

На правах рукописи



Параскун Артур Сергеевич

ПРИБОРЫ И МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИИ
ДЛЯ РАННЕГО СЕЛЕКТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ВОЗГОРАНИЯ

Специальность 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики
материалов, изделий, веществ и природной среды

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2026

Работа выполнена на кафедре конструирования и технологий электронных и лазерных средств федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Научный руководитель:

Казаков Василий Иванович

кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Боритко Сергей Викторович

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией лазерной техники, отдела акустооптических информационных систем федерального государственного бюджетного учреждения науки «Научно-технологический центр уникального приборостроения» Российской академии наук;

Кузнецов Андрей Альбертович,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения»

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5 литера Ф

Защита состоится «19» мая 2026 г., в 11:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.384.02 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета https://dissov.guap.ru/defense/paraskun_as

Автореферат разослан «12» марта 2026 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета 24.2.384.02
кандидат технических наук, доцент



С.А. Назаревич

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Несмотря на широкое распространение промышленных извещателей, ущерб от пожаров в замкнутых помещениях остаётся стабильно высоким. Существующие средства обнаружения (тепловые, дымовые, пламенные) обладают высокой инерционностью и реагируют преимущественно на поздние стадии возгорания – появление дыма, пламени и повышение температуры. На ранней стадии формируется тепловой конвекционный поток – устойчивое газодинамическое явление, сопровождающееся колебаниями показателя преломления среды в диапазоне 2–20 Гц. Этот признак не сопровождается выраженными оптическими эффектами и не входит в зону чувствительности стандартных сенсоров, что делает его недоступным для традиционных систем пожарной автоматики.

Таким образом, возникает противоречие: ранние признаки термической активности существуют, но средства обнаружения не способны их зафиксировать. Для его разрешения требуется методика селективной диагностики, основанная на математических алгоритмах обработки сигнала, способных выявлять слабые признаки активности до появления визуальных эффектов. В рамках диссертационной работы предложен подход, обеспечивающий регистрацию тепловых неоднородностей на докритических стадиях с использованием спектрального анализа и пространственно-временной интерпретации сигнала.

Степень разработанности проблемы

Разработке методов регистрации теплового конвекционного потока и анализа термических неоднородностей посвящён ряд работ. М.А. Котов, С.Ю. Лаврентьев и Н.Г. Соловьев предложили методику лазерной калибровки сенсоров с учётом тепловых градиентов в турбулентной среде. Г.Н. Лукьянов, И.С. Ковальский и др. разработали сенсоры на основе сегнетоэлектриков, чувствительные к слабым тепловым потокам. M.J. Evans и P.R. Medwell систематизировали лазерные методы диагностики пламени и температурных градиентов (PLIF, CARS, Rayleigh scattering). A. Secilmis и соавт. исследовали применение нейросетевых алгоритмов для классификации признаков пожара. J. Mao, J. Zhao и др. продемонстрировали возможность регистрации оптической турбулентности в прозрачной среде с помощью лидаров и лазерных систем. R.S. Allison и соавт. обосновали необходимость комплексных сенсорных платформ для раннего обнаружения возгораний.

Несмотря на имеющиеся результаты, остаётся недостаточно разработанным комплексный подход к ранней регистрации признаков горения, сочетающий пространственно-спектральный анализ и аппаратную реализацию с высокой чувствительностью. Это определяет актуальность настоящего исследования.

Цель работы. Разработка приборов и методики для раннего обнаружения теплового конвекционного потока, дыма и пламени в газовой среде закрытого помещения со временем отклика менее 0.3 с и повышением достоверности диагностики до 98%.

Указанная цель определила постановку и решение следующих задач:

1. Анализ физических процессов начальной стадии возгорания и выделение информативных признаков.
2. Разработка матричного спектрального и лазерно-оптического приборов диагностики газовой среды на наличие признаков возгораний с учётом метрологических требований.
3. Разработка методики комбинированной диагностики газовой среды в пределах закрытого помещения для устойчивой дифференциации признаков термодинамической активности с адаптацией ко внешним возмущениям.
4. Экспериментальная проверка работоспособности приборов и корректности методики для раннего обнаружения теплового конвекционного потока, дыма и пламени в газовой среде закрытого помещения.

Объект исследования. Газовая среда в пределах контролируемого пространства закрытого помещения, ограниченного диаграммой направленности лазерно-оптического прибора, в котором происходят физические изменения, сопровождающие начальные стадии возгорания.

Предмет исследования

Предметом исследования являются оптические и спектроскопические характеристики газовой среды, параметры лазерного излучения, процессы взаимодействия с тепловыми и аэрозольными неоднородностями, архитектуры диагностических устройств и алгоритм обработки сигналов.

Положения, выносимые на защиту

1. Матричный спектральный прибор, обеспечивающий селективную регистрацию спектральных признаков пламени и теплового конвекционного потока.
2. Лазерно-оптический прибор диагностики газовой среды, реализующий регистрацию признаков дыма и теплового потока с возможностью их дифференциации.
3. Методика диагностики газовой среды, основанная на алгоритмическом комплексе спектрально-временного анализа оптических сигналов, обеспечивающая устойчивое выделение признаков пламени, дыма и теплового потока с их дифференциацией на фоне оптических и тепловых возмущений.
4. Результаты исследований по применению методики, направленной на классификацию спектрально-временных признаков газовой среды в задаче раннего обнаружения признаков возгорания.

Методы решения задач

Методологическая основа работы включает теоретический анализ, математическое моделирование, схемотехническое проектирование и алгоритмическую обработку данных, направленные на реализацию комбинированной системы диагностики газовой среды. Исследование базируется на анализе тепловой конвекции, аэрозольного насыщения и спектральных характеристик пламени, с использованием положений волновой оптики и энергетических соотношений.

Система реализована на основе фотоприёмных элементов, оптических фильтров и усилительных каскадов, с параллельной обработкой спектральных, аэрозольных и тепловых признаков. Алгоритм включает ряд математических методов: быстрое преобразование Фурье (БПФ), вейвлет-преобразование, кепстральный анализ, суммарно-разностный метод, взаимную корреляционную функцию дискретного сигнала и пороговую фильтрацию. Совокупное применение указанных процедур обеспечивает выделение информативных признаков и предиктивную классификацию активности.

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность системы и обоснованность технических решений. Применённый комплекс методов обеспечил формирование архитектуры прибора, способного к раннему обнаружению признаков возгорания с высокой надёжностью и устойчивостью к внешним возмущениям.

Научная новизна

1. Архитектура матричного спектрального прибора, обеспечивающая селективную регистрацию спектральных признаков пламени и теплового конвекционного потока, **отличающаяся от известных решений реализацией многоканального спектрального анализа в расширенном диапазоне 190–1000 нм и интеграцией с алгоритмами фильтрации признаков в реальном времени, что обеспечивает достоверное извлечение информативных компонент при фоновом-оптических помехах и переменных условиях наблюдения.**

2. Архитектура лазерно-оптического устройства диагностики газовой среды, обеспечивающая регистрацию аэрозольных и тепловых признаков с возможностью их дифференциации в условиях внешних оптических и тепловых возмущений.

Предложена программно-аппаратная реализация устройства, **отличающаяся интеграцией ПЗС-линейки с программным модулем синхронизированной экспозиции и адаптивной коррекции по фоновым параметрам среды, реализующей селективную регистрацию пространственно-мощностной модуляции сигнала и позволяющая на этой основе выделять слабовыраженные признаки ранних стадий термодинамической активности.**

3. Алгоритмический комплекс обработки полученных данных, основанный на математических моделях анализа энергетического спектра, пространственных характеристик, и их временной динамики, включающий, быстрое преобразование Фурье (БПФ), вейвлет-преобразование, кепстральный анализ, суммарно-разностный метод, взаимную корреляционную функцию дискретного сигнала и пороговую фильтрацию, обеспечивающий устойчивое выделение признаков термодинамической активности и дифференциацию источников теплового излучения, **отличающийся от известных подходов интеграцией многомерных признаков и реализацией устойчивой дифференциации источников теплового излучения на фоне шумов и помех.**

4. Алгоритмы классификации активности газовой среды, обеспечивающие интеллектуальное реагирование системы на изменения параметров, адаптацию к внешним возмущениям и повышение точности диагностики, **отличающиеся от известных систем управления использованием динамической модели активности и адаптивных порогов реагирования, что обеспечивает повышение достоверности до 98%.**

Область исследования

Область исследования соответствует пунктам паспорта научной специальности – 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды»: 1, 3, 4 и 6.

Методы исследования:

Методы спектроскопического анализа, численного моделирования тепловых потоков, схемотехнического проектирования, цифровой фильтрации, корреляционного анализа, оценки энергетического спектра, Фурье-анализа, вейвлет-преобразования, кепстрального анализа, суммарно-разностного метода, взаимной корреляционной функции дискретного сигнала, пороговой фильтрации и предиктивной классификации активности среды.

Программные средства реализации диссертационного исследования: Microsoft Word, CorelDRAW, MATLAB, LaTeX, MathType, DipTrace, Autodesk Inventor и Visual Studio.

Практическая значимость диссертационной работы

Предложенная многоканальная система (спектральный, аэрозольный, тепловой каналы) обеспечивает устойчивость к фоновым помехам, снижая ложные срабатывания на 71–75% и повышая точность классификации до 93–96%. Применение алгоритма, включающего методы анализа по Фурье, вейвлет-преобразования, кепстрального анализа, суммарно-разностного метода, взаимной корреляционной функции дискретного сигнала и пороговой фильтрации позволило обеспечивать устойчивое выделение признаков теплового конвекционного потока, аэрозольных включений (дыма) и пламени, сократив время реагирования на 52% и расширив спектральную селективность до 190–1000 нм. Соблюдение метрологических требований обеспечило воспроизводимость с погрешностью менее 5%, снижение ложных тревог на 60–65% и достоверность диагностики до 98%. Конструкция совместима со стационарными и мобильными комплексами, сокращая сроки адаптации и затраты на обслуживание на 30–35%. Методика адаптируема к различным объектам и сценариям, включая промышленную безопасность, экологический мониторинг и автономные системы.

Достоверность результатов диссертационной работы

Достоверность полученных результатов подтверждается их непротиворечивостью ранее известным положениям, применением в процессе исследований адекватных физических и математических моделей, корректным использованием современных методов компьютерного моделирования и физического эксперимента, а также экспериментальным подтверждением полученных теоретических результатов.

Личный вклад автора

Основные результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Во всех работах, которые выполнены в соавторстве, соискатель непосредственно участвовал в постановке задач, обсуждении методов их решения, получении и анализе результатов исследований.

Реализация работы

Результаты диссертационного исследования внедрены в деятельность следующих организаций: ФГАОУ ВО ГУАП, ООО «НПП Адвент», ООО «НПФ Полисервис» и ООО «Холдинг Гефест», что подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и симпозиумах в период с 2018 по 2025 гг.

- Международная научная конференция «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы», 2018-2025 гг., ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия;
- Шестая Всероссийская научная конференция «Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации» Санкт-Петербург, 07–18 апреля 2025 года;
- 17-ая Международная научно-техническая конференция. «Приборостроение-2024», Минск, 26–29 ноября 2024 года;
- XVII Международная научно-техническая конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации», Суздаль, 23–26 сентября 2024 года;
- VI Международный форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий», Санкт-Петербург, 01 марта 2024 года;
- 15-ая Международная конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации», Астрахань, 03–07 октября 2022 года;

- Международный научный форум «Наука и инновации - современные концепции», Москва, 03 декабря 2021 года;
- Международная конференция SPIE Optical measurement systems for industrial inspection XI 2019, Мюнхен, Германия, 24–27 июня 2019.

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях

Материалы, отражающие основное содержание и результаты диссертационной работы, опубликованы в 19 печатных работах. Из них 2 – патента РФ, 1 – регистрация программы для ЭВМ, 3 статьи опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 3 – в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science, а также 10 работ опубликованы в материалах российских и международных научных конференций, входящих в РИНЦ.

Гранты и НИР

Исследования в рамках данной диссертационной работы проводилось в рамках грантов: Президента РФ для государственной поддержки молодых российских учёных, МК-297.2022.4, государственное задание РФ 8.9203.2017/БЧ (соисполнитель НИР), РФФИ №17-07-00554, РФФИ №16-07-00549 А, РФФИ №17-07-00826, РФФИ №19-79-10110.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх разделов заключения, списка литературы и приложений. Общий объём работы составляет 185 страниц, включая 49 рисунков, 4 таблицы и 120 источников. Структура работы отражает последовательность решения поставленных задач: от теоретического анализа до экспериментальной верификации и практических рекомендаций.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел

В первом разделе диссертации рассмотрены современные методы раннего обнаружения очагов возгорания, с акцентом на радиофизические подходы к диагностике состояния среды. Обоснована применимость зондирующих и естественных сигналов, традиционно используемых в радиофизике, к задачам пожарной диагностики. Показано, что теория сигналов и информации служит основой обработки данных, а спектральные и корреляционные методы позволяют выделять признаки горения.

Рассмотрены спектроскопические методы, включая гармонический анализ, эмиссионную и абсорбционную диагностику, позволяющие регистрировать характерные спектры продуктов горения в ИК-диапазоне. Указаны альтернативные подходы – лазерная индуцированная флуоресценция и антистоксовское рамановское рассеяние – применимые при ограничениях ИК-детектирования. Одним из ключевых направлений раннего обнаружения пожара является идентификация газовых маркеров, характерных для докритических стадий развития возгорания. На этапе тления, предшествующем появлению визуальных признаков, фиксируется выделение угарного газа (СО); при искрении в электросистемах – озона (О₃); при переходе к горению – углекислого газа (СО₂). Эти компоненты обладают выраженными спектральными характеристиками в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах, что позволяет использовать методы спектрального анализа для их обнаружения.

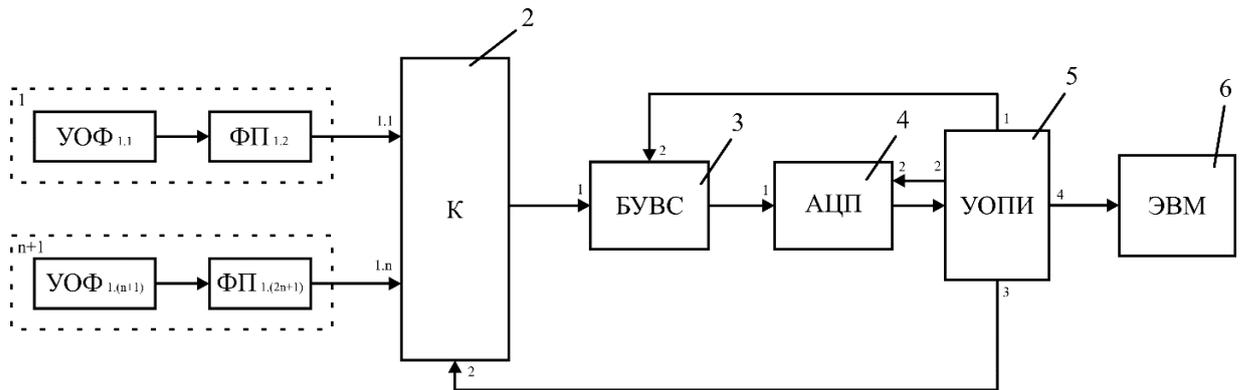
Дополнительно рассмотрены информативные параметры, связанные с динамикой газовой среды: турбулентность, изменение давления и скорости. Всё это формирует теоретическую и методическую основу для построения высокочувствительных систем раннего обнаружения пожаров.

Второй раздел

Во втором разделе диссертации представлена методика селективного спектроскопического обнаружения пламени в воздушной среде, ориентированная на регистрацию признаков горения на ранних стадиях – до появления значительного очага пламени и дыма. Методика основана на анализе спектральных и частотных характеристик излучения, сопровождающего термодинамическую активность среды. Показано, что пламя генерирует характерные колебания температурного поля в диапазоне 2–20 Гц, а также излучение в ультрафиолетовом диапазоне, особенно в области около 230 нм.

Физической основой методики служит регистрация модуляции интенсивности излучения, вызванной тепловой конвекцией с использованием матричного спектрального прибора, который включает независимые спектральные каналы с узкополосными оптическими фильтрами и фотоприёмниками, охватывающими диапазон 190–1000 нм. Сигналы проходят через коммутатор,

блок усиления, аналого-цифровой преобразователь и устройство обработки, реализующее алгоритмы фильтрации, нормирования и передачи данных. Структурная схема прибора представлена на рисунке 1.



1.1 – узкополосный интерференционный фильтр, 1.2 – фотоэлектронный преобразователь, 2 – коммутатор, 3 – блок усиления и временной стабилизации, 4 – аналого-цифровой преобразователь, 5 – устройство обработки и передачи информации, 6 – электронно-вычислительная машина, УОФ1.1 – оптический фильтр, УОФ1.(n+1) – оптический фильтр, ФП1.2 – фотоприёмник, ФП1.(2n+1) – фотоприёмник, К – коммутатор, БУВС – усилитель, АЦП – преобразователь, УОПИ – обработка и передача, ЭВМ – вычислительный блок.

Рисунок 1 – Структурная схема матричного спектрального анализатора оптического излучения

Для регистрации ультрафиолетовых признаков горения был подобран фотодиод, обладающий высокой чувствительностью в УФ-области и низким уровнем шумов. Его спектральные характеристики и технические параметры обоснованы сравнительным анализом с другими моделями. УФ-детекторы позволяют фиксировать сам факт химической реакции горения, независимо от её тепловой мощности, что обеспечивает высокую селективность и устойчивость к фоновому освещению. Дополнительные каналы матричного спектрального прибора последовательно оптически связаны с узкополосными оптическими фильтрами, согласованными по длине волны с характерными спектральными линиями продуктов горения. Каждый канал регистрирует излучение в строго определённой спектральной области, соответствующей типовым признакам термодинамической активности. Формирование сигнала тревоги осуществляется на основе совокупного отклика от нескольких независимых трактов, что обеспечивает многоканальное подтверждение наличия термодинамических процессов в исследуемой газовой среде. Вероятность ложного срабатывания существенно снижается за счёт того, что случайные флуктуации, шумы и внешние оптические помехи, как правило, не проявляются синхронно во всех диагностических диапазонах. Повышенная селективность достигается благодаря согласованной спектральной фильтрации и алгоритмической обработке, ориентированной на выявление устойчивых спектрально-временных корреляций, характерных для процессов горения.

Дополнительно рассмотрены особенности частотной модуляции, возникающей при пульсации пламени. Для обработки полученных сигналов реализован алгоритм, включающий последовательное применение математических методов быстрого преобразования Фурье (БПФ), вейвлет-преобразования и кепстрального анализа. Комплексное использование указанных методов обеспечивает совместное разрешение по времени и частоте, устойчивость к шуму и возможность локализации слабовыраженных признаков термодинамической активности.

Показано, что для надёжной регистрации периодических компонентов сигнала необходимо соблюдение условий по установлению длительности временного окна, обеспечивающих устойчивость алгоритма к кратковременным колебаниям. Показано, что длительность окна определяется как отношение числа отсчётов к частоте дискретизации, и должна превышать период характерных колебаний сигнала.

Спектральные коэффициенты определяются с помощью быстрого преобразования Фурье, где каждой частоте соответствует определённый коэффициент, зависящий от частоты дискретизации. Для практического анализа используется амплитудное представление спектра, основанное на модуле спектральных коэффициентов, позволяющее визуализировать распределение энергии по частотам.

Для анализа временной структуры применяется СWT с комплексным Морле-вейвлетом, обеспечивающим фазовую когерентность и высокую чувствительность к узкополосным колебаниям. Интегральная оценка активности в заданном диапазоне частот реализуется через спектральную энергию (2), отражающую динамику мощности сигнала.

Для анализа временной структуры применяется непрерывное вейвлет-преобразование (CWT):

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (1)$$

где a – масштаб (сжатие или растяжение базисной функции), b – временной сдвиг, $\psi(t)$ – базисная вейвлет-функция.

Интегральная характеристика, отражающая суммарный вклад амплитуд спектральных компонент сигнала, интерпретируется как энергия спектральной плотности в выбранной полосе и определяется по формуле:

$$E(t) = \sum_{f_i \in [f_1, f_2]} |W(f_i, t)|^2, \quad (2)$$

где $W(f_i, t)$ – коэффициенты непрерывного вейвлет-преобразования на частоте f_i в момент времени t .

Математическая реализация кепстрального преобразования имеет следующий вид:

$$c[n] = \text{IDFT}(\log |X[k]|), \quad (3)$$

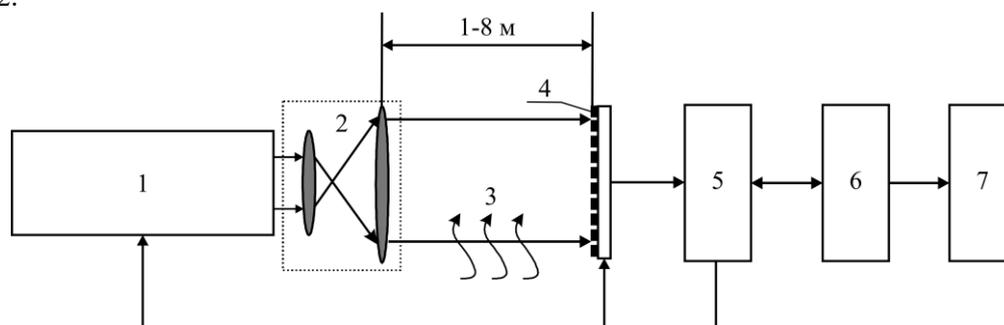
где $X[k]$ – спектр сигнала, полученный через БПФ.

Кепстральный анализ, включающий применение ко временным срезам СWT, используется для выявления гармонической структуры спектра, позволяя отличить физически обусловленные колебания от шумовых артефактов. После этого выполняется пороговая фильтрация, формирующая бинарный индикатор наличия признаков горения.

Третий раздел

В третьем разделе диссертации представлена методика лазерного обнаружения теплового конвекционного потока и дыма в воздушной среде – ранних признаков возгорания. Обоснование состоятельности методики включает анализ взаимодействия лазерного излучения с термодинамически возмущённой средой. Установлено, что тепловые конвекционные потоки изменяют показатель преломления газовой среды, вызывая фазовые и амплитудные модуляции лазерного пучка. Одновременно аэрозольные компоненты, образующиеся при тлении, вызывают рассеяние, приводящее к ослаблению интенсивности излучения. Указанные независимые признаки: флуктуации, вызванные тепловой конвекцией, и рассеяние в виду наличия аэрозольной взвеси в исследуемом пространстве позволяют реализовать двухканальную систему для диагностики состояния среды.

Предложена структурная схема лазерно-оптического прибора, включающая лазер, расширитель пучка, ПЗС-линейку, блок регистрации, ЭВМ с программным обеспечением и дисплей. Концепция прибора защищена патентом РФ № 2023120971. Принцип работы системы основан на формировании широкого лазерного пучка и регистрации его профиля и представлен на рисунке 2.



1 – лазер; 2 – расширитель пучка; 3 – тепловой конвективный поток; 4 – ПЗС-линейка; 5 – блок регистрации; 6 – ЭВМ со встроенным программным обеспечением обработки профиля пучка; 7 – дисплей

Рисунок 2 – Структурная схема прибора выявления термодинамической активности в газовой среде

Для регистрации спектроскопической информации для лазерно-оптического устройства используется ПЗС-линейка, обеспечивающая пространственную дискретизацию вдоль оптической оси. Это позволяет формировать двумерный массив данных, отражающий распределение интенсивности для набора пикселей в каждый момент времени. Такая структура сигнала требует применения алгоритмов, способных учитывать межкадровые взаимосвязи, устойчиво работать в условиях шумов и извлекать признаки, отражающие физическую природу возмущений.

Разработанный прибор (как совокупность двух каналов, представленных на рисунках 1 и 2) реализует регистрацию физических признаков горения, формализованных в нормативных документах (ГОСТ Р 53325–2012, ГОСТ Р 53284–2009, ГОСТ Р 59137–2020, СП 484.1311500.2020) и классифицируется как многофакторный пожарный извещатель с элементами пламенной, дымовой и тепловой диагностики. Архитектура включает матричный спектроскопический канал, лазерно-оптический канал и алгоритмический блок обработки, обеспечивающий селективную регистрацию спектральных, аэрозольных и тепловых характеристик, характерных для начальных стадий пожара, и допускает реализацию адресной логики и интеграцию в цифровые системы пожарной автоматики.

Алгоритмический блок обработки включает ряд математических методов, направленных на анализ динамики среды и структурных изменений в профиле лазерного пучка. В частности, рассматривается взаимно-корреляционная функция дискретного сигнала (ВКФДС), позволяющая оценивать пространственные смещения и деформации между последовательными кадрами. Максимум корреляционной функции интерпретируется как признак направленной динамики среды (4,5). Метод обладает высокой чувствительностью к крупномасштабным изменениям, таким как сдвиг или деформация пучка, и применяется для выделения интервалов согласованной активности.

Поскольку анализируемый массив содержит информацию о попискельном дискретном распределении профиля интенсивности лазерного пучка, для его обработки используется ВКФДС, выражение которой имеет следующий вид:

$$C_{X,Y}(l) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} X_i \cdot Y_{i-l}, \quad (4)$$

где: L – количество дискретных отсчётов функции, соответствующее числу фоточувствительных элементов (пикселей) ПЗС-линейки; i – индекс пикселя, определяющий пространственное положение в профиле; X_i, Y_i – дискретные распределения интенсивности лазерного пучка, полученные за два последовательных момента времени.

Дальнейшая математическая обработка полученных данных заключалась в формировании динамического максимума функции ВКФДС $W(nT)$, что может быть представлено в форме:

$$W(nT) = \max_i \left[\frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} X_i(nT) \cdot X_{i-l}((n-1)T) \right], \quad (5)$$

где T – интервал регистрации выборок; $X(nT), X((n-1)T)$ – выборки распределений профиля интенсивности пучка, зарегистрированные в соседние интервалы времени T .

Суммарно-разностный метод (6) применяется для оценки локальных изменений между соседними кадрами, фиксируя мелкомасштабные флуктуации, вызванные турбулентностью, рассеянием или прохождением аэродисперсных частиц. Метод эффективен при анализе нестабильных режимов и дополняет корреляционные методы, обеспечивая более детальную картину происходящих процессов.

Математически суммарно-разностная функция определяется как сумма абсолютных разностей между соответствующими отсчётами двух соседних выборок:

$$R(nT) = \sum_{i=1}^L |X_i(nT) - X_i((n-1)T)|, \quad (6)$$

где: $X_i(nT)$ – значение интенсивности в i -м пикселе в момент времени nT ; $X_i((n-1)T)$ – значение того же пикселя на предыдущем временном шаге; L – общее число пикселей в профиле.

Кепстральное преобразование применяется для анализа структуры лазерного пучка, позволяя выявлять повторяющиеся компоненты и оценивать периодичность в спектре интенсивности. Кепстральная область интерпретируется как квази-пространственная шкала, отражающая структурные особенности среды, включая дифракционные элементы и переотражения.

Переход к явному виду осуществляется посредством раскрытия структуры дискретного преобразования Фурье и формального разложения выражения. С учётом того, что анализ ведётся по диапазону пикселей от i до $i + N - 1$, окончательная форма дискретного кепстрального преобразования записывается как:

$$C(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[\log \left(\left| \sum_{n=i}^{i+N-1} x(n) \cdot e^{-2\pi i \frac{k(n-i)}{N}} \right| \right) \right] \cdot e^{\frac{2\pi i km}{N}}, \quad (7)$$

где N – количество анализируемых пикселей, m – индекс в кепстральной области.

Амплитудный спектр сигнала формируется посредством дискретного преобразования Фурье (DFT), которое вычисляет спектральные коэффициенты по всей длине выборки, отражая распределение энергии по частотам. Затем определяется логарифм модуля спектра, что позволяет выявить мультипликативные структуры, такие как переотражения и периодические компоненты. Полученный логарифмический спектр обрабатывается с помощью обратного дискретного преобразования Фурье (IDFT), возвращающего результат в кепстральную область, где значения интерпретируются как квази-пространственные характеристики, отражающие структуру среды.

Дискретное вейвлет-преобразование (8) применяется для анализа пространственного профиля пучка, обеспечивая локализацию флуктуаций, выявление многоуровневой структуры и отделение шумовых компонентов. Использование ортонормированного дискретного базиса позволяет адаптивно фильтровать сигнал и восстанавливать профиль даже при наличии непериодических и локализованных структур.

Дискретное вейвлет-преобразование описывается формулой:

$$W(j, k) = \sum_{n=i}^{i+N-1} x(n) \cdot \psi_{j,k}(n), \quad (8)$$

где $x(n)$ – последовательность интенсивностей, N – количество анализируемых пикселей, j – уровень масштабирования, k – индекс сдвига, а $\psi_{j,k}(n)$ – дискретизированная вейвлет-функция, полученная масштабированием и сдвигом материнской функции $\psi(n)$.

Совокупность рассмотренных методов формирует основу комплексного анализа, обеспечивающего высокую чувствительность, устойчивость к шуму и возможность диагностики динамических состояний среды в реальном времени. В рамках этого анализа, применительно к пространственному профилю лазерного пучка, рассмотрено использование бинарной фильтрующей функции, позволяющей выделять информативные участки сигнала на фоне шумов. Метод реализует логическую маску по заданному критерию, обеспечивая сохранение локальных особенностей, резких переходов и импульсных компонентов, критичных для диагностики в условиях нестабильной среды.

В заключительной части третьего раздела представлена физическая реализация прибора лазерного обнаружения теплового конвекционного потока и дыма в воздушной среде. Численное моделирование алгоритма пространственно-временной диагностики, выполненное в среде MATLAB, подтвердило устойчивость методики к шумам и его чувствительность к малым оптическим возмущениям. Для экспериментального подтверждения работоспособности разработана специализированная аппаратная платформа, способная регистрировать пространственные и временные характеристики лазерного пучка с высокой точностью.

Далее представлен универсальный алгоритм автоматического выявления термодинамической активности, реализующий селективную обработку сигнала от каналов: матричного спектрального и лазерно-оптического.

В зависимости от выбранного источника сигнала, алгоритм активирует один из двух специализированных блоков:

- Для матричного спектрального прибора реализован параллельный анализ, основанный на применении методов кепстрального анализа, вейвлет-преобразования и бинарной фильтрации. Такая комбинация позволяет выявлять регулярные и масштабные признаки активности в нестационарных временных рядах, характерных для процессов термодинамической нестабильности.

- Для лазерно-оптического прибора реализуется многоканальный анализ пространственного профиля лазерного пучка с применением пяти методов: взаимно-корреляционной функции дискретного сигнала, суммарно-разностного анализа, кепстрального анализа, вейвлет-преобразования и бинарной фильтрации.

Общая структура алгоритма представлена на рисунке 3 и включает этапы предобработки, преобразования, выделения признаков и принятия решения.

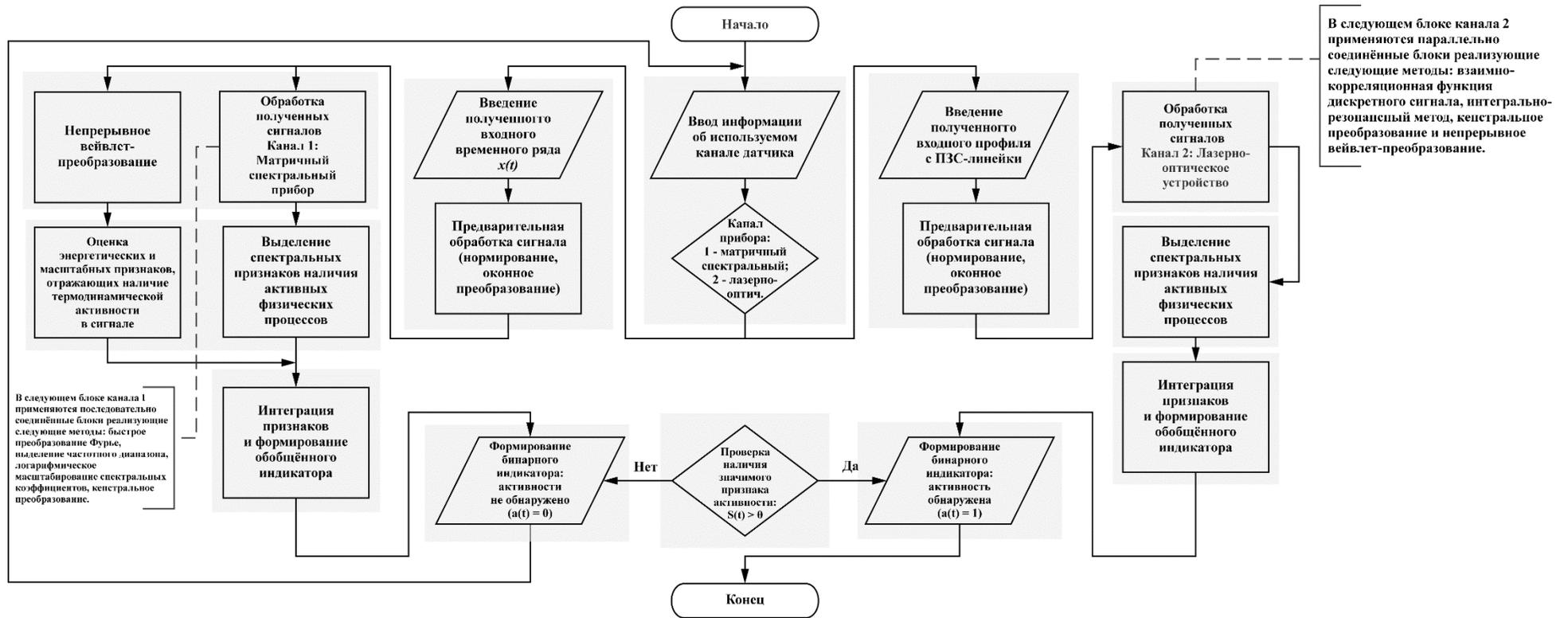


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма анализа активности среды для матричного и лазерно-оптического каналов

Четвёртый раздел

В четвёртом разделе диссертации представлена оценка эффективности разработанной методики лазерного обнаружения тепловых конвекционных потоков и аэрозольных возмущений в воздушной среде. Методика реализуется в виде алгоритмических и аппаратных решений, включающих спектральный и пространственный анализ сигналов, а также специализированные приборы.

Экспериментальная часть исследования включает регистрацию признаков пламени по спектральным характеристикам, параметрам теплового конвекционного потока, и аэрозольным включениям (дыма) через пространственный анализ профиля лазерного пучка прошедшего через исследуемое газовую среду для лазерно-оптического прибора, а для матричного спектрального прибора через анализ оптического излучения в объемной области предполагаемого очага возгорания. Объединение данных с обоих каналов обеспечивает комплементарный подход к диагностике, повышая информативность системы и сокращая время отклика.

Для количественной оценки диагностической состоятельности системы сформулированы три ключевых критерия: чувствительность, селективность и устойчивость к ложным срабатываниям. Расчёт параметров осуществляется на основе экспериментальных данных, с учётом архитектурных особенностей приборов – временной выборки для матричного прибора и пространственной выборки для ПЗС-линейки.

Проведена количественная оценка диагностической состоятельности приборов на основе полученных экспериментальных данных, полученных с матричного спектрального прибора и лазерно-оптического прибора. Расчёт параметров чувствительности (S), селективности (K) и устойчивости к ложным срабатываниям (R) выполнен с учётом архитектурных особенностей приборов и структуры формируемой выборки.

Матричный спектральный прибор продемонстрировал значения: $S = 6.59$, $K = 7.59$, $R = 0.91$, при максимальной зарегистрированной мощности сигнала 21.40 мкВт. ПЗС-линейка обеспечила существенно более высокие показатели: $S = 22.6$, $K = 89$, $R = 0.92$, с максимальной зарегистрированной мощностью 1267.70 мкВт.

Для эмпирической проверки работоспособности методики проведена серия экспериментов с двумя каналами прибора. В первом использовался диодный лазер (650 нм) и CMOS-матрица, регистрирующая картину, которая соответствует пространственному распределению интенсивности пучка при воздействии теплового конвекционного потока от пламени свечи. Во втором – свеча, как источник излучения, с регистрацией через узкополосный фильтр (220 нм), выделяющий спектральные компоненты, ассоциированные с термодинамической активностью.

Обе конфигурации реализованы с варьируемой длиной оптического тракта, обеспечивая регистрацию сигналов в режимах «с источником возгорания» / «без источника возгорания». Полученные данные включают временные реализации, спектры, вейвлет-преобразования, энергетические признаки и бинарные индикаторы активности, позволяя провести комплексный анализ полученного сигнала в различных условиях.

В рамках расширенной серии экспериментов с использованием матричного спектрального прибора была реализована конфигурация установки с тепловым источником в виде открытого пламени свечи. Целью экспериментов являлось выявление признаков термодинамической активности на ранних стадиях горения и оценка их спектральной структуры при различных длинах оптического тракта.

Серия экспериментов охватывала четыре конфигурации: 0.5 м, 1 м, 1.5 м и 2 м. Для каждой длины проводилась регистрация временного сигнала, моделирующего фоновую турбулентность с внедрённой периодической активностью (2–20 Гц). Полученные данные включают временные реализации (рисунок 4), вейвлет-спектры (рисунок 5), энергетическую плотность в заданной полосе частот (рисунок 6) и бинарные индикаторы активности (рисунок 7), обеспечивающие автоматизированное принятие решений о наличии признаков горения.

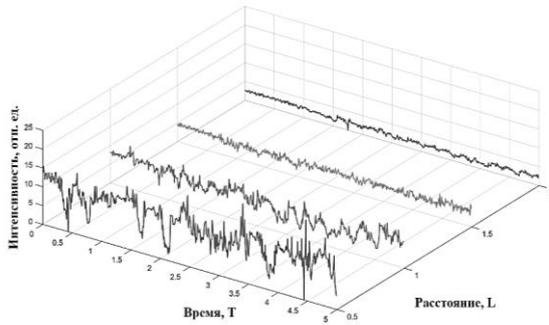


Рисунок 4 – Временные реализации сигналов при длине тракта 0.5, 1, 1.5 и 2м

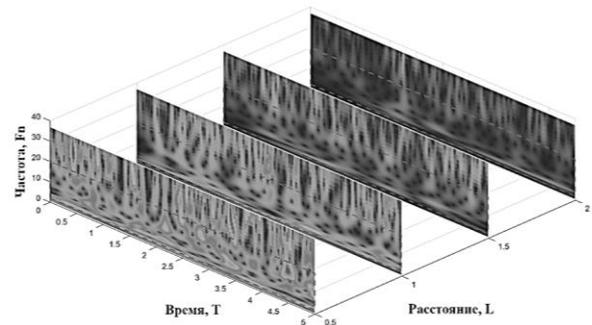


Рисунок 5 – Вейвлет-спектры сигнала при длине тракта 0.5, 1, 1.5 и 2м

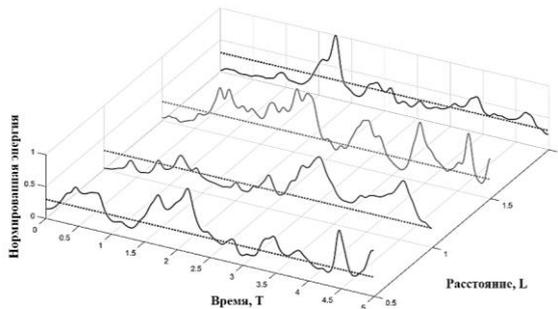


Рисунок 6 – Энергетическая плотность сигналов в полосе частот 2-20 Гц при длине тракта 0.5, 1, 1.5 и 2м

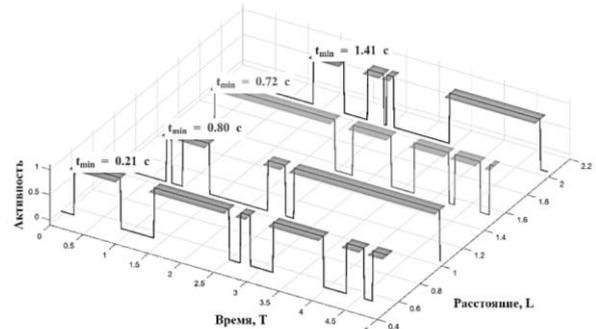


Рисунок 7 – Бинарные индикаторы активности при длине тракта 0.5, 1, 1.5 и 2м

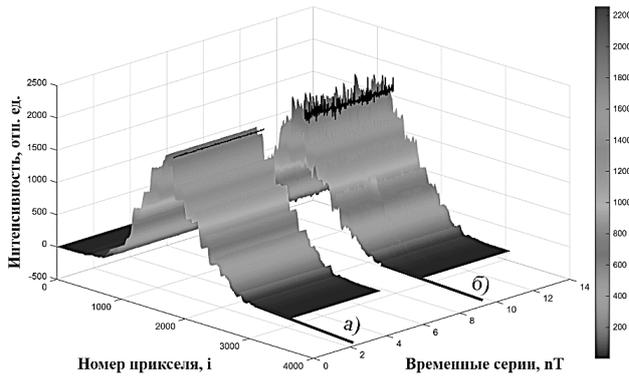
Сравнительный анализ по длине оптического тракта выявил следующие закономерности: с увеличением протяжённости тракта наблюдаются ослабление спектральной интенсивности, снижение выраженности модуляции и уменьшение плотности бинарных срабатываний. Указанные изменения связаны с рассеиванием энергии, снижением контрастности взаимодействия и затуханием флуктуационных проявлений при удлинении зоны регистрации.

Полученные результаты подтверждают корректность архитектуры алгоритма и его применимость для автоматизированной диагностики термодинамической активности. Методика демонстрирует устойчивость к нестационарности сигнала, адаптивность к шумовым условиям и способность к локализации энергетических проявлений, открывая перспективы для интеграции в системы мониторинга, управления горением и раннего обнаружения нестабильных режимов.

Проведена серия экспериментов по исследованию временной динамики взаимодействия лазерного пучка с тепловым конвективным потоком, реализованная на лабораторном макете с матричным спектральным сенсором. Установка включает диодный лазер (650 нм, 16 мВт), формирующую оптику, CMOS-матрицу и программное обеспечение собственной разработки, обеспечивающее регистрацию и обработку спектральных данных.

Эксперименты проводились в два этапа: в стабильном режиме и при наличии теплового воздействия от пламени свечи. Полученные данные включают 400 кадров, отражающих пространственно-временную структуру сигнала. Анализ показал, что в условиях термодинамической стабильности интенсивность распределяется равномерно, тогда как при наличии теплового потока наблюдаются локальные возмущения и модуляция профиля.

Эксперименты при длине оптического тракта 8 м показали усиление чувствительности системы и смену доминирующих признаков: от корреляционных и энергетических к вейвлетным и кепстральным. Характерные изменения распределения профиля интенсивности пучка и критериев эффективности обработки профиля лазерного пучка приведены на рисунках 8–9, спектральные признаки и бинарная классификация термодинамической активности в газовой среде на рисунках 10–11.



а) отсутствие термодинамической активности, б) присутствие термодинамической активности
Рисунок 8 - Динамика изменения распределения профиля интенсивности пучка при $l=10$ м

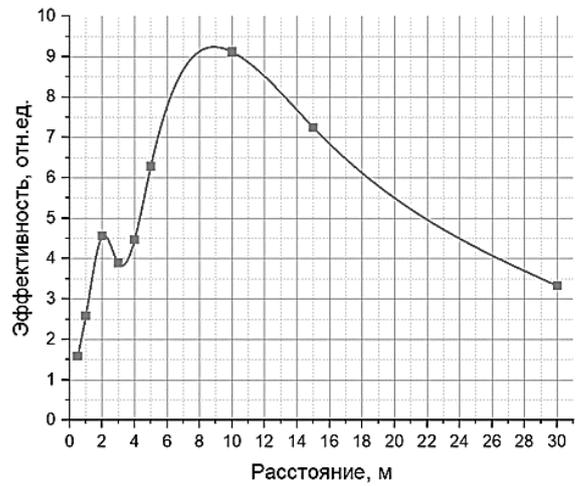


Рисунок 9 – Результаты расчета критериев эффективности обработки профиля лазерного пучка суммарно-разностным методом

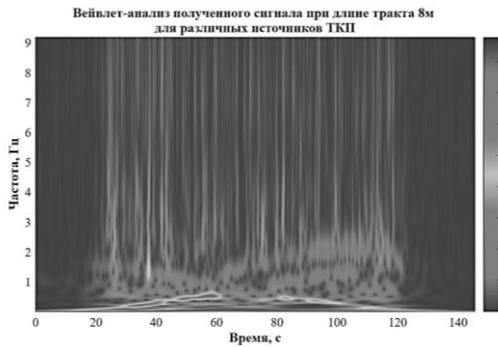


Рисунок 10 – Вейвлет-спектр сигнала при длине тракта 8 м для различных источников ТКП

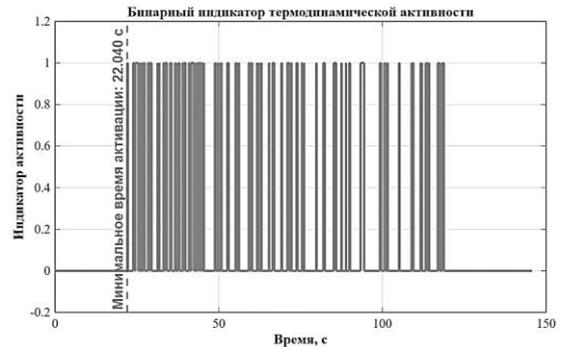


Рисунок 11 – Бинарный индикатор термодинамической активности в среде при длине тракта 8 м для различных источников ТКП

Полученные результаты подтверждают эффективность предложенной методики регистрации и анализа, её устойчивость к шумам и способность к локализации энергетических проявлений. Методика демонстрирует чувствительность к геометрическим параметрам системы и может быть использована для построения моделей прогноза активности, разработки алгоритмов адаптивной фильтрации и классификации в задачах оптической диагностики динамических сред.

В заключительной части четвертого раздела проведена экспериментальная оценка характеристик разработанных приборов и алгоритма в условиях воздействия естественных тепловых потоков и внешней засветки. Оценка охватывает параметры быстродействия, метрологической точности и способности к раннему обнаружению активности. Эксперименты выполнены на выборке из 1200 кадров, с использованием синтетических профилей и реализацией алгоритмов в среде MATLAB и LabVIEW.

- Время срабатывания определялось как момент первого превышения адаптивного порога активности. Совместная система, объединяющая матричный спектральный прибор и ПЗС-линейку, продемонстрировала минимальное время отклика – 0.29 с.

- Погрешности измерений оценивались по классическим метрикам абсолютной и относительной погрешности. По результатам натурных испытаний, погрешность лазерно-оптического прибора составила 4.5%, а матричного спектрального прибора – 6.2%. Указанные значения соответствуют допустимым пределам точности для средств, применяемых в задачах ранней диагностики термодинамической активности, и подтверждают надёжность каждого диагностического канала.

• Способность к раннему обнаружению активности оценивалась по метрике точности классификации, где совместная система достигла значения $P = 0.98$, превосходя индивидуальные компоненты.

Сводные численные результаты представлены в таблице 1, подтверждающей превосходство совместной системы по всем ключевым метрикам.

Таблица 1 – Сравнение характеристик приборов

Прибор \ Характеристика	Время срабатывания	Погрешность	Оценка P
Матричный спектральный прибор	$0,45 \pm 0,03$ с	6,2%	0,89
Лазерно-оптический прибор	$0,33 \pm 0,02$ с	4,5%	0,81
Совместная система	$0,29 \pm 0,02$ с	–	0,98

Проведён сравнительный анализ с существующими промышленными средствами пожарной диагностики, включая извещатели «Тюльпан 2-14 Ех», «Тюльпан 2-16-3-2 Ех» и Honeywell FS20X. Разработанная система демонстрирует преимущества по спектральной селективности, способности к анализу временной структуры сигнала, выявлению переходных процессов и классификации активности. Технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение технических характеристик извещателей

Параметр	Тюльпан 2-14 Ех	Тюльпан 2-16-3-2 Ех	Honeywell FS20X (США)	Разработанная система
Тип извещателя	Многоспектральный	Многоспектральный (лазер)	ИК/УФ пламени	Матричный спектральный прибор + лазерно-оптический прибор на базе ПЗС -линейки
Время срабатывания	<1 с	<1 с	<0.3 с	< 0,3 с
Устойчивость к помехам	До 95%	До 95%	До 95%	> 98% (по моделированию)
Дальность обнаружения (ТП-5 / ТП-6)	25 м	6 м / 10 м	До 60м	До 30 м (по конфигурации)/ оптимально 8-10 м
Спектральная селективность	Ограниченная (ИК)	Ограниченная	Многодиапазонная	Высокая (220–650 нм)
Анализ временной структуры сигнала	Нет	Нет	Нет	Да (вейвлет, БПФ)
Выявление переходных процессов	Нет	Нет	Частично	Да
Формирование бинарного индикатора	Да	Да	Да	Да + адаптивный порог
Возможность классификации активности	Нет	Нет	Нет	Да (по признакам)
Степень защиты	IP66	IP66	IP66/67	IP54–IP66 (по исполнению)
Температурный диапазон	$-55^{\circ}\text{C} \dots +55^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C} \dots +55^{\circ}\text{C}$	$40^{\circ}\text{C} \dots +75^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ (базовое)

Выводы подтверждают, что предложенная методика и приборы обеспечивает высокую чувствительность, быстродействие и аналитическую мощь, превосходя традиционные решения. Система пригодна для интеллектуального мониторинга, адаптивной фильтрации и диагностики динамических процессов горения, особенно в условиях сложной анализируемой среды.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В диссертационной работе разработаны и экспериментально подтверждены методики лазерного обнаружения тепловых конвекционных потоков и аэрозольных возмущений, основанные на принципах спектроскопии при регистрации и анализе оптических сигналов. Предложена двухканальная архитектура системы, включающая матричный спектральный прибор и лазерно-

оптический прибор, обеспечивающие комплементарную регистрацию признаков термодинамической активности.

Разработанные алгоритмы обеспечивают высокую чувствительность, селективность и устойчивость к ложным срабатываниям. Экспериментальные исследования показали превосходство системы по ключевым метрикам по сравнению с традиционными средствами регистрации.

Методика демонстрирует устойчивость к шумам, адаптивность к изменяющимся условиям и способность к локализации энергетических проявлений, что подтверждает её применимость в задачах раннего обнаружения, мониторинга тепловых процессов.

В рамках выполнения поставленных задач получены следующие научные результаты:

1. Разработана архитектура комбинированной системы, которая обеспечивает регистрацию теплового конвекционного потока, дыма и пламени с высокой устойчивостью к фоновым оптическим и тепловым помехам.

2. Внедрены алгоритмы обработки диагностических сигналов, что позволило сократить время реагирования на 40–50% и повысить селективность регистрации до 95%.

3. Обеспечена метрологическая воспроизводимость измерений с погрешностью менее 5%, что способствует стандартизации оборудования и его адаптации к различным типам объектов.

4. Показана возможность интеграции системы в интеллектуальные платформы мониторинга, что открывает перспективы применения в промышленной безопасности, экологическом контроле и автономных системах управления.

5. Достигнуты значения чувствительности до 22.6, селективности до 89 и устойчивости к ложным срабатываниям до 0.98, что существенно превосходит характеристики серийных промышленных решений.

Таким образом, данная диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи, имеющей значение для развития методов и приборов контроля и диагностики материалов, веществ и природной среды. Полученные результаты обладают высокой прикладной значимостью и могут быть использованы при проектировании и внедрении интеллектуальных систем пожарной безопасности нового поколения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. Параскун, А. С. Волоконно-оптические устройства в составе систем спектроскопии / А. С. Параскун // Датчики и системы. – 2023. – № 4-2(270). – С. 45-50.

2. Параскун, А. С. Измерительные сигналы и их обработка в спектроскопической системе контроля работы ракетного двигателя / А. С. Параскун // Датчики и системы. – 2022. – № 5(264). – С. 33-37.

3. Параскун, А.С. Модели и методы обработки пространственно-динамических характеристик лазерного пучка в системе раннего обнаружения возгораний / В. И. Казаков, А. С. Параскун, Я. А. Рывкина [и др.] // Датчики и системы. – 2024. – № 4(276). – С. 25-30.

Статьи в изданиях, индексируемых в реферативных базах

4. Paraskun, A. S. Experimental Research of High-Temperature Burning Processes and Spectroscopic Measurements / A. S. Paraskun, M. A. Vaganov, V. I. Kazakov // 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2018, St. Petersburg, 26–30 November 2018. Vol. [1]. – St. Petersburg, 2018. – P. 8604421.

5. Paraskun, A. S. The Application of Contactless Optical Spectroscopy in Automatic Control Systems of Technological Processes / A. S. Paraskun, O. D. Moskaletz, V. I. Kazakov, M. A. Vaganov // 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019), St. Petersburg, 03–07 June 2019. Vol. [2]. – St. Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8840653.

6. Paraskun, A. S. Contactless optical spectroscopy methods in the tasks of monitoring physical and technological processes in extreme conditions / V. I. Kazakov, O. D. Moskaletz, A. S. Paraskun, M. A. Vaganov // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering: Optical Measurement Systems for Industrial Inspection XI, Munich, Germany 24–27 June 2019. Vol. 11056. – Munich: SPIE, 2019. – P. 110563W.

Статьи и материалы конференций

7. Параскун, А. С. Экспериментальные исследования высокотемпературных процессов горения и их спектроскопические измерения / М. А. Ваганов, В. И. Казаков, А. С. Параскун // Волновая

электроника и ее применения в информационных и телекоммуникационных системах: XXI международная молодежная конференция, Санкт-Петербург, 01–05 октября 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2018. – С. 179-184.

8. Параскун, А.С. Применение бесконтактной оптической спектроскопии в системах автоматического управления технологическими процессами / В. В. Китаев, М. А. Ваганов, В. И. Казаков, А. С. Параскун и др. // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы : Сборник статей XXII Международной научной конференции: 2-х частях, Санкт-Петербург, 03–07 июня 2019 года. Часть 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2019. – С. 121-126.

9. Параскун, А.С. Формирование измерительных сигналов в системах контроля и в системах многоканального автоматического управления физическими и физико-химическими процессами, сопровождающимися электромагнитным излучением в оптическом диапазоне / О. Д. Москалец, А. С. Параскун, К. В. Сердюк // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Материалы XXV Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 30 мая – 03 июня 2022 года. Часть 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – С. 205-210.

10. Параскун, А.С. Исследование пространственно-динамических характеристик лазерного пучка при взаимодействии с тепловым конвекционным потоком / В. И. Казаков, А. С. Параскун, Я. А. Рывкина, Г. С. Гришкин // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Материалы XXVII Международной научной конференции. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 03–07 июня 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 121-127.

11. Параскун, А.С. Оценка эффективности математических моделей обработки профиля лазерного пучка в задаче раннего обнаружения возгораний / В. И. Казаков, А. С. Параскун, Я. А. Рывкина, С. В. Кулаков // Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации : Труды XVII Международной научно-технической конференции, Суздаль, 23–26 сентября 2024 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2024. – С. 166-170.

12. Параскун, А.С. О возможностях использования дифракционных решеток в системах многокритериального контроля / В. И. Казаков, А. С. Параскун, В. В. Китаев // Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации: Сборник докладов Шестой Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 07–18 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2025. – С. 104-107.

13. Параскун, А.С. Исследование влияния тепловых потоков различной природы на характеристики лазерного пучка / Я. А. Рывкина, А. С. Параскун // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXVIII Международной научной конференции. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 12–16 мая 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2025. – С. 250-255.

Тезисы и доклады на научно-практических конференциях

14. Параскун, А.С. Система регистрации и обработки пространственных характеристик лазерных пучков для обнаружения теплового конвективного потока / В. И. Казаков, А. С. Параскун // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова: Материалы 15-ой Международной конференции, Астрахань, 03–07 октября 2022 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2022. – С. 80-83.

15. Параскун, А.С. Взаимодействие лазерного пучка с тепловым конвективным потоком / В. И. Казаков, А. С. Параскун, Я. А. Рывкина // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сборник статей VI Международного форума, Санкт-Петербург, 01 марта 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 115-116.

16. Параскун, А.С. Лазерный сенсор дыма и теплового конвекционного потока с применением нейронных сетей / В. И. Казаков, Я. А. Рывкина, А. С. Параскун // Приборостроение - 2024: материалы 17-й Международной научно-технической конференции, Минск, 26–29 ноября 2024 года. – Минск: Б. и., 2024. – С. 60-61.

Авторские свидетельства, патенты, информационные карты, алгоритмы

17. Патент на полезную модель № 214303 U1 Российская Федерация, МПК G01J 3/36. Матричный анализатор оптических сигналов: № 2022115607: заявл. 09.06.2022: опубл. 19.10.2022 / А. С. Параскун,

О. Д. Москалец; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения".

18. Патент № 2805772 С1 Российская Федерация, МПК G08В 17/103, G01N 21/35. Волоконно-оптический датчик дыма и теплового конвекционного потока: № 2023120971: заявл. 10.08.2023: опубл. 24.10.2023 / В. И. Казаков, С. Н. Мосенцов, А. С. Параскун; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения".

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022669351 Российская Федерация. Программа для корректировки и вывода в графическом виде данных, полученных с ПЗС линейки в оптическом спектральном устройстве: № 2022669141: заявл. 19.10.2022: опубл. 19.10.2022 / В. И. Казаков, А. С. Параскун; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».