достигает значений 40–50% при наблюдении под углами, близкими к «зеркальному» по отношению к углу падения солнечного излучения в плоскости солнечного вертикала, что до 5 раз выше аналогичных значений (8–10 %) при визировании в плоскости, перпендикулярной к плоскости солнечного вертикала.

Определено, что максимальные значения поляризации наблюдаются в плоскости солнечного вертикала при углах измерения близких к «зеркальному» (35°–40°), а степень поляризации отраженного излучения зависит от степени термического повреждения древесных элементов. Так, при

полном обугливания древесины практически в 2 раза увеличивается ее степень поляризации (30–40 % для гари и 15–20 % для горельника), что позволяет повысить также до 2 раз точность идентификации объектов авиационного мониторинга зон ЧС.

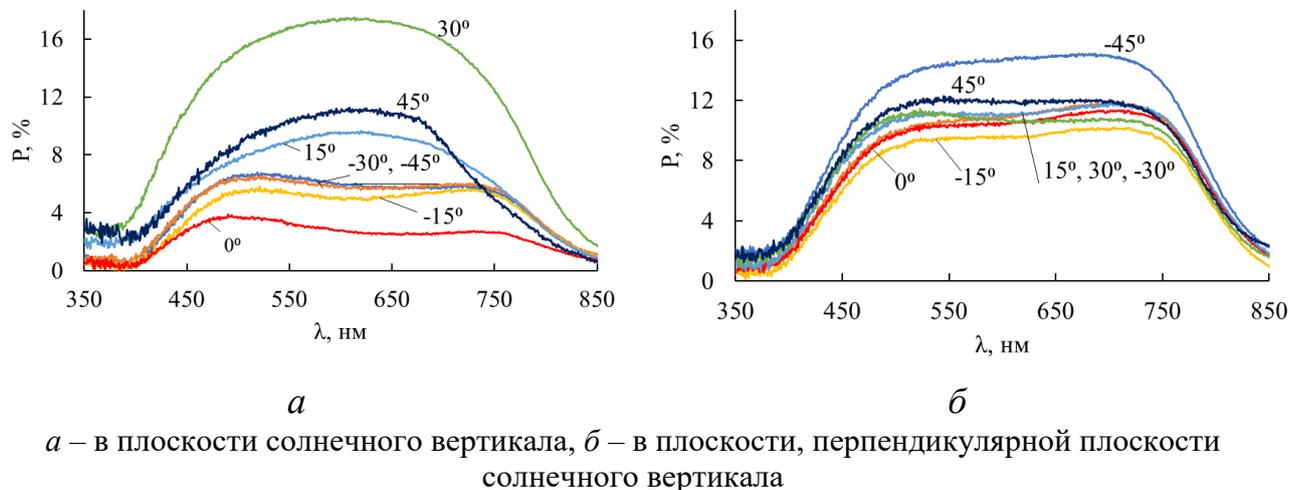


Рисунок 9 – Степень поляризации отраженного излучения от поврежденных огнем древесных элементов при различных углах визирования

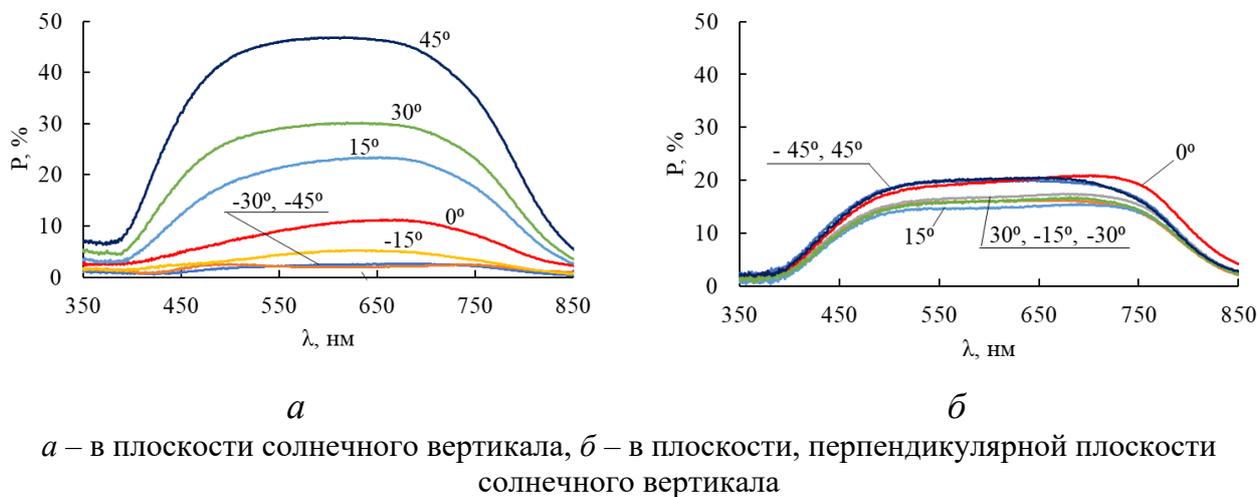


Рисунок 10 – Степень поляризации отраженного излучения от крупных элементов сгоревшей древесины (уголь) при различных углах визирования

Сформулированы практические рекомендации для определения посредством авиационного мониторинга контролируемых параметров ЧС природного и техногенного характера с использованием спектрополяризационных характеристик их объектов (зон), которые положены в научную основу разработанного методического обеспечения.

Пятая глава «Разработка методического обеспечения по определению контролируемых параметров ЧС природного и техногенного характера посредством осуществления авиационного мониторинга» посвящена разработке методик определения контролируемых параметров лесных пожаров и техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга.

Приведены их основные положения, в которых даны практические рекомендации по оптимальным условиям использования спектрополяризационной аппаратуры при авиационном мониторинге для определения контролируемых параметров лесных пожаров, аварий, связанных с разливом нефтепродуктов.

Для выявления загрязнений нефти на участках, покрытых травянистой растительностью:

при пролетах ЛА в плоскости, перпендикулярной плоскости солнечного вертикала, измерения следует выполнять при углах визирования близких к надиру – отраженное излучение от чистых участков в диапазоне длин волн 350–900 нм будет в 2–3 раза выше, чем от загрязненных участков;

при пролетах ЛА в плоскости солнечного вертикала измерения следует проводить на углах, близких к зеркальному углу по отношению к углу падения солнечного излучения. Тогда в диапазоне 450–950 нм значения сигналов для чистых участков будут в 1,3–1,8 раза выше, чем для загрязненных.

При измерениях нефтяных разливов на водной поверхности необходимо использовать поляризационные насадки для всех измерительных каналов с ориентацией осей поляризации поляроидов – 0° , 45° , 90° и соблюдать следующие условия:

при пролете в плоскости солнечного вертикала измерения также необходимо проводить на углах, близких к зеркальному углу, степень поляризации для участков разлитой нефти будет выше, чем для воды, и будет достигать значений до 40–50 %;

при пролете в плоскости, перпендикулярной плоскости солнечного вертикала, максимальные значения степени поляризации не будут превышать 8–9 % при измерении в надиру, а при измерениях на углах, отличных от надира, степень поляризации загрязненных участков составит 4–8 %.

При оценке послепожарной обстановки с борта ЛА для уточнения площади гари следует выполнять поляризационные измерения, соблюдая следующие условия:

ЛА двигается в плоскости солнечного вертикала в направлении Солнца и наблюдаемого участка земной поверхности;

при регистрации излучения, отраженного от наблюдаемого участка сгоревшего леса, с целью измерения максимальных значений степени поляризации аппаратуру следует направлять на объект под таким же зенитным углом, как и у Солнца, при этом:

а) регистрация осуществляется спектральными техническими средствами в диапазоне длин волн 480–720 нм с применением трех идентичных каналов

(спектрометров) (но не менее двух) с различными положениями поляризационного фильтра – 0° , 45° и 90° (для двух каналов – 0° и 90°);

б) измерения выполняются одновременно с пространственной ориентацией оборудования в одну и ту же точку изучаемой площади;

при необходимости измерения минимальных значений степени поляризации осуществляются с угловой ориентацией технических средств в надир и с реализацией условий а) и б).

Площади поврежденного и уничтоженного леса уточняются по максимальному значению (разности) их степени поляризации. Так, для древостоя, сгоревшего полностью (гарь), значения поляризации будут более чем в два раза выше, чем аналогичные значения для леса, частично поврежденного огнем (горельник).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Определены и апробированы методы повышения качества изображений, полученных при авиационном мониторинге ЧС, на которых путем использования степенных и логарифмического преобразований яркости, пороговой обработки и подъема уровня высоких частот спектра изображения достигнуто повышение контраста от 10% до 30% [5], [8], [18], [22], [24], [28].

2. Разработан алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров [17], основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике, основанной на оценивании неопределенности и использовании низкотемпературного рабочего эталона АЧТ, позволяющей точно определить градиент значений температуры при суммарной стандартной неопределенности результата измерений от 1,4 до 2,0 °С, что практически в 2,5 раза лучше минимально допустимого, для повышения достоверности и качества термограмм лесных пожаров и принятия правильного управленческого решения по их ликвидации [2], [10], [17], [18], [29].

3. Создан комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов, отличающийся тем, что содержит: измерительный модуль на основе двух спектрометров диапазона длин волн 350–1050 нм и 1050–2500 нм, позволяющий использовать поляризационные насадки; раму и штангу для перемещения источника коллимированного излучения и измерительного модуля в вертикальной плоскости, а также вращающиеся платформу с шаговым двигателем и лабораторный стол для исследований спектральных характеристик образцов, имитирующих реальные объекты ЧС, с целью верификации данных ДЗЗ, что позволяет повысить достоверность результатов авиационного мониторинга зон ЧС [11], [12], [13], [19], [32], [33], [37].

4. В результате спектрополяризационных исследований образцов, имитирующих последствия ЧС природного (лесные пожары) и техногенного (связанные с разливом нефтепродуктов) характера, определено, что зависимость КСЯ загрязненных нефтепродуктами образцов от времени наблюдения и процентного содержания нефти в интервале 5–15 % практически отсутствует, а диапазон 600–850 нм является наиболее информативным для таких измерений при углах визирования β от 0° до 40° [9], [30], [31]. Получено, что степень поляризации отраженного излучения зависит от величины термического повреждения древесины: при ее полном сгорании до угольной фазы (гарь) степень поляризации увеличивается практически в 2 раза по сравнению с частичным повреждением (горельник). При этом максимальные значения степени поляризации отраженного излучения для них регистрируются в диапазоне длин волн 500–700 нм в плоскости солнечного вертикала при углах визирования, близких по

значению, но противоположных по знаку к углу падения солнечного излучения, и составляют для гари 30–40 % и для горельника 15–20 %. Установлено, что спектрально-поляризационные характеристики отраженного излучения зависят от углов визирования образцов, имитирующих зоны разливов нефтепродуктов. При этом значения степени поляризации нефтяного разлива на воде в диапазоне длин волн 500–700 нм при оптимальных углах наблюдения, близких к зеркальным по отношению к углу падения излучения в плоскости солнечного вертикала, достигают значений 40–50 %, что до 5 раз выше аналогичных значений (8–10 %) при визировании в плоскости, перпендикулярной к плоскости солнечного вертикала. Использование полученных результатов позволяет до 2 раз повысить точность идентификации объектов авиационного мониторинга зон ЧС [14], [19], [34], [35].

5. Впервые разработаны: методика определения контролируемых параметров лесных пожаров посредством авиационного мониторинга и методика определения контролируемых параметров техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга, позволяющие в диапазоне длин волн 500–700 нм регистрировать максимальные значения степени поляризации отраженного излучения 30–40 % для гари, 15–20 % для горельника [15], [19] и 40–50 % для нефтяного разлива на воде при оптимальных углах наблюдения, близких к зеркальным по отношению к углу падения солнечного излучения [16], [19]. Методики основаны на методах повышения качества изображений, полученных с помощью технических средств авиационного мониторинга ЧС [8], алгоритме повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров [17], [18] за счет улучшения точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике [10], а также на результатах исследований спектрополяризационных характеристик лабораторных образцов, имитирующих последствия ЧС [9], [14], [19], [30], [31], [34], [36]. Использование данных методик позволяет до 2 раз повысить точность идентификации объектов авиационного мониторинга зон ЧС и определять их контролируемые параметры в соответствии с требованиями СТБ 1404-2003 и СТБ 1408-2003 для выполнения объективной оценки оперативной обстановки и принятия верных управленческих решений по ликвидации ЧС и их последствий [19], [35], [36].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Определены и апробированы в отделе аэрокосмических исследований НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ на результатах фото- и видеосъемки авиационной системы контроля ЧС «АВИС», эксплуатируемой ГААСУ «Авиация» МЧС Республики Беларусь, методы повышения качества изображений, полученных с помощью аппаратуры авиационного мониторинга ЧС.

2. Разработан и внедрен в практическую деятельность ГААСУ «Авиация» МЧС Республики Беларусь алгоритм повышения эффективности

авиационного мониторинга лесных пожаров, основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике, основанной на оценивании неопределенности и использовании низкотемпературного рабочего эталона АЧТ, для повышения достоверности и качества термограмм лесных пожаров и принятия правильного управленческого решения по их ликвидации, практически используемой в лаборатории оптико-физических измерений НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ на тепловизоре Flir 615A, входящем в состав авиационной системы контроля ЧС «АВИС».

3. Разработан и запатентован комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов «ВИЗИР». Результаты проведенных на комплексе в лаборатории оптико-физических измерений НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ исследований спектрополяризационных характеристик образцов, имитирующих объекты ЧС природного (лесные пожары) и техногенного (связанные с разливом нефтепродуктов) характера с использованием поляризационных насадок при различных условиях (углах освещения, наблюдения, концентрации загрязняющих веществ, времени, прошедшем после загрязнения, степени термического повреждения древесины) для верификации данных ДЗЗ, внедрены в учебный процесс Государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси» по темам 1.1.2 «Мониторинг и прогнозирование ЧС. Основные направления государственной политики в области защиты населения и территорий от ЧС» дисциплины «Технологии управления в сфере защиты от ЧС» для специальности 1-94 80 02 «Управление защитой от ЧС», а также в практическую деятельность ОАО «Оршанский авиаремонтный завод». На их основе научно обоснованы и сформулированы рекомендации, учтенные при разработке методического обеспечения по определению контролируемых параметров ЧС посредством авиационного мониторинга.

4. Впервые разработаны и внедрены в практическую деятельность ГААСУ «Авиация» МЧС Республики Беларусь Методика определения контролируемых параметров лесных пожаров посредством авиационного мониторинга и Методика определения контролируемых параметров техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга, позволяющие определять контролируемые параметры ЧС в соответствии с требованиями СТБ 1404-2003 и СТБ 1408-2003, а также повысить до 2 раз точность идентификации объектов авиационного мониторинга зон указанных ЧС для выполнения объективной оценки и принятия правильных управленческих решений по ликвидации ЧС и их последствий.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных рецензируемых журналах

1. Сизиков, А. С. Перспективы развития технических средств дистанционного зондирования Земли для мониторинга чрезвычайных ситуаций / А. С. Сизиков [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 1(31). – С. 20–35.

2. Сизиков, А. С. Повышение оперативности реагирования на чрезвычайные ситуации посредством использования универсальной системы авиационного мониторинга, осуществляемого путем оптического дистанционного зондирования земной поверхности / А. С. Сизиков, С. П. Прудников, С. В. Хвалей // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2(32). – С. 47–53.

3. Сизиков, А. С. Универсальная система авиационного мониторинга, осуществляемого путем оптического дистанционного зондирования земной поверхности, как средство повышения оперативности реагирования на чрезвычайные ситуации / А. С. Сизиков, С. П. Прудников, С. В. Хвалей // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2013. – № 1(17). – С. 75–80.

4. Сизиков, А. С. Перспективы развития технических средств мониторинга чрезвычайных ситуаций, осуществляемого путем дистанционного зондирования Земли / А. С. Сизиков, Б. И. Беляев, Л. В. Катковский, С. В. Хвалей // CNBOP «Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza/ Safety & Fire Technique». – 2013. – № 2(30). – С. 65–73.

5. Катковский, Л. В. Особенности распознавания зон ЧС по их спектральным характеристикам на примере АСК-ЧС / Л. В. Катковский, С. В. Хвалей, В. Г. Шукайло, А. С. Сизиков // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2(34). – С. 66–80.

6. Сизиков, А. С. Возможности авиационной системы контроля чрезвычайных ситуаций «АВИС» для измерения контролируемых параметров природных и техногенных чрезвычайных ситуаций / А. С. Сизиков, Б. И. Беляев, Ю. В. Беляев // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2014. – № 1(35). – С. 96–104.

7. Беляев, Б. И. Возможность использования авиационной спектральной системы «АВИС» для дистанционного мониторинга ЧС / Б. И. Беляев [и др.] // CNBOP «Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza/ Safety & Fire Technique». – 2014. – № 2(34). – С. 105–114.

8. Сизиков, А. С. Методы улучшения изображений, полученных спектральной системой «АВИС» / А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, А. В. Чумаков, А. А. Пасенюк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2014. – № 2(36). – С. 58–65.

9. Сизиков, А. С. Определение спектральных характеристик эталонных образцов загрязнений поверхности земли, возникающих вследствие

чрезвычайных ситуаций / **А. С. Сизиков** [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2015. – № 2(38). – С. 27–34.

10. Цикман, И. М. Калибровка тепловизионной камеры авиационной системы «АВИС» / И. М. Цикман, Ю. В. Беляев, **А. С. Сизиков** // Метрология и приборостроение. – 2016. – № 2(72). – С. 33–36.

11. **Сизиков, А. С.** Комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2016. – № 2(40). – С. 22–29.

12. **Сизиков, А. С.** Разработка комплекса «Визир» для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2017. – № 2(42). – С. 38–44.

13. **Сизиков, А. С.** Создание отечественного комплекса «Визир» для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // CNBOP «Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza/Safety & Fire Technique». – 2018. – № 2(50). – С. 28–37.

14. **Сизиков, А. С.** Определение спектрополяризационных характеристик загрязнений поверхности Земли, возникающих вследствие чрезвычайных ситуаций, с помощью измерительного комплекса «ВИЗИР» / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман, С. И. Бручковская // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2019. – № 2(46). – С. 102–116.

15. **Сизиков, А. С.** О разработке методики определения контролируемых параметров лесных пожаров посредством авиационного мониторинга / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2020. – № 1(47). – С. 95–110.

16. **Сизиков, А. С.** О разработке методики определения контролируемых параметров техногенных ЧС, связанных с разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2020. – № 1(47). – С. 111–124.

17. **Сизиков, А. С.** Алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров, основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, используемого при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) / **А. С. Сизиков** [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2021. – № 1(49). – С. 93–103.

18. **Сизиков, А. С.** Способы повышения эффективности авиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с использованием технических средств дистанционного зондирования Земли

(ДЗЗ) / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 1(78). – С. 52–62.

19. **Сизиков, А. С.** Видеоспектральные методы и средства мониторинга контролируемых параметров лесных пожаров и аварий, связанных с разливом нефтепродуктов / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман, А. П. Попков // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 62–70.

Материалы и доклады конференций

20. **Сизиков, А. С.** Современные тенденции развития аэрокосмического мониторинга чрезвычайных ситуаций / **А. С. Сизиков**, С. В. Хвалей // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации «ЧС – 2012» : материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 мая 2012 г. : в 2 ч. / ГГТУ им. П. О. Сухого ; редкол. : И. И. Суторьма [и др.]. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 115–116.

21. Беляев, Б. И. Авиационная спектральная система «АВИС» для дистанционного мониторинга чрезвычайных ситуаций / Б. И. Беляев [и др.] // Пожарная безопасность – 2013 : материалы XI междунар. науч.-практ. конф., Киев, 25–26 сентября 2013 г. – Киев, 2013. – С. 348–351.

22. Катковский, Л. В. Распознавание зон ЧС по данным спектральной системы авиационного мониторинга на примере АСК-ЧС / Л. В. Катковский, С. В. Хвалей, В. Г. Шукайло, **А. С. Сизиков** // Пожарная безопасность – 2013 : материалы XI междунар. науч.-практ. конф., Киев, 25–26 сентября 2013 г. – Киев, 2013. – С. 386–390.

23. Беляев, Б. И. Авиационная спектральная система «АВИС» как средство дистанционного мониторинга ЧС / Б. И. Беляев [и др.] // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : сборник материалов IV междунар. науч.-практ. конф., Кокшетау, 17 октября 2013 г. / Кокшетаунский технический институт МЧС Республики Казахстан ; редкол.: С. Д. Шарипханов (гл. ред.) [и др.]. – Кокшетау, 2013. – С. 108–112.

24. Катковский, Л. В. Особенности распознавания зон ЧС по данным спектральной системы авиационного мониторинга на примере авиационной системы контроля чрезвычайных ситуаций АСК-ЧС / Л. В. Катковский, С. В. Хвалей, В. Г. Шукайло, **А. С. Сизиков** // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : сборник материалов IV междунар. науч.-практ. конф., Кокшетау, 17 октября 2013 г. / Кокшетаунский технический институт МЧС Республики Казахстан ; редкол.: С. Д. Шарипханов (гл. ред.) [и др.]. – Кокшетау, 2013. – С. 115–119.

25. Беляев, Б. И. Авиационная система «АВИС» как средство дистанционного мониторинга ЧС / Б. И. Беляев [и др.] // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: настоящее и будущее : сборник статей III междунар. конф. – Казань, 2014. – С. 40–50.

26. **Сизиков, А. С.** Преимущества универсальной системы авиационного мониторинга как средства повышения оперативности реагирования на чрезвычайные ситуации / **А. С. Сизиков, Ю. С. Иванов, С. П. Прудников** // Актуальные проблемы технических и социально-гуманитарных наук в обеспечении деятельности службы гражданской защиты: междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Черкассы, 2014. – Ч. 1. – С. 256–258.

27. **Сизиков, А. С.** Использование авиационной спектральной системы «АВИС» для дистанционного мониторинга чрезвычайных ситуаций / **А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев** // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 мая 2014 г. / ГГТУ им. П. О. Сухого ; редкол.: И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель, 2014. – С. 266.

28. **Сизиков, А. С.** Пути повышения качества изображений, полученных с помощью авиационной спектральной системы «АВИС» / **А. С. Сизиков** [и др.] // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : материалы четвертой междунар. науч.-практ. конф., Москва, 19–20 марта 2015 г. / ФГБОУ ВПО Академии ГПС МЧС России. – Москва, 2015. – С. 115–123.

29. **Сизиков, А. С.** Особенности калибровки тепловизионной камеры авиационной спектральной системы «АВИС» / **А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, И. М. Циман, С. И. Бручовская** // Гражданская защита в Республике Казахстан: состояние, проблемы, перспективы : сборник материалов междунар. науч.-практ. конф., Алма-Ата, 6 ноября 2015 г. / КЧС МВД РК ; редкол.: Р. М. Джумагалиев, И. А. Васина, Е. И. Монтаев. – Алма-Ата, 2015. – С. 206–210.

30. **Сизиков, А. С.** Об измерении спектральных характеристик образцов загрязнений поверхности земли, возникающих вследствие чрезвычайных ситуаций / **А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман, Ю. А. Крот** // Прикладные аспекты техногенно-экологической безопасности – 2015 : сборник материалов междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 4 декабря 2015 г. / Национальный университет гражданской защиты Украины ; редкол.: С. О. Вамболь, В. Ю. Колосков, И. В. Мищенко. – Харьков, 2015. – С. 86–87.

31. **Сизиков, А. С.** Лабораторные измерения спектральных характеристик эталонных образцов загрязнения поверхности земли, возникающих вследствие ЧС техногенного характера, связанных с разливом (утечкой) нефтепродуктов / **А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман, А. П. Попков** // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник научных трудов VII междунар. науч.-практ. конф., Минск, 1 ноября 2016 г. : в 2 ч. / Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС РБ ; редкол.: Ю. С. Иванов [и др.]. – Минск, 2016. – Ч. 2. – С. 130–142.

32. **Сизиков, А. С.** О разработке комплекса для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов / **А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев,**

И. М. Цикман / Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций : сборник тезисов VIII междунар. науч.-практ. конф., Черкассы, 18–19 мая 2017 г. / Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля. – Черкассы, 2017. – С. 246–247.

33. **Сизиков, А. С.** Создание комплекса для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Горение и проблемы тушения пожаров : тезисы докладов XXIX междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Москва, 5 июля 2017 г. : в 2 ч. / ФГБОУ ВПО Академии ГПС МЧС России ; редкол.: Е. Ю. Сушкина [и др.]. – Москва, 2017. – Ч. 2. – С. 286–290.

34. **Сизиков, А. С.** Особенности использования поляризационной насадки при работе на измерительном комплексе «Визир» / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : сборник материалов XIV междунар. науч.-практ. конф. курсантов (студентов), слушателей и адъюнктов (аспирантов, соискателей), Минск, 8–9 апреля 2020 г. : в 2 т. / Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь ; редкол.: А. Б. Сивенок [и др.]. – Минск, 2020. – Т. 1. – С. 147–149.

35. **Сизиков, А. С.** К вопросу разработки методик определения контролируемых параметров природных и техногенных ЧС, связанных с лесными пожарами и разливом нефтепродуктов, посредством авиационного мониторинга / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXXII междунар. науч.-практ. конф., Москва, 2020 г. / ВНИИПО МЧС России ; редкол.: Е. Ю. Сушкина [и др.]. – Москва, 2020. – С. 401–408.

36. **Сизиков, А. С.** Видеоспектральные методы и средства мониторинга контролируемых параметров лесных пожаров и аварий, связанных с разливом нефтепродуктов / **А. С. Сизиков**, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман, А. П. Попков // XIII Белорусский космический конгресс: материалы конгресса : в 2 т. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – Т. 1. – С. 214–217.

Патент на полезную модель

37. Комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов: пат. ВУ 11965 / Б. И. Беляев, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман, А. С. Сизиков. – Оpubл. 01.02.2019.

РЭЗЮМЭ

Сізікаў Аляксей Сяргеевіч

СПЕКТРАЛЬНА-ПАЛЯРЫЗАЦЫЙНЫЯ МЕТАДЫ І СРОДКІ ДЫСТАНЦЫЙНАГА КАНТРОЛЮ ЛЯСНЫХ ПАЖАРАЎ І РАЗЛІВАЎ НАФТАПРАДУКТАЎ

Ключавыя словы: кантраляваныя параметры надзвычайных сітуацый, лясныя пажары, разліў нафтапрадуктаў, авіяцыйны маніторынг, спектральна-палярызацыйныя характарыстыкі.

Мэта работы: распрацаваць метадычнае забеспячэнне для вызначэння кантраляваных параметраў НС прыроднага і тэхнагеннага характару шляхам ажыццяўлення авіяцыйнага маніторынгу для павышэння эфектыўнасці прымянення дадзеных пасіўнага аптычнага зандзіравання зон лясных пажараў, разліву (уцечкі) нафтапрадуктаў пры прыняцці кіраўнічых рашэнняў на ліквідацыю НС і іх наступстваў.

Метады даследавання і апаратура. Відэаспектральны аналіз (АВІС), кутняя і палярызацыйныя спектраметрыя (Візір), інфрачырвоная цеплавая тэрмаграфія (FLIR A615, ЭПП АЧТ «Деметра»), кантраляваныя параметры надзвычайных сітуацый па СТБ 1408-2003, СТБ 1404-2003.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацаваны алгарытм павышэння эфектыўнасці авіяцыйнага маніторынгу лясных пажараў, заснаваны на паляпшэнні дакладнасці каліброўкі цеплавізійнага абсталявання, якое ўваходзіць у склад тэхнічных сродкаў ДЗЗ, па распрацаванай методыцы. Створаны комплекс для вымярэнняў двунакіраваных спектрапалярызацыйных каэфіцыентаў адлюстравання і яркасці прыродных і штучных аб'ектаў з магчымасцю выкарыстання палярызацыйных вымярэнняў. Распрацавана метадычнае забеспячэнне для вызначэння кантраляваных параметраў НС прыроднага і тэхнагеннага характару пры ажыццяўленні іх авіяцыйнага маніторынгу на аснове праведзеных даследаванняў спектрапалярызацыйных характарыстык аб'ектаў НС.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Алгарытм павышэння эфектыўнасці авіяцыйнага маніторынгу лясных пажараў і метады павышэння якасці малюнкаў могуць быць выкарыстаны для павышэння якасці атрыманых даных ДЗЗ для прыняцця правільнага кіраўніцкага рашэння па ліквідацыі НС і іх наступстваў. Комплекс для вымярэнняў двунакіраваных спектрапалярызацыйных каэфіцыентаў адлюстравання і яркасці можа быць выкарыстаны для вывучэння спектрапалярызацыйных характарыстык штучна створаных аб'ектаў, якія імітуюць наступствы НС рознага характару. Метадычнае забеспячэнне можа быць выкарыстана для вызначэння кантраляваных параметраў НС пры ажыццяўленні іх авіяцыйнага маніторынгу.

Вобласць прымянення. МНС Рэспублікі Беларусь, іншыя арганізацыі, якія ажыццяўляюць маніторынг НС з мэтай іх папярэджання і ліквідацыі.

РЕЗЮМЕ

Сизиков Алексей Сергеевич

СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ключевые слова: контролируемые параметры чрезвычайных ситуаций, лесные пожары, разлив нефтепродуктов, авиационный мониторинг, спектрально-поляризационные характеристики.

Цель работы: разработать методическое обеспечение для определения контролируемых параметров ЧС природного и техногенного характера путем осуществления авиационного мониторинга для повышения эффективности применения данных пассивного оптического зондирования зон лесных пожаров, разлива нефтепродуктов при принятии управленческих решений по ликвидации ЧС и их последствий.

Методы исследования и аппаратура. Видеоспектральный анализ (АВИС), угловая и поляризационная спектрометрия (Визир), инфракрасная тепловая термография (FLIR A615, ЭПП АЧТ «Деметра»), контролируемые параметры чрезвычайных ситуаций по СТБ 1408-2003, СТБ 1404-2003.

Полученные результаты и их новизна. Разработан алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров, основанный на улучшении точности калибровки тепловизионного оборудования, входящего в состав технических средств ДЗЗ, по разработанной методике. Создан комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов с возможностью использования поляризационных измерений. Разработано методическое обеспечение для определения контролируемых параметров ЧС природного и техногенного характера при осуществлении их авиационного мониторинга на основе проведенных исследований спектрополяризационных характеристик объектов данных ЧС.

Рекомендации по использованию. Алгоритм повышения эффективности авиационного мониторинга лесных пожаров может быть использован для повышения качества получаемых данных ДЗЗ для принятия верного решения по ликвидации ЧС и их последствий. Комплекс для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости может быть использован для изучения спектрополяризационных характеристик объектов, имитирующих последствия ЧС. Методическое обеспечение может быть использовано для определения контролируемых параметров ЧС при осуществлении их авиационного мониторинга.

Область применения. МЧС Республики Беларусь, иные организации, осуществляющие мониторинг ЧС с целью их предупреждения и ликвидации.

SUMMARY

Sizikov Alexey Sergeevich

SPECTRAL-POLARIZATION METHODS AND MEANS OF REMOTE CONTROL OF FOREST FIRES AND OIL SPILLS

Keywords: controlled parameters of emergency situations, forest fires, oil spills, aviation monitoring, spectral-polarization characteristics.

Objective: to develop methodological support for determining the monitored parameters of natural and man-made emergencies through the implementation of aviation monitoring to increase the efficiency of the use of data from passive optical sensing of forest fire zones, oil spills (leakage) when making management decisions on emergency response and their consequences.

Methods of the research and equipment. Video spectral analysis (AVIS), angular and polarization spectrometry (Vizir), infrared thermal thermography (FLIR A615, FOS CBB "Demetra"), controlled parameters of emergency situations according to STB 1408-2003, STB 1404-2003.

The results and their novelty. An algorithm for increasing the efficiency of aerial monitoring of forest fires has been developed, based on improving the calibration accuracy of thermal imaging equipment, which is part of remote sensing equipment, according to the developed methodology. A complex has been created for measuring bidirectional spectropolarization reflection coefficients and brightness of natural and artificial objects, with the possibility of using polarization measurements. Methodological support has been developed for determining the monitored parameters of emergency situations of natural and man-made nature during their aviation monitoring, based on the studies of the spectropolarization characteristics of emergency data objects.

Recommendations for use. The method of calibrating thermal imaging equipment and methods for improving the quality of images can be used to improve the quality of the received remote sensing data for making the correct management decision on the elimination of emergencies and their consequences. The complex for measuring bidirectional spectropolarization reflection coefficients and brightness of natural and artificial objects can be used to study the spectropolarization characteristics of artificially created objects that simulate the consequences of emergency situations of various nature. Methodological support can be used to determine the monitored parameters of natural and man-made emergencies during their aviation monitoring.

Field of application. Bodies and units for emergency situations of the Republic of Belarus, other organizations monitoring emergencies in order to prevent and eliminate them.

Научное издание

Сизиков Алексей Сергеевич

**СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И
РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля природной
среды, веществ, материалов и изделий (технические науки)

Подписано в печать 23.08.2023.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,97. Уч.-изд. л. 1,28.
Тираж 60. Заказ 068-2023.

Полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.

