На правах рукописи

Павлов Андрей Николаевич

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ КООРДИНАТ ОЧАГА ВЗРЫВА В ГАЗОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бийск – 2010

Работа выполнена на кафедре методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиала) государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Научный руководитель:	кандидат технических наук, доцент **Сыпин Евгений Викторович**
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор **Замятин Виктор Иванович**
	кандидат физико-математических наук **Соломатин Константин Васильевич**
Ведущая организация:	Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск

Защита диссертации состоится «29» июня 2010 г. в 11:30 на заседании диссертационного совета Д212.004.06, действующего при Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова, по адресу: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ауд. 127 гл. к.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные гербовой печатью организации, просим направлять на имя ученого секретаря диссертационного совета, по указанному адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. E-mail: krivobok@ab.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Автореферат разослан «28» мая 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Кривобоков Д.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В промышленности существует множество взрывоопасных технологических процессов, связанных с газодисперсными системами: пылеосаждение, пневмотранспортировка, размельчение материалов и др. С такими процессами связаны в первую очередь угледобывающие шахты в связи с наличием горючей пыли и метана в газовой фазе. Поэтому актуальной задачей является разработка мер и конкретных средств, направленных на снижение травматизма на объектах угольной промышленности, источником которого являются взрывы газа метана и угольной пыли.

Одним из направлений, развитие которого может дать существенное повышение уровня пожарной безопасности угольных шахт при сравнительно небольших затратах на внедрение, является использование автоматических систем противопожарной защиты и взрывоподавления. Такие системы базируются на приборах, реагирующих на какое-либо физическое явление, сопровождающее вспышку или взрыв на начальной стадии развития. Информация с прибора подается на исполнительное устройство для принудительного диспергирования в зону воспламенения взрывоподавляющего вещества.

В связи с незначительностью индукционного периода взрывов пыле- и метановоздушных смесей, составляющего всего 10–20 мс, время срабатывания датчика контроля должно составлять 2,5–3 мс, а быстродействие взрывоподавляющих устройств 10–15 мс. При этом датчик контроля должен обеспечивать обнаружение с высокой достоверностью очага возгорания на ранней стадии в условиях запыленной среды. Сходные проблемы наблюдаются для всех объектов, где содержится пыль горючих и легковоспламеняющихся веществ (например, угольная, древесная, мучная, сахарная, алюминиевая и др.).

Для успешного гашения вспышек в объеме выработки площадью сечения до 10 м^2 необходимо создать взрывоподавляющую среду, выбросив не менее 30 кг ингибитора в течение 15 мс. Такая скорость выброса при ложном срабатывании может быть опасна для человека, оказавшегося в непосредственной близости от взрывоподавляющих устройств (ВПУ). Для предотвращения этого одним из путей является применение взрывоподавляющих барьеров из ВПУ меньшего объема со сравнительно низкой скоростью истечения ингибитора, совместное действие которых обеспечит перекрытие сечения выработки. При этом, обладая информацией о пространственном расположении очага взрыва, для его локализации на ранней стадии достаточно активировать всего одно ВПУ из соответствующего барьера. Это позволит повысить

эффективность и рентабельность применения автоматической системы взрывоподавления.

Таким образом, разработка оптико-электронной системы (ОЭС) определения трехмерных координат очага взрыва в газодисперсных системах на начальной стадии является актуальной и перспективной задачей для повышения безопасности техногенных объектов.

Цель работы. Разработка и создание оптико-электронной системы определения трехмерных координат очага взрыва на начальной стадии в газодисперсной системе потенциально опасного техногенного объекта на основе методов цветовой пирометрии.

Задачи исследований

1. Выполнить аналитический обзор методов и средств локализации взрывов в газодисперсных системах на начальной стадии.

2. Разработать методику энергетического расчета для оптико-электронных датчиков (ОЭД), входящих в состав ОЭС определения трехмерных координат очага взрыва на начальной стадии.

3. Рассчитать и спроектировать ОЭС определения трехмерных координат очага взрыва на начальной стадии.

4. Разработать лабораторную установку для исследования спроектированной ОЭС в лабораторных условиях и оценить значения основных ее параметров, разработав соответствующие методики.

5. Провести испытания спроектированной ОЭС в условиях, близких к реальным, разработав экспериментальную установку.

Объект исследования. Оптико-электронная система, предназначенная для определения трехмерных координат очага взрыва на начальной стадии в газодисперсных системах.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы оптической пирометрии, методы параксиальной оптики, методы теплофизических измерений, методы цифровой обработки информации, методы физико-механических испытаний, методы математической статистики и обработки экспериментальных данных.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем.

1. Предложен новый принцип построения ОЭД обнаружения начальной стадии развития взрыва, отличающийся тем, что в качестве приемников излучения используются однокоординатные приемники излучения (ОПИ), расположенные перпендикулярно друг другу и оптической оси датчика, что позволяет при сохранении достаточного быстродействия определять двумерные координаты очага взрыва и его температуру методом спектрального отношения.

2. Предложена уникальная оптическая система ОЭД определения двумерных координат очага взрыва на основе специально уложенного

волоконно-оптического преобразователя (ВОП), которая позволяет преобразовать входное изображение круглой формы в два прямоугольных. При этом обеспечивается, во-первых, равномерность углового поля при использовании несимметричных ОПИ; во-вторых, разделение светового потока для возможности реализации метода спектрального отношения; в-третьих, сохранение информации о координатах очага взрыва по двум взаимно перпендикулярным осям.

3. Разработана новая ОЭС обнаружения взрыва, отличающаяся от известных способностью определять температуру и трехмерные координаты очага взрыва, высоким быстродействием (достаточным для регистрации взрыва на начальной стадии), а также способностью работы в тяжелых оптических условиях газодисперсной среды за счет использования метода спектрального отношения для определения температуры.

Практическая значимость состоит в возможности применения полученных технических решений в различных отраслях промышленности, связанных со взрывоопасными газодисперсными системами, с целью создания качественных быстродействующих оптических приборов контроля охраняемого объекта для работы в тяжелых по запыленности условиях. Кроме того, результаты работы являются основой для разработки новых, более эффективных автоматических систем взрывоподавления.

Предложенные методики оценки пороговых и точностных параметров и исследования помехоустойчивости могут быть адаптированы для исследования других оптико-электронных приборов (ОЭП) и систем.

Разработанная экспериментальная установка может быть использована для проведения испытаний оптико-электронных приборов и систем и автоматических систем локализации взрывов горючих газов на их основе в условиях, близких к реальным.

Реализация результатов. Научные результаты диссертационной работы внедрены в ОАО «Объединенная Угольная Компания «Южкузбассуголь» с целью взрывозащиты поверхностных газоотводящих сетей и повышения безопасности комбинированного способа проветривания выемочных участков при отработке газоносных угольных пластов механизированными комплексами с высокой нагрузкой: 1) на филиале «Шахта «Есаульская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь» на промплощадке устья ходка 26-52 механизированным комплексом с высокой нагрузкой; 2) на филиале «Шахта «Алардинская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь» на промплощадке устья флангового бремсберга 3/3 и на

промплощадке устья конвейерной штольни пласта 3-3а механизированным комплексом с высокой нагрузкой.

Положения, выдвигаемые на защиту

1. Принцип построения ОЭД обнаружения начальной стадии развития взрыва, позволяющего определять двумерные координаты очага взрыва на начальной стадии и его температуру методом спектрального отношения.

2. Оптическая система ОЭД определения двумерных координат очага взрыва на основе специально уложенного ВОП, позволяющая преобразовать входное изображение круглой формы в два прямоугольных с сохранением информации о координатах очага взрыва по двум взаимно перпендикулярным осям.

3. ОЭС обнаружения взрыва, позволяющая определять температуру и трехмерные координаты очага взрыва на начальной стадии и способная работать в тяжелых оптических условиях газодисперсной среды.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на VI Всероссийской научно-практической конференции «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП)» (г. Бийск), Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2005, EDM'2006, EDM'2007, EDM'2008, EDM'2009 (г. Новосибирск), Всероссийском молодежном научно-инновационном конкурсе-конференции «Электроника–2006» (г. Москва).

Работа выполнена в рамках исследований НИОКР рег. № 01.2.006.09430.

Результаты исследований представлялись на Всероссийских выставках научно-технического творчества молодежи НТТМ-2005 и НТТМ-2006 (две медали выставки за успехи в научно-техническом творчестве); на Всероссийском конкурсе докладов «Студенты, аспиранты и молодые ученые – малому наукоемкому бизнесу – «Ползуновские гранты–2007» (диплом победителя конкурса и грант в размере 50000 рублей).

По результатам исследований заключен договор № 22-08 от 10 сентября 2008 г. на создание научно-технической продукции (двух пирометрических датчиков контроля возгорания метана) между БТИ АлтГТУ и ООО «Научно-производственное предприятие «Системы промышленной безопасности» (акт сдачи-приемки от 28 ноября 2008 г.).

Основные результаты работы внесены в рабочую программу курса «Основы оптико-электронных приборов и систем».

Публикации. Результаты диссертационных исследований опубликованы в 16-ти работах: в 2-х статьях периодических журналов, рекомендованных ВАК, в 4-х свидетельствах об официальной регистрации программ для ЭВМ, в 9-ти статьях в сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций. Кроме того, получен 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 89 наименований. Общий объем работы составляет 134 страницы машинописного текста, содержит 16 таблиц, 53 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проводимых исследований, сформулированы цели и задачи работы, определены научная новизна и практическая ценность результатов, представлены структура диссертационной работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен аналитический обзор методов и средств контроля и борьбы со взрывами в газодисперсных системах на примере угольных шахт. Рассмотрено влияние промежуточной среды на работу ОЭП в газодисперсных системах. Сформулированы цель и задачи исследования.

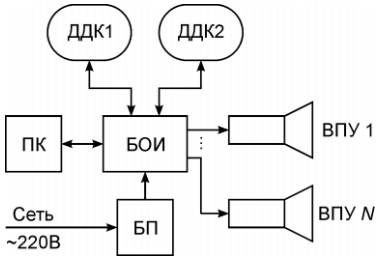
Во второй главе приведены расчет и описание разработанной ОЭС определения трехмерных координат очага взрыва на начальной стадии в газодисперсных системах.

Для определения трехмерных координат очага взрыва необходимо построение бинокулярной системы на основе двух датчиков, способных определять двумерные координаты очага. Структурная схема ОЭС определения трехмерных координат очага взрыва приведена на рисунке 1.

Датчик определения двумерных координат очага взрыва (ДДК) должен определять не только координаты, но и температуру очага, используя метод спектрального отношения для обеспечения работы датчика в тяжелых оптических условиях газодисперсной среды. При этом быстродействие датчика должно быть достаточным для регистрации взрыва на начальной стадии.

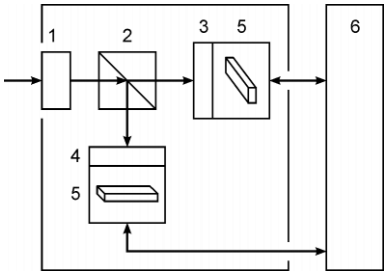
Для обеспечения указанных требований предложено в качестве фотоприемников использовать ОПИ, расположенные перпендикулярно друг другу и оптической оси прибора (рисунок 2). ОПИ обеспечивают регистрацию распределения мощности светового потока по вертикальной и горизонтальной осям. Причем каждый ОПИ регистрирует излучение в своем выделенном участке спектра для реализации метода

спектрального отношения. Исследуя распределение выходных сигналов по ячейкам вертикального и горизонтального ОПИ, можно определить двумерные координаты и температуру очага взрыва.



ДДК – датчик двумерных координат очага возгорания; ПК – персональный компьютер; БОИ – блок обработки информации; ВПУ – взрывоподавляющее устройство; БП – блок питания

Рисунок 1 – Структурная схема ОЭС определения трехмерных координат очага взрыва



1 – объектив; 2 – разделитель светового потока; 3,4 – светофильтры; 5 – однокоординатные приемники излучения; 6 – блок обработки информации

Рисунок 2 – Структурная схема датчика определения двумерных координат очага взрыва

Использование ОПИ дает существенное повышение быстродействия по сравнению со сканирующей системой на двухкоординатном (матричном) приемнике излучения, в связи с меньшим временем опроса ОПИ при прочих равных условиях.

Зная точное пространственное расположение и ориентацию ДДК (рисунок 3), можно по их показаниям рассчитать трехмерные координаты очага по соотношениям:

$$z_E = 2x_A \frac{\mathrm{tg}(\alpha+\beta_1)\cdot\mathrm{tg}(\alpha-\beta_2)}{\mathrm{tg}(\alpha+\beta_1)+\mathrm{tg}(\alpha-\beta_2)};\ x_E = \frac{z_E}{\mathrm{tg}(\alpha+\beta_1)} - x_A;\ y_E = y_A - \frac{z_E}{\mathrm{tg}(\alpha_y-\beta_y)},$$

где x_A – расстояние от ДДК до принятого начала координат *O* по оси *Ox*; α – угол наклона оптической оси датчика в плоскости *Oxz;* y_A – расстояние от ДДК до принятого начала координат *O* по оси *Oy*; α_y – угол наклона оптической оси ДДК в плоскости *Oyz*; β_1, β_2 – угол между оптической осью ДДК и линией, соединяющей точку установки ДДК и очаг возгорания в плоскости *Oxz* для ДДК1 и ДДК2; β_y – угол между оптической осью ДДК и линией, соединяющей точку установки датчика и очаг возгорания в плоскости *Oyz*.

При этом справедливы соотношения:

$$\beta_1 = \mathrm{arctg}\left(\left(1 - 2\frac{n_{Uxm\ 1}}{N_{px}}\right)\cdot \mathrm{tg}(\omega)\right);\ \beta_2 = \mathrm{arctg}\left(\left(1 - 2\frac{n_{Uxm\ 2}}{N_{px}}\right)\cdot \mathrm{tg}(\omega)\right);$$

$$\beta_y = \operatorname{arctg}\left(\left(1 - 2 \cdot \frac{n_{Uym}}{N_{px}}\right) \cdot \operatorname{tg}(\omega)\right),$$

где n_{Uxm} и n_{Uym} – номера ячеек горизонтального и вертикального ОПИ, соответствующие экстремуму сигнала; N_{px} – количество ячеек ОПИ; ω – угловое поле датчика.

Далее приведены варианты построения оптической системы ДДК, и с точки зрения минимизации потерь энергии выбрана оптическая система с волоконно-оптическим преобразователем светового потока «круг–прямоугольник» (рисунок 4).

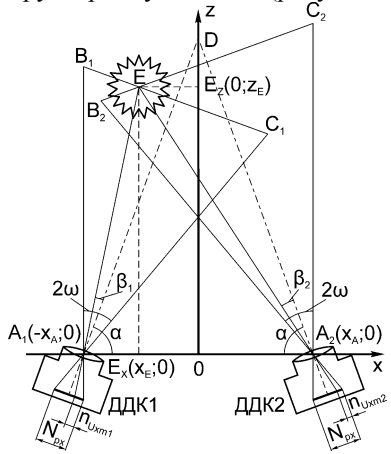


Рисунок 3 – Схема определения трехмерных координат

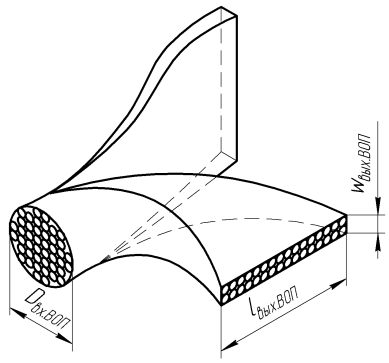


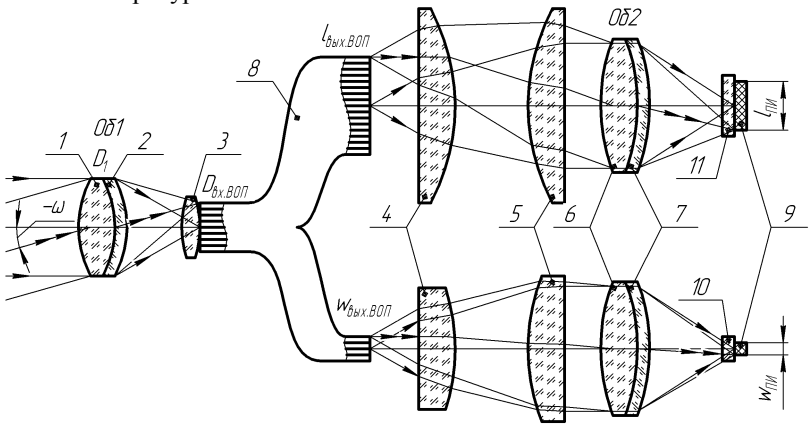
Рисунок 4 – Волоконно-оптический преобразователь

ВОП представляет собой специально уложенный пучок световодов, с одной стороны имеющий круглое сечение диаметром $D_{\text{вх.ВОП}}$, а с другой стороны разделенный на два пучка прямоугольного сечения $l_{\text{вых.ВОП}} \times w_{\text{вых.ВОП}}$, пропорционального размеру ОПИ.

На рисунке 5 приведена структурная схема оптической системы ДДК с использованием волоконно-оптического преобразователя.

Изображение охраняемой области строится приемным объективом *Об1*, состоящем из линз *1* и *2*, на входном торце ВОП *8*. При этом для обеспечения телецентрического хода лучей в пространстве изображений используется коллективная линза *3*. Полученное на выходном торце ВОП изображение преобразуется линзами *4* и *5* в пучки параллельных лучей с целью обеспечения возможности изменения размеров изображения и установки светофильтров. Далее с помощью объектива *Об2*, состоящего из линз *6* и *7*, снова строится изображение на

ОПИ. При этом перед каждым приемником излучения установлен свой светофильтр для реализации метода спектрального отношения определения температуры.



1–7 – линзы; 8 – волоконно-оптический преобразователь; 9 – однокоординатный приемник излучения; 10, 11 – светофильтры

Рисунок 5 – Структурная схема оптической системы с использованием волоконно-оптического преобразователя

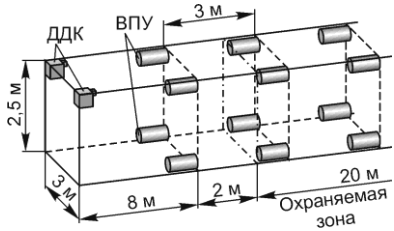


Рисунок 6 – Схема взрывозащиты подготовительной выработки

Затем проведен анализ подготовительных выработок, на основе которого определены размеры охраняемой зоны с повышенной вероятностью возникновения аварийных ситуаций и предложена схема взрывозащиты (рисунок 6).

В соответствии со схемой взрывозащиты определены исходные данные для расчета ОЭС (угловое поле ДДК и допустимая погрешность определения координат очага взрыва) и выбраны подходящие приемники излучения (ПЗС-линейки).

Далее выполнен энергетический расчет оптической системы ДДК.

Для случая, когда излучатель плоский и занимает часть углового поля оптической системы, поток на выходе оптической системы определяется следующим образом:

$$\Delta\Phi'_{e[\lambda_1;\lambda_2]} = \frac{D^2 \cdot \Delta A}{4 \cdot l^2} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_{c\lambda} \cdot \tau_{o\lambda} \cdot M_{e\lambda}\, d\lambda,$$

где D – диаметр входного зрачка системы, м^2; ΔA – площадь излучателя, м^2; $\tau_{c\lambda}$ – коэффициент пропускания среды распространения излучения; $\tau_{o\lambda}$ – коэффициент пропускания оптической системы; l – расстояние от излучателя до входного зрачка, м; $M_{e\lambda}$ – спектральная плотность энергетической светимости, Вт/м^3.

Для площадного излучателя, занимающего все угловое поле прибора, поток на выходе оптической системы определяется следующим образом:

$$\Delta\Phi''_{e[\lambda_1;\lambda_2]} = \frac{q}{4} \cdot \left(\frac{D}{f'}\right)^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_{c\lambda} \cdot \tau_{o\lambda} \cdot M_{e\lambda}\, d\lambda,$$

где q – диаметр фотоприемника, м; f' – фокусное расстояние, м.

Коэффициент пропускания среды распространения излучения определяется в соответствии с законом Бугера:

$$\tau_{\text{с}}(\lambda) = e^{-k_{\text{п}}(\lambda)\cdot l},$$

где $k_{\text{п}}(\lambda)$ – показатель поглощения.

Учитывая, что рабочий диапазон длин волн достаточно узок, при проведении энергетического расчета можно не учитывать зависимость коэффициента пропускания среды от длины волны. При этом поглощение в охраняемой зоне обусловлено в основном взвешенными частицами угля с размерами менее 0,25 мкм (в отличие от призабойных участков). Поэтому показатель поглощения можно принять равным 10^{-4} см$^{-1}$.

Учитывая спектр поглощения метана и кривую зависимости выходного сигнала ОПИ от длины волны, выбраны центральные длины волн полосовых светофильтров 890 и 1000 нм.

Предварительный энергетический расчет позволил определить значения основных параметров оптической части ДДК: диаметр входного зрачка, центральные длины волн и ширину полосы пропускания полосовых светофильтров.

На основании предварительного энергетического расчета были окончательно рассчитаны ВОП, линзы, светофильтры.

Далее определены коэффициенты пропускания оптической части ДДК для каждого канала в соответствии с выражением

$$\tau_o(\lambda) = \prod_{i=1}^{10}\left(1 - \rho_{\text{п}i}(\lambda)\right) \cdot \prod_{j=1}^{6} \tau_{лj}^{h_{лj}}(\lambda) \cdot T_{\text{сф}}(\lambda) \cdot T_{\text{св}}(\lambda),$$

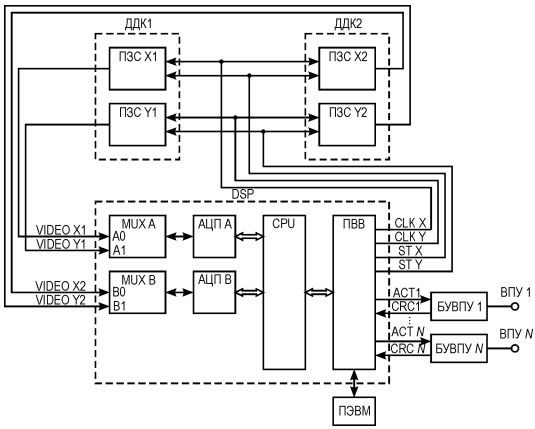
где $\rho_{\text{п}i}$ – коэффициент отражения от i-й поверхности раздела сред воздух-линза; $\tau_{лj}$ – коэффициент пропускания j-й линзы; $h_{лj}$ – толщина j-й линзы, см; $T_{\text{сф}}$ – коэффициент пропускания светофильтра; $T_{\text{св}}$ – коэффициент пропускания волоконно-оптического преобразователя.

По полученным исходным данным проведен окончательный энергетический расчет прибора (таблица 1).

Затем приведено обоснование программно-аппаратного подхода к построению блока обработки информации (БОИ) и спроектирована электронная часть ОЭС на основе DSP-процессора (рисунок 7).

Таблица 1 – Результаты окончательного энергетического расчета для некоторых значений температуры

Центральная длина волны пропускания фильтра, нм	890				1000			
Температура, К	843	853	863	873	843	853	863	873
Напряжение на выходе ПЗС-линейки, мВ	1,547	1,934	2,406	2,978	1,856	2,271	2,765	3,352
Отношение сигнал-шум	1,406	1,758	2,187	2,707	1,687	2,065	2,514	3,047



VIDEO – выходной сигнал ПЗС-линейки; CLK – сигнал синхронизации ПЗС-линейки; ST – управляющий сигнал запуска ПЗС-линейки; ACT – сигнал активации ВПУ; CRC – сигнал контроля исправности электровоспламенителей и цепей их подключения; MUX – аналоговый мультиплексор; ПВВ – порт ввода-вывода; БУВПУ – блок управления ВПУ

Рисунок 7 – Упрощенная структурная схема электронной части ОЭС

Электронная часть ОЭС обеспечивает выполнение следующих функций:

– опрос ПЗС-линеек ДДК1 и ДДК2 (формирование управляющих сигналов и сигналов синхронизации);

– перевод сигналов с ПЗС-линеек в цифровой эквивалент;

– цифровая фильтрация;

– поиск экстремума в полученных массивах данных;

– нахождение отношения экстремумов и принятие решения о возгорании;

– вычисление трехмерных координат очага возгорания;

– формирование сигнала на активацию соответствующего ВПУ в случае принятия решения о возгорании;

– контроль исправности электровоспламенителей и цепей их подключения.

В конце главы рассчитаны такие параметры ОЭС, как нижний предел обнаружения и разрешающая способность по температуре, быстродействие, точность определения координат.

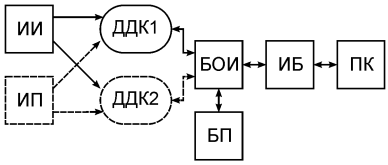
В третьей главе описана разработанная лабораторная установка для исследования параметров ОЭС (рисунки 8, 9), которая позволяет оценить пороговые и точностные параметры и проверить реакцию разработанной ОЭС на оптические помехи как при наличии полезного сигнала, так и при его отсутствии. Предложены следующие методики:

а) методика установки разработанной ОЭС на охраняемом объекте;

б) методика оценки точности определения координат очага возгорания;

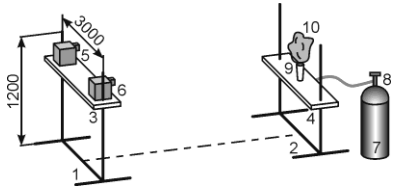
в) методика оценки нижнего предела обнаружения по температуре и температурной разрешающей способности;

г) методика исследования помехоустойчивости от оптических помех.



ИИ – источник полезного сигнала;
ИП – источник оптической помехи;
ИБ – интерфейсный блок

Рисунок 8 – Структурная схема лабораторной установки



1,2 – стойки; 3, 4 – подвижные полки с фиксаторами; 5, 6 – ДДК; 7 – бытовой газовый баллон; 8 – вентиль регулировки расхода газа; 9 – газовая горелка; 10 – пламя

Рисунок 9 – Конструкция лабораторной установки

В качестве основы лабораторной установки используется полная система или система только с одним датчиком двумерных координат, поскольку исследование некоторых характеристик достаточно проводить на одном датчике. При этом в БОИ загружается специально разработанное для проведения лабораторных исследований программное обеспечение.

Для исследования точности определения координат очага возгорания в качестве источника полезного сигнала использовалось пламя,

образующееся при горении пропано-воздушной смеси (см. рисунок 9). Поскольку точность определения абсциссы и ординаты очага возгорания практически равны, то исследовалась только одна из них. Используя методы математической статистики, были определены значения погрешности определения координат. Для z-координаты погрешность составила 1,371 м, для x- и y-координат – 0,108 м, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым предложенной схемой взрывозащиты.

Для определения нижнего предела обнаружения и разрешающей способности по температуре в качестве источника излучения использовался образцовый излучатель АЧТ «Паллада» с диапазоном воспроизводимых температур от 200 до 800 °С. При этом до снятия температурных характеристик были определены напряжение смещения и СКО шума приемников излучения (таблица 2).

Таблица 2 – Напряжение смещения и СКО шума приемников излучения

Приемник излучения	Напряжение смещения, мВ	СКО шума, мВ
ПЗС 1	686,8	1,48
ПЗС 2	704,1	1,57

Из таблицы 2 видно, что СКО не превышает 1,6 мВ, откуда минимальное изменение напряжения, обеспечивающее пороговое отношение сигнал-шум $\mu_П = 2$, должно составлять 3,2 мВ.

Температурные характеристики приведены на рисунках 10 и 11. Напряжения U_1 и U_2 представляют собой максимальные напряжения по длине ПЗС-линейки для каналов со светофильтром с центральной длиной волны 890 нм и 1000 нм соответственно.

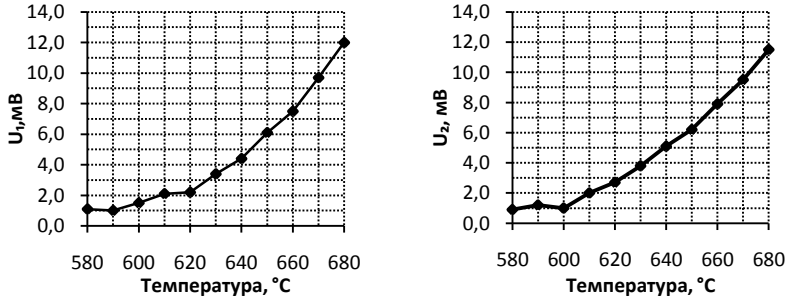


Рисунок 10 – Зависимости напряжений на выходе ПЗС-линеек, установленных в разных каналах, от температуры

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что превышение порогового значения напряжения 3,2 мВ обеспечивает температура 630 °С, что и является нижним пределом обнаружения.

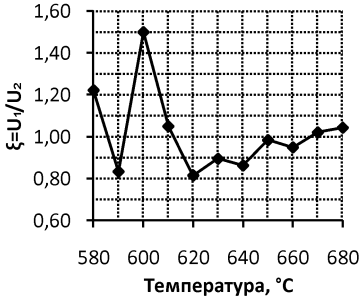


Рисунок 11 – Зависимость отношения напряжений от температуры

Из графика на рисунке 11 можно увидеть, что именно с этой температуры зависимость $\xi=f(T)$ начинает подчиняться закономерному изменению. Разность температур, обеспечивающая повышение выходного напряжения на уровень шума, составляет 20 °С, что является температурной разрешающей способностью.

Затем была выполнена проверка реакции разработанной ОЭС на оптические помехи как при наличии полезного сигнала, так и при его отсутствии.

После анализа возможных источников помех было установлено, что наибольшее влияние в рабочем диапазоне длин волн оказывает лампа накаливания. При этом искажение полезного сигнала под воздействием оптической помехи происходит лишь при совпадении изображений источника полезного сигнала и источника оптической помехи в плоскости приемника излучения, в противном случае помеха может быть легко идентифицирована и устранена программной обработкой.

На рисунке 12 представлены графики напряжения U_1 и U_2 для случая наложения изображений источника полезного сигнала и источника оптической помехи в виде лампы накаливания. Первоначально ДДК регистрирует полезный сигнал (t0; t1), затем сигнал от оптической помехи (t1; t2), затем совместное действие (t2; t3).

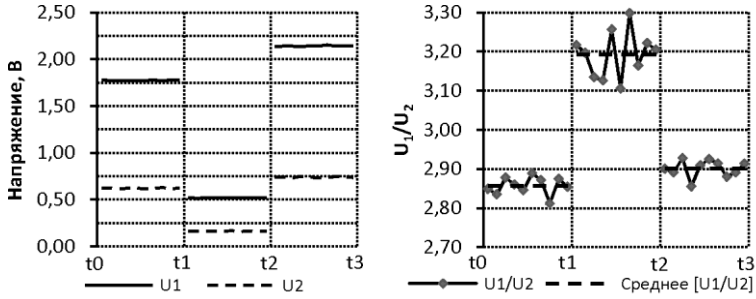
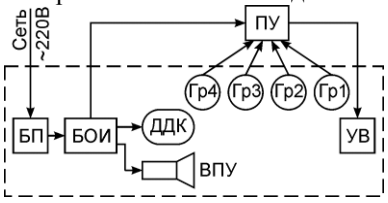


Рисунок 12 – Сигналы U_1 и U_2 для расстояния до источника полезного сигнала 10 м, до источника помехи – 2 м

Лампа накаливания оказывает влияние на информативный сигнал лишь в случае незначительного удаления от ДДК (до 10 м). При этом действие оптической помехи в виде лампы накаливания можно идентифицировать и исключить по отношению напряжений, превышающему 3,1. В случае если мощности излучения полезного сигнала и помехи соизмеримы, информативный сигнал может быть расценен как сигнал от оптической помехи, что приведет к пропуску факта возгорания. Для исключения этого предложено использовать метод голосования, поскольку ОЭС состоит из двух ДДК. В случае если показания одного датчика соответствуют оптической помехе, а показания другого – очагу возгорания, принимается решение о начале возгорания и вырабатывается сигнал на активацию соответствующего ВПУ.

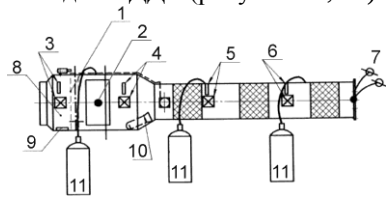
В четвертой главе рассмотрены известные опытные шахты и штольни для проведения экспериментальных взрывов с целью определения эффективности способов и средств борьбы со взрывами.

Поскольку проведение испытаний в специальной штольне и тем более в шахте очень затруднительно и затратно, была разработана и изготовлена экспериментальная установка на базе опытного образца системы взрывозащиты газоотводящей сети СВГСА для проведения экспериментальных исследований ОЭС с одним ДДК (рисунки 13, 14).



ПУ – пульт управления; УВ – устройство воспламенения; Гр1–Гр4 – группы датчиков давления и температуры

Рисунок 13 – Структурная схема экспериментальной установки



1 – запорный клапан; 2 – оптический датчик; 3–6 – группы датчиков давления и температуры; 7 – устройство воспламенения; 8 – контрольный объем; 9 – поддон с бензином; 10 – ВПУ; 11 – баллон с газом

Рисунок 14 – Схема расположения частей экспериментальной установки в корпусе СВГСА

Для имитации взрыва метана используется пропан, который подается внутрь корпуса СВГСА из баллонов из расчета его концентрации 4,5–5,5 % в смеси с воздухом. В качестве источника воспламенения использовался пруток из нихрома, пережигаемый электрическим током.

Для оценки развития взрывного горения вдоль установки установлены четыре группы датчиков, каждая из которых включает один

датчик давления (ВТ-206) и один датчик температуры (ИС-470). Для оценки быстродействия системы измеряется промежуток времени между моментом подачи сигнала на источник воспламенения (с учетом инерциальности нихромового прутка) и моментом формирования блоком обработки информации сигнала на активацию ВПУ.

Регистрация информативных параметров (температура, давление, время) осуществляется дистанционно на АРМ-измерителе, входящем в состав измерительного вычислительного комплекса «ЛУЧ» (АПО.045.5968). Комплекс «ЛУЧ» аттестован Госстандартом России, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 24734-03. При этом вся аппаратура для организации взрыва и контроля за его параметрами расположена в специальном подземном бункере на значительном удалении от испытательной площадки и смонтирована в виде пульта управления.

В качестве взрывоподавляющего устройства для локализации взрыва газа используется мортира пылеметная газодинамическая (МПГ) с быстродействием 18 мс.

Было проведено два типа испытаний: с одной МПГ и с двумя МПГ. В обоих случаях разработанная ОЭС успешно обнаружила возгорание и активировала взрывоподавляющие устройства.

В результате расшифровки показаний датчиков было установлено, что возрастание температуры в контрольных точках не превзошло 600 °С. При этом быстродействие системы составило не более 2 мс, что обеспечило успешную локализацию очага взрыва на ранней стадии.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложен новый принцип построения ОЭД обнаружения начальной стадии развития взрыва, позволяющего определять двумерные координаты очага взрыва на начальной стадии и его температуру методом спектрального отношения.

2. Предложена уникальная оптическая система ОЭД определения двумерных координат очага взрыва на основе специально уложенного ВОП, позволяющая преобразовать входное изображение круглой формы в два прямоугольных с сохранением информации о координатах очага взрыва по двум взаимно перпендикулярным осям.

3. Разработана новая ОЭС обнаружения взрыва, отличающаяся от известных способностью определять температуру и трехмерные координаты очага взрыва, высоким быстродействием (достаточным для

регистрации взрыва на начальной стадии), а также способностью работы в тяжелых оптических условиях газодисперсной среды.

4. Разработана методика энергетического расчета ОЭД определения двумерных координат очага взрыва на начальной стадии, являющегося основным элементом разрабатываемой ОЭС. По методике разработана программа для ЭВМ, позволяющая упростить выполнение расчетов (свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2007615048).

5. Рассчитана, спроектирована и изготовлена ОЭС определения трехмерных координат очага взрыва в газодисперсных системах на начальной стадии со следующими основными параметрами:

– время срабатывания, не более, мс 2;
– нижний порог обнаружения по температуре, К 903;
– температурная разрешающая способность, К 20;
– погрешность определения аппликаты, м 1,37;
– погрешность определения абсциссы и ординаты, м 0,11;
– длина охраняемой зоны, м 20,

а также разработана методика установки разработанной системы на охраняемом объекте.

6. Проведено лабораторное исследование параметров созданной ОЭС. Для этого в рамках диссертационного исследования разработаны следующие методики:

– оценки точности определения координат очага возгорания;

– оценки нижнего предела обнаружения по температуре и температурной разрешающей способности;

– исследования помехоустойчивости от оптических помех.

Проведенные исследования показали соответствие системы заявленным требованиям и высокую помехоустойчивость действию различных оптических помех.

7. Разработана и изготовлена экспериментальная установка на базе опытного образца системы взрывозащиты газоотводящей сети СВГСА для исследования эффективности работы ОЭС в условиях, близких к реальным. Проведенные испытания показали, что ОЭС обеспечивает успешную локализацию очага взрыва горючего газа на ранней стадии.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для представления основных научных результатов кандидатской диссертации

1. Программа расчета оптической системы датчика координат очага возгорания [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Известия Тульского

государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». Выпуск 6. – Тула: ТулГУ, 2006. – С. 84–88.

2. Датчик координат очага возгорания на ПЗС-линейках [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Ползуновский вестник. – Барнаул: АлтГТУ, 2006. – № 2. – С. 121–127.

Патенты на изобретения и свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

3. Программа расчета оптической системы для пирометрического датчика с возможностью определения координат очага возгорания на ПЗС-линейках [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Свидетельство РФ об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006612394, 2006.

4. Программа расчета зависимости выходного сигнала для различных приемников излучения от спектра излучения и от температуры площадного излучателя [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Свидетельство РФ об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2007615046, 2007.

5. Программа расчета зависимости выходного сигнала для различных приемников излучения от спектра излучения и от температуры протяженного излучателя [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Свидетельство РФ об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2007615048, 2007.

6. Пат. 2318242 Российская Федерация, МПК G 08 B 17/12. Пирометрический датчик координат очага возгорания [Текст] / А.Н. Павлов [и др.]; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова». – № 2006137378/09; заявл. 23.10.2006; опубл. 27.02.2008, Бюл. № 6. – 4 с.: ил.

7. Программа управления оптико-электронной системой определения трехмерных координат очага взрыва в газодисперсных системах на начальной стадии [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Свидетельство РФ об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2009612429, 2009.

Статьи в других изданиях

8. Пирометрический датчик пожарной сигнализации с возможностью определения местоположения очага возгорания [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Материалы Всероссийской выставки научно-технического творчества молодежи НТТМ-2005. – Москва: ОАО «ГАО ВВЦ», 2005. – С. 208–209.

9. The calculation program of ignition center coordinates gauge optical system [Text] / A.N. Pavlov [et al.] // International siberian workshops and tutorials on electron devices and materials EDM’2005: workshop proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2005. – P. 93–96. (Программа для расчета оптической системы датчика координат очага возгорания [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Международная конференция по электронным приборам и материалам EDM’2005: материалы. – Новосибирск: НГТУ, 2005. – С. 93–96.)

10. The ignition center coordinate gauge on CCD linear sensors [Text] / A.N. Pavlov [et al.] // International workshops and tutorial on elec-

tron devices and materials EDM'2006: workshop proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2006. – P. 103–106. (Датчик координат очага возгорания на ПЗС-линейках [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Международная конференция по электронным приборам и материалам EDM'2006: материалы. – Новосибирск: НГТУ, 2006. – С. 103–106.)

11. Пирометрический датчик координат очага возгорания [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Всероссийский молодежный научно-инновационный конкурс-конференция «Электроника–2006»: Тезисы докладов конференции. – М.: МИЭТ, 2006. – с. 97.

12. Система определения пространственных координат очага возгорания [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // VI Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи НТТМ-2006 (Сборник материалов). – Москва: ОАО «ГАО ВВЦ», 2006. – С. 46–47.

13. The program for power calculation OED of the spectral attitude for various types of emitters and radiation detectors sensors [Text] / A.N. Pavlov [et al.] // Eighth international workshops and tutorial on electron devices and materials EDM'2007: workshop proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2007. – P. 345–349. (Программа энергетического расчета ОЭП спектрального отношения для различных типов излучателей и приемников излучения [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Восьмая международная конференция по электронным приборам и материалам EDM'2007: материалы. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – С. 345–349.)

14. Research of angular field non-uniformity reduction ability of the ignition center coordinates gauge [Text] / A.N. Pavlov [et al.] // Ninth international workshops and tutorials on electron devices and materials EDM'2008: workshop proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2008. – P. 102–105. (Исследование возможности уменьшения неравномерности углового поля пирометрического датчика координат очага возгорания [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Девятая международная конференция по электронным приборам и материалам EDM'2008: материалы. – Новосибирск: НГТУ, 2008. – С. 102–105.)

15. Оптическая система датчика двумерных координат с волоконно-оптическим преобразователем [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Международная конференция-семинар по микро/нанотехнологиям и электронным приборам EDM'09: сборник трудов. – Новосибирск: ИПЦ ГОУ ВПО НГТУ, 2009. – С. 329–331.

16. Экспериментальная установка для испытания автоматических систем локализации взрывов горючих газов [Текст] / А.Н. Павлов [и др.] // Международная конференция-семинар по микро/нанотехнологиям и электронным приборам EDM'09: сборник трудов. – Новосибирск: ИПЦ ГОУ ВПО НГТУ, 2009. – С. 332–334.

Подписано в печать 26.05.2010. Формат 60x84 1/16.
Печать – ризография. Усл.п.л. 1,16. Уч.изд.л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ 2010-46.
Отпечатано в ИИО БТИ АлтГТУ. 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27